

MATERIALIA

Dálkový archeologický průzkum starého sídelního území Čech Konfrontace výsledků letecké prospekce a analýzy družicových dat

Martin Gojda – Jan John

Hlavním cílem zde prezentovaného projektu bylo srovnání výsledků dlouhodobého letecko-archeologického průzkumu, resp. šikmých leteckých fotografií pořízených z nízkého letícího letadla nad tzv. starým sídelním územím Čech, s výpovědí družicových snímků s velmi vysokým prostorovým rozlišením. V projektu bylo provedeno srovnání obou druhů obrazových dat ze čtyř oblastí (Podřipsko, Terežínská kotlina a severní břeh Labe, Kolínsko a údolí řeky Chomutovky). Vedle panchromatických snímků byla využita také družicová multispektrální data, jejichž analýza byla provedena pomocí několika kroků nabízených speciálním softwarem (Geomatica, Idrisi). Studie také hodnotí klady a zápory obou druhů dat a dochází k názoru o výhodnosti jejich vzájemné kombinace.

dálkový průzkum Země – družicová archeologie – nedestruktivní výzkum – panchromatické a multispektrální snímky – letecká prospekce

Remote sensing and the study of lowland ancient landscapes in Bohemia. Comparison of the potential of aerial reconnaissance and high-resolution satellite data. The main goal of the project presented here was to compare the results of long-term aerial-archaeological surveys – oblique aerial photographs taken from a low-flying plane over old settlement territories in Bohemia, as well as evidence from satellite images with very high spatial resolution. The project compared both types of photographic data in four territories (Podřipsko, the Terežín basin and the north bank of the Elbe River, the Kolín region and the Chomutovka River valley). In addition to panchromatic shots, satellite multispectral data was also utilized; the analysis of this data was performed using a number of procedures offered by special software (Geomatica, Idrisi). The study likewise evaluates the positive and negative sides of both types of data and reaches the conclusion that the best results are achieved when these are used in combination.

remote sensing of the Earth – satellite archaeology – non-destructive archaeological methods – panchromatic and multispectral images – aerial reconnaissance

1. Úvod

Aplikace nedestruktivních postupů v oblasti sběru, resp. vyhledávání/detekce archeologických dat, je proces, který z mnoha důvodů (zejm. etických, teoreticko-metodologických a technických) razantně vstoupil do studia pravěké i historické minulosti člověka. Stále pravidelnější nasazení neinvazivních metod z nich v současnosti učinilo významnou – a často nevyhnutelnou – součástí projektu terénního výzkumu, v němž se vytrácí rozdíl v hodnotové hierarchii tradičních a nedestruktivních metod. Vedle klasického vizuálního letecko-archeologického průzkumu, jehož primárním produktem jsou šikmé letecké fotografie, tedy snímky pořizované z ruky, připadá v oblasti identifikace archeologických nemovitých památek a stop minulých krajinných podob stále rostoucí význam datům z tzv. dálkového průzkumu Země. Jejich informační potenciál je od 80. let využíván v řadě archeologických a krajinně-historických projektů na celém světě. Ve vývoji tzv. družicové archeologie se odráží dynamický rozvoj technických parametrů vlastní snímací techniky (kamer, skenerů), jejich nosičů a přenosových systémů – a v nezanedbatelné míře také politické peripetie světa v období studené války a po ní.

Účelem tohoto příspěvku je prezentovat výsledky projektu, v němž jsme se pokusili: 1. analyzovat a interpretovat sérii družicových snímků s velmi vysokým rozlišením (IKONOS, QuickBird) vybraných částí tzv. starého sídelního území (Podřipsko; Terežínská kotlina a severní břeh Labe; Polabí u Kolína; střední Poohří – údolí Chomutovky); 2. porovnat jejich výpověď z hlediska detekovatelnosti

stop (areálů/objektů) archeologického zájmu s potenciálem šikmých leteckých snímků, které byly na stejném území pořízeny v průběhu dlouhodobě prováděného vizuálního leteckého průzkumu z malých výšek; 3. stručně zhodnotit vypovídací možnosti špionážních družicových snímků z dob studené války na příkladě série fotografií pořízených satelitním systémem USA KH-7 GAMBIT nad územím dnešní ČR; 4. zobecnit výhody a nevýhody obou druhů dat dálkového archeologického průzkumu a nabídnout náš pohled na jejich použití v současných podmínkách.

2. Archeologie a dálkový průzkum Země

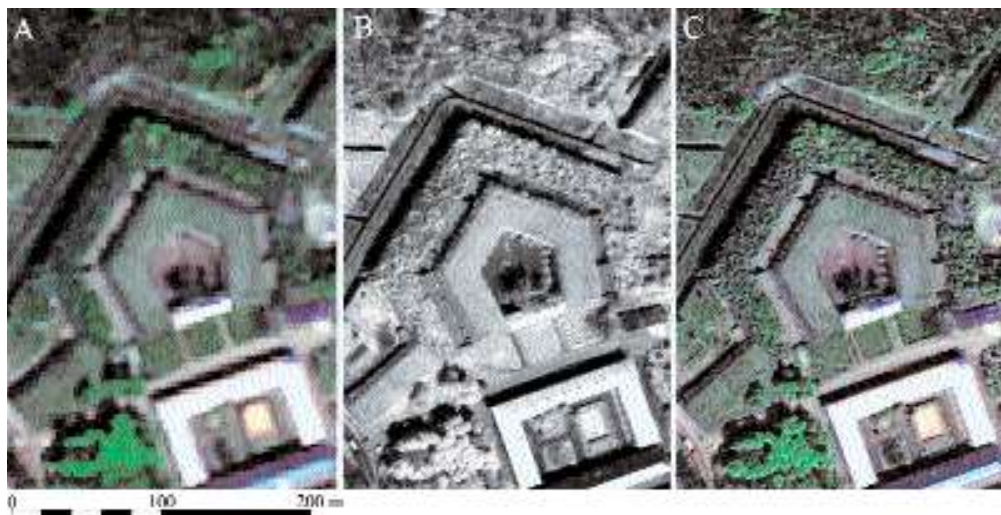
Metody dálkového průzkumu Země, ať už se jedná o šikmé letecké snímkování, nebo o možnosti využití kolmých fotografií (přehledně u nás naposledy *Gojda 2004; Šmejda 2007*), jsou dnes již etablovanou součástí naší archeologie. Naproti tomu družicovým snímkům pořizovaným z oběžné dráhy Země bylo u nás zatím věnováno poměrně málo pozornosti (*Šmejda 2008*). Určitou výjimku tvoří práce českých egyptologů, kde se ovšem jedná o použití družicových snímků pouštích oblastí, poskytujících pro dálkový průzkum velmi dobré podmínky (např. *Bárta – Brůna – Křivánek 2003; Bárta – Brůna 2006*). „Družicová archeologie“ se tradičně zaměřuje právě na aridní oblasti Předního východu a Egypta, kde je možno díky absenci vegetace velmi dobře studovat různé typy zejména půdních a stínových příznaků (viz např. *Beck et al. 2007; Kennedy 1998; Parcak 2009; Philip et al. 2002*). Aktuální vývoj v oblasti využití dat dálkového průzkumu Země v archeologii se nejlépe zrcadlí v příspěvcích z dnes již pravidelně konaných konferencí na toto téma (zejm. *Campana – Forte eds. 2006; Lasaponara – Masini eds. 2008*).

V 50. letech minulého století, zhruba deset let po zahájení studené války, začaly v atmosféře strachu z nečekaného zničujícího vojenského útoku hledat vědecké týmy na obou stranách železného opony účinné způsoby, jak získávat aktuální informace o výrobě a rozmístění vojenského materiálu, v první řadě zbraní hromadného ničení. Roku 1957 byla na oběžnou dráhu Země vypuštěna první umělá družice, sovětský (ruský) systém Sputnik. Jeho úspěšná mise stála na startovní čáře závodu o dosažení vesmíru a využití možností, které v něm poválečná společnost tušila a toužila pro své potřeby získat. Zhruba dva roky po tomto historickém datu si pod tlakem okolností (sestřelení „neviditelného“ špionážního letounu U2 nad územím SSSR) uvědomily vládní kruhy v USA nutnost přenést výzvednou techniku do vesmíru a využít bezpečí, které pro nerušené sledování nepřítele tento prostor nabízí. První americký satelitní systém, jehož vývoj, uvedení na oběžnou dráhu a provozování na rozdíl od Sputniku podléhaly přísnému utajení, byl dokončen a spuštěn v červnu 1959. Teprve desátá mise (srpen 1960) byla úspěšná a přinesla vůbec první fotografie zemského povrchu pořízené z vesmíru klasickým fotografickým přístrojem. Jsou to právě snímky prvního amerického družicového systému CORONA, které patří k nejčastěji využívaným zdrojům obrazových dat v archeologických projektech v době po ukončení studené války. Rusové nezůstali pozadu a vyvinuli podobné špionážní systémy.

2.1. Základní charakteristiky dálkového průzkumu Země

Dálkovým průzkumem Země (dále DPZ) označujeme mezioborovou disciplínu, jejímž úkolem je získávat informace o Zemi pro rozličná odvětví vědy. Spočívá v bezkontaktním získávání informací o terénu a objektech ležících na jeho povrchu, příp. nehluboko pod ním. Nosiči přístrojů pro sběr dat jsou obvykle vysoko letící letadla a družice. Do poměrně nedávné doby, kdy rychlý rozvoj digitálních technologií přinesl některé nové způsoby pořizování speciálních dat (termovize, radarové a laserové systémy; *Shell 2002*; stručný přehled *Gojda 2005*, 806) i na nosiče operující v menších výškách, tedy na letadla, vrtulníky a řízené modely, byl pojem DPZ spojován převážně s pořizováním dat z vesmíru. Sběr informací o povrchu Země prostřednictvím letadel býval označován pojmem letecká fotogrammetrie, která slouží zejména pro mapovací práce (srov. *Gojda 2004; Halounová – Pavelka 2005; Kolejka – Kučera 2001*; pokud není uvedeno jinak, byly následující informace čerpány z uvedených zdrojů).

Počátky DPZ jsou spjaty s rozvojem balonové vzduchoplavby a fotografie (*Gojda 2008a*) a s jejich využitím pro vojenské i civilní účely (např. *Deuel 1979*). Vzhledem k zaměření tohoto příspěvku se budeme v následující části věnovat výlučně tzv. kosmickému dálkovému průzkumu, jehož vznik



Obr. 1. Terezín (okr. Litoměřice), bastion č. 6 v sev. části pevnosti. A – multispektrální snímek (R+G+B), B – panchromatický snímek, C – výsledek spojení snímků A a B pomocí metody pansharpening. Snímky družice QuickBird-2, 3. 5. 2006.

Fig. 1. Terezín (district of Litoměřice), bastion no. 6 in the northern part of the fortress. A – multispectral image (R+G+B); B – panchromatic image; C – result of combining images A and B using pansharpening. QuickBird-2 satellite images from 3 May 2006.

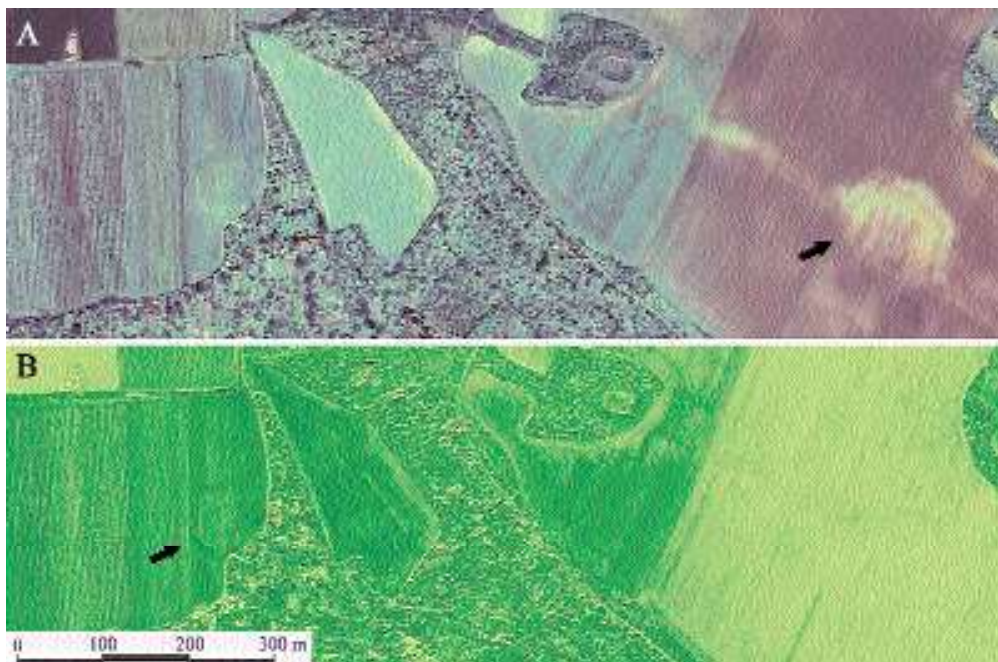
před půlstoletím zásadně poznamenaly zpravodajské potřeby období studené války. V současnosti lze hovořit o fungování čtyř typů družicových systémů, a to komerčních, experimentálních (vědeckých), vojenských (zpravodajských) a amatérských. Celkový počet družic vyslaných na oběžnou dráhu Země (často dnes již nefunkčních) se odhaduje na zhruba osm tisíc. Kromě družic může být nosičem snímacího zařízení (resp. radarů) také pilotovaný kosmický prostředek (např. raketoplán).

Snímací technikou používanou v oblasti kosmického DPZ tvoří jednak dnes už málo využívané klasické fotokomory a televizní kamery, pořizující analogový záznam, a jednak široká škála přístrojů, obecně zvaných radiometry, které měří intenzitu emitovaného nebo odraženého záření (vlastní záření Země nebo odražené sluneční záření), převádějí jej na elektr. signál a ten zaznamenávají v podobě digitálních dat (tzv. pasivní radiometry). Mezi tzv. aktivní radiometry (takové, které mají svůj vlastní zdroj záření) patří zejména radary a lidary, do skupiny pasivních radiometrů se řadí především opticko-mechanické a elektronické skenery a skenující mikrovlnné radiometry.

Základním parametrem, který kvalifikuje družicová data pro jejich využití v rozmanitých oblastech vědy – archeologii nevyjímaje – je technická kvalita měřicí aparatury. Ta je dána *rozlišovací schopností*, a to:

1. prostorovou (geometrickou) – označuje, jak velkou plochu na zemském povrchu ve skutečnosti představuje jeden snímací element (pixel) družicového snímku
2. spektrální – udává počet použitých spektrálních intervalů (pásem) a definuje jejich šířku
3. radiometrickou – vyjadřuje počet úrovní (šedi), do kterých je digitální obraz kvantován; udává se v bitech (bit/pixel)
4. termínovou – udává časový interval mezi po sobě následujícími měřeními. V případě měření z družic se tedy jedná o dva po sobě následující přelety

Pro detekci archeologických památek mají největší význam první dvě uvedená rozlišení. V civilní sféře jsou dnes dostupné snímky s prostorovým rozlišením nízkým (km), středním (1000–100 m), vysokým (100–10 m) a velmi vysokým (metry a méně). Není přitom bez zajímavosti, že již na pře-



Obr. 2. Litoměřice–Trnovany (okr. Litoměřice), relikty předsunutého opevnění terezínské pevnosti na pravém břehu Labe (polovina 19. stol.). A – kombinace multispektrálních snímků viditelné části spektra (R+G+B) upravená pomocí metody pansharpening. B – výsledek výpočtu vegetačního indexu NRVI (rovněž upravený metodou pansharpening). Snímky družice QuickBird-2, 3. 5. 2006.

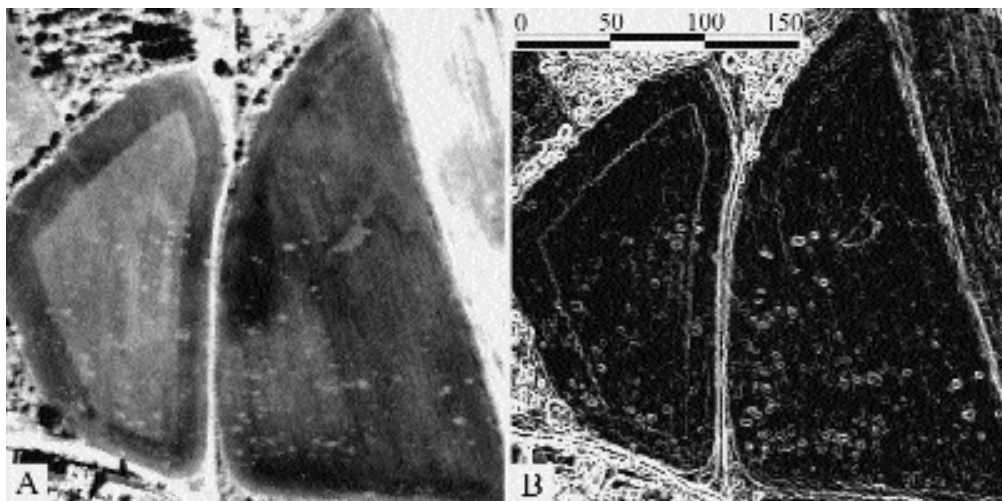
Fig. 2. Litoměřice–Trnovany (district of Litoměřice), remnants of projected fortifications of Terezin fortress on the right bank of the Elbe River (mid-19th century). A – combination of multispectral images of visible parts of the spectrum (R+G+B) corrected by pansharpening. B – result of the calculation of the vegetation index NRVI (also corrected by pansharpening). QuickBird-2 satellite images from 3 May 2006.

lomů 50. a 60. let 20. stol. dosahovaly fotoprůzkumné špionážní družice na velmi nízkých drahách rozlišení zhruba 0,15 m (Pavelka 2004, 9). Současné snímky špionážních systémů přirozeně nejsou dostupné a jejich prostorové rozlišení není přesně známo, pravděpodobně se ale pohybuje kolem hodnoty 0,1 m.

U spektrálního rozlišení je charakteristika obrazu dána tím, do jaké míry různé objekty odrážejí nebo pohlcují různé části elektromagnetického záření, jehož zdrojem je zpravidla Slunce. Rozlišujeme *panchromatická data* pořízená v jediné širší (viditelné) části spektra, tedy obdoba běžné černobílé fotografie, dále *multispektrální data* zachycující odrazivost v několika spektrálních pásmech (zpravidla obsahují oddělené hlavní části spektra – Red+Green+Blue a také infračervenou část optického spektra), a konečně *hyperspektrální data* popisující odrazivost v desítkách až stovkách spektrálních pásem (k jejich aplikaci v archeologii srov. Cavalli – Marino – Pignatti 2003). Prostorové rozlišení bohužel bývá u multispektrálních a hyperspektrálních dat podstatně horší než u panchromatických. Existují rovněž aktivní radarová zařízení pracující v mikrovlnné části elektromagnetického spektra, což mimo jiné znamená, že mohou měřit i v noci a za nepříznivých meteorologických podmínek.

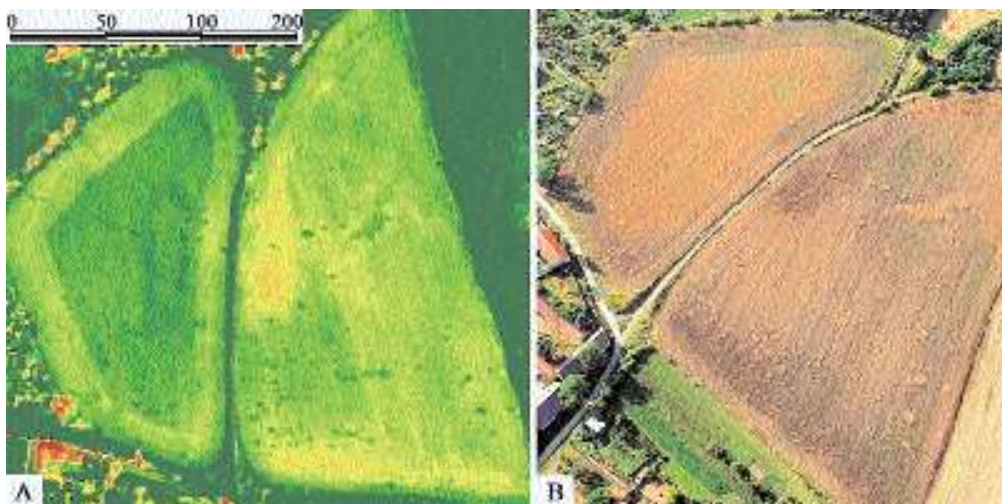
2.2. Družicové systémy pro dálkový průzkum v archeologii

Obecně lze konstatovat, že v dosavadní historii využití dat kosmického DPZ v projektech zaměřených na identifikaci, dokumentaci a ochranu archeologického dědictví se uplatnila data ze všech



Obr. 3. Ledčice (okr. Mělník). Srovnání panchromatického snímku porostových příznaků nad bodovými objekty (jámy, zemnice) na pravěkém sídlišti (A) a téhož snímku zpracovaného pomocí Sobelova filtru (B). QuickBird-2, 29. 7. 2008.

Fig. 3. Ledčice (district of Mělník). Comparison of the panchromatic image of spatial features above point features (pits, sunken houses) at the prehistoric settlement (A) and the same image processed using the Sobel filter (B). QuickBird-2, 29 July 2008.



Obr. 4. Ledčice (okr. Mělník). Porovnání panchromatického snímku v nepravých barvách (QuickBird-2, 29. 7. 2008) a téměř současného šikmého leteckého snímku (M. Gojda, 27. 7. 2008).

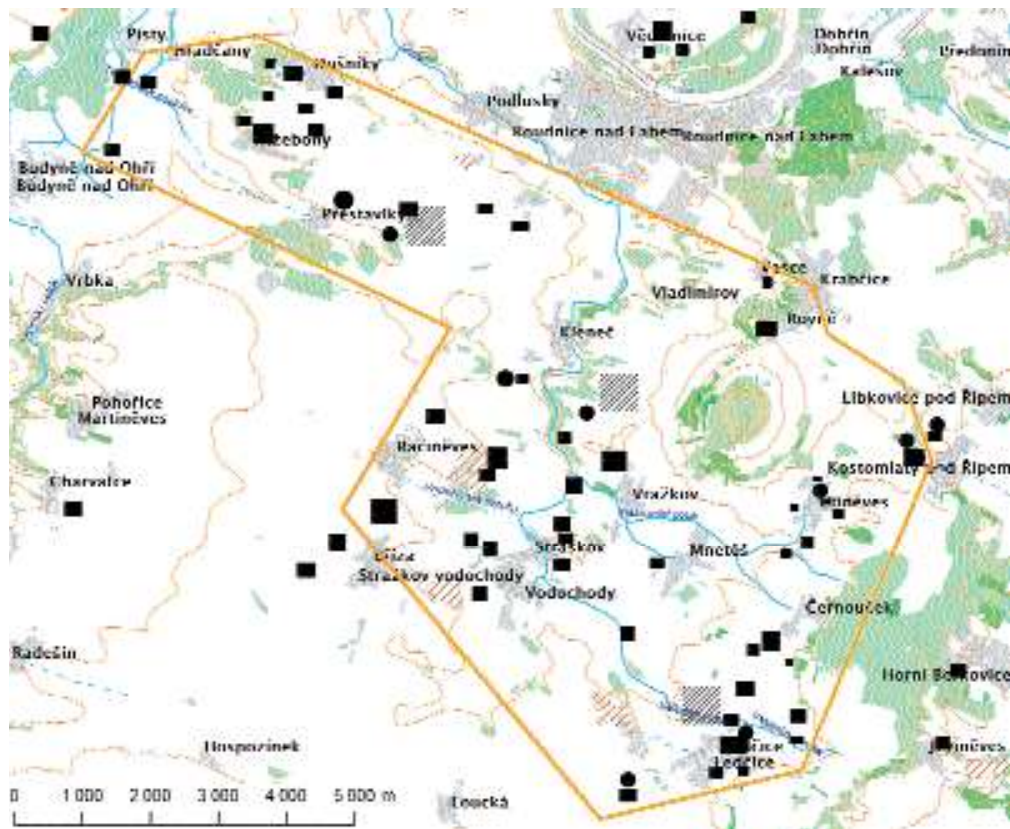
Fig. 4. Ledčice (district of Mělník). Comparison of panchromatic image in false colours (QuickBird-2 – 29 July 2008) and oblique aerial photograph taken at nearly the same time (M. Gojda, 27 July 2008).

tří základních typů družicových zařízení (přehled o dostupnosti družicových snímků na internetu viz *tab. 1*). Jedná se o snímky pořízené: 1. klasickými fotografickými komorami; 2. digitálními senzory (skenery, spektrometry); 3. zobrazujícími radary.



Obr. 5. Straškov 1 (okr. Litoměřice). Srovnání šikmého snímku pravěkého sídelního areálu (dole) pořízeného 27. 7. 08 za ideálních podmínek (vrcholná fáze vegetačního cyklu, vynikající světelné podmínky v podvečer jasného slunného dne) a družicového snímku QuickBird-2 pořízeného o dva dny později. Šípky ukazují na půdorys zahloubeného obydlí (zemnice) a halové stavby (základový žlab, paralelní řady kůl. jam uvnitř, vstup/brána s kůl. jámami po stranách). Družicový snímek je (podobně jako ostatní zde publikované družicové snímky) standardně orientován (S nahoře), šikmý záběr pořízen od SSV.

Fig. 5. Straškov 1 (district of Litoměřice). Comparison of oblique photograph of prehistoric settlement area (below) taken on 27 July 2008 under ideal conditions (peak phase of vegetation cycle, outstanding light conditions in the early evening of a clear, sunny day) and a QuickBird-2 satellite image taken two days later. Arrows indicate the layout of a sunken residence (sunken-featured buildings) and a hall structure (foundation trench, parallel rows of post holes inside, entrance/gate with post holes along the sides).



Obr. 6. Podřipsko. Lokality identifikované a) leteckým průzkumem a dokumentované pomocí šikmých fotografií (obdélníky; jejich velikost odpovídá zhruba poměrnému plošnému rozsahu identifikovaných areálů); b) na družicových snímcích (kroužky); šikmou šrafurou vyznačeny plošně rozsáhlé liniové systémy identifikované na družicových snímcích. Rámeček vymezuje území družicového snímku QuickBird-2 z 29. 7. 2008, ale na mapě jsou údaje ze všech analyzovaných družicových snímků.

Fig. 6. Surroundings of Říp Hill (district of Litoměřice). Site identified a) by aerial survey and documented using oblique photography (rectangles; their size corresponds roughly to the area of the identified grounds); b) in satellite images (rings); cross hatching indicates the large area of the linear system identified on the satellite images. The frame demarcates the area of the QuickBird-2 satellite image from 29 July 2008, but the map contains data from all of the analyzed satellite images.

Klasické fotografické komory

CORONA. Nejstarší družicový program, určený primárně k pořízování špionážních dat (panchromatických snímků), fungoval v letech 1959–1972. Byl produktem spolupráce mezi US Air Force, CIA a několika soukromými společnostmi. Míse v jednotlivých etapách programu CORONA jsou značeny jako KH (1–4). Nejstarší snímky měly rozlišení ca 12 m, nejvyššího rozlišení pak bylo dosaženo u kamer KH-4B (ca 1,8 m), které fungovaly od r. 1967. Systém KH-4 přinesl výrazná technická zlepšení především proto, že použitím dvojice kamer začal být povrch Země snímán stereoskopicky. V tomto rozlišení dosahovala rozloha území zachyceného na jednom filmovém pásu (tzv. scéna) ca 14 x 188 km, a to v měřítku ca 1 : 250 000. Jednotlivé mise trvaly zpočátku jeden den, později se doba obletu zvyšovala a dosáhla délky téměř tři týdnů.

V r. 1995 proběhla první vlna odtajnění dat z programu CORONA, kdy bylo zpřístupněno více než 860 tisíc snímků (v tom započítáno asi 40 tisíc snímků z méně známých družicových systémů ARGON a LANYARD). V r. 2000 k nim přibýlo dalších 48 tisíc snímků družic KH-7-9 (GAMBIT), které již pořizovaly data s velmi vy-



Obr. 7. Černouček 1 (okr. Litoměřice). Rozdíl ve stupni viditelnosti malého kruhového objektu (pravděpodobně obvodového příkopu hrobu; pohled od JV) na šikmé letecké fotografii (27. 7. 2008; nahoře) a na družicovém snímku (29. 7. 2008; dole – přibližná poloha objektu je označena šípkami).

Fig. 7. Černouček 1 (district of Litoměřice). The difference in the degree of visibility of the small circular feature (probably the peripheral trench of a grave) on an oblique aerial photograph (27 July 2008; above) and on a satellite image (29 July 2008; below – the approximate position of the feature is marked with arrows).



Obr. 8. Přestavlky (okr. Litoměřice). Nově identifikované lokality na družicových snímcích IKONOS. Liniový pravouhlý systém, pravděpodobně zaniklá pole (v pravé horní polovině snímku); šipky uprostřed indikují velký útvar, který je vzhledem ke tvaru terénu vlevo od silnice možné s jistotou opatrností interpretovat jako zaniklé hradiště se dvěma viditelnými liniemi, snad zaniklými příčnými valy/příkopy (malé šipky uvnitř; především levá z těchto linií se však zdá být pokračováním liniového systému v pravé horní polovině fotografie). Šipky vlevo ukazují na čtyřnásobnou nepravidelně lomenou linii (dvě silné, dvě tenké linie; novověké opevnění?).

Fig. 8. Přestavlky (district of Litoměřice). Newly identified localities on IKONOS satellite images. A linear, right-angled system – probably a former field (in the upper right half of the image); the arrows in the middle indicate a large formation which, due to the shape of the terrain to the left of the road, can be interpreted (with a certain amount of caution) as a defunct fortified settlement with two visible lines – perhaps with former transverse ramparts/ditches (small arrows inside; there appears to be a continuation of the linear system from these lines in the upper right half of the photograph). The arrows to the left indicate a line that is broken irregularly four times (two strong, two thin lines; Early Modern fortifications?).

sokým rozlišením 1,2–0,6 m/pixel a mapovaly především místa zpravodajského významu na území SSSR, která zůstala nepokrytá družicemi CORONA. Snímky těchto systémů jsou uloženy v US National Archives and Records Administration (NARA) a lze je získat přes US Geological Survey – USGS (*Donoghue et. al.* 2002, 212–214; *Forte* 2002, 208; *Fowler* 2007, 11–13; *Goossens* 2005, 192; *Mac Donald* 1995). Výhodou tohoto archivu je cenová dostupnost snímků, kdy digitalizovaný filmový pozitiv jedné scény lze pořídit za 30 dolarů. Velikost scén je proměnlivá, v závislosti na šířce filmového pásu, nicméně se pohybuje minimálně v řádu stovek čtverečních kilometrů (srov. výše). Snímky jsou dnes skenovány s rozlišením 1200, 1800 až 3600 dpi (7 mm), přičemž nepochybně dochází k určité ztrátě informací. Pro bezeztrátové kopírování by bylo vhodné rozlišení 6400 dpi, což by ovšem vedlo k velké datové náročnosti (*Fowler* 2005, 34). Rozlišení prodáváných snímků systému KH-7 se tak reálně pohybuje v rozmezí 2–4 m (srov. *Fowler* 2008, 716).

Snímky z tohoto systému měly pro archeologii velký význam od r. 1995 (odtajnění) do počátku 21. stol., kdy se začala prodávat první data s velmi vysokým rozlišením. I nadále je lze využívat jako zdroje historických obrazových dat o tom, jaký byl stav historické krajiny a archeologických památek v 60.–80. letech 20. století. Po pádu komunistických režimů bývaly tyto snímky také využívány jako podkladové mapy pro rektifikaci z ruky pořá-



Obr. 9. Ledčice (okr. Mělník). Liniový pravoúhlý systém (levá horní část fotografie; zaniklá pole?). Šipky označují lokalitu Ledčice 2 (viz obr. 3, 4). IKONOS-2, 29. 5. 2005.

Fig. 9. Ledčice (district of Mělník). Linear right-angled system (upper left part of photograph – former field?). Arrows indicate the Ledčice 2 site (see fig. 3, 4). IKONOS-2, 29 May 2005.

zených fotografických snímků, a to v zemích, kde kvalita tamních map byla v té době nízká (např. Rumunsko, srov. Olteanu 2002).

KVR-1000. Ruský vojenský systém pořizoval panchromatické snímky o geometrickém rozlišení 1–3 m. Družicové fotografie Evropy logicky pokrývají její západní část, zejména některé oblasti Německa, Velké Británie, Nizozemí, Španělska a Skandinávie (Fowler 1999, 20). Pro území ČR pravděpodobně neexistují. Snímky byly zpřístupněny r. 1992 (Donoghue et al 2002, 212, 215). Zhodnocení těchto fotografií pro detekci archeologických struktur se ve větším měřítku věnoval M. Fowler. Na snímcích v okolí lokalit Stonehenge a Boreland Hill identifikoval jak porostové, tak půdní příznaky různých objektů (zejména ohrazení), a to v kvalitě srovnatelné s kolmými leteckými snímky (Fowler 1996).

Digitální senzory

Systémy se středním/vysokým rozlišením

LANDSAT. Americký civilní systém provozovaný od r. 1972 NASA; mezi lety 1986–1999 vystupoval více-méně jako komerční podnik, od r. 1999 (start družice LANDSAT 7) opět provozován vládou. Poskytuje zejména multispektrální data. První tři družice používaly multispektrální senzor (MSS) s rozlišením 80 m. LANDSAT 4 a 5 kromě toho vylepšený multispektrální senzor Thematic Mapper (TM), který pracuje s rozlišením 30 m. LANDSAT 7 nese výkonnější TM (ETM+), který pořizuje navíc panchromatické snímky s prostor. rozlišením 15 m. Snímky jsou také součástí známého serveru Google Earth. Systém Landsat je historicky nejvyužívanějším systémem pro DPZ.

SPOT. Francouzský civilní družicový systém, na oběžnou dráhu byly postupně vypuštěno pět družic (první startovala r. 1986). Vybavení: multispektrální senzor s rozlišením 20 m a panchromatický senzor s rozlišením 10 m a schopností stereozáběrů.

Vzhledem k relativně malému rozlišení je využití dat z družic LANDSAT a SPOT pro identifikaci archeologických informací a jejich přesné mapování velmi omezené, naproti tomu v mnoha projektech posloužily k ex-



Obr. 10. Terežínská kotlina na satelitním snímku systému QuickBird-2 (3. 5. 2006). Šípky v pravém rohu ukazují na polohu novověkého opevnění u Třeboutic (okr. Litoměřice; srov. *obr. 2*), šipka uprostřed nahoře indikuje umístění polygonálního plošného objektu, velmi pravděpodobně novověké reduty (Mlékojedy 1, okr. Litoměřice; srov. *obr. 11*).

Fig. 10. The Terežín basin on a QuickBird-2 satellite image (3 May 2006). The arrows in the right corner indicate the position of the Early Modern fortifications at Třeboutice (district of Litoměřice; compare *fig. 2*), the arrow in the middle above indicates the location of a polygonal planar feature, most probably an Early Modern redoubt (Mlékojedy 1, district of Litoměřice; compare *fig. 11*).

trakci důležitých informací o přírodních podmínkách konkrétní studované archeologické krajiny. Velmi dobře se oba systémy osvědčily např. při prospekci zaniklých polních a zavodňovacích systémů a komunikací. Dostupnost: NASA, USGS (*Donoghue et al. 2002*, 215; *Madry 1987*; *Fowler 2007*, 7–9).

TERRA-ASTER. Data z americké družice Terra, která se pohybuje ve výšce 705 km, jsou dostupná od r. 1999. Data pořizovaná senzorem ASTER jsou snímána ve 14ti spektrálních pásmech a mají prostorové rozli-



Obr. 11. Mlékojedy 1 (okr. Litoměřice). Pentagonální plošný objekt interpretovatelný jako novověké polní opevnění (reduta). Nahoře šikmý snímek (2. 4. 2006), dole zvětšený výřez objektu ze satelitního snímku QuickBird-2 na *obr. 10*, pořízeného o měsíc později (3. 5. 2006).

Fig. 11. Mlékojedy 1 (district of Litoměřice). A pentagonal planar feature that can be interpreted as an Early Modern fortification (redoubt). Oblique photograph above (2 April 2006), below an enlarged segment of the feature from the QuickBird-2 satellite image in *fig. 10* taken a month later (3 May 2006).

šení 90, 30 a 15 m. Systém umožňuje stereoskopické snímání pro trojrozměrné modelování terénu a tvorbu ortofotomap. Výhodou je krátká doba, kterou družice potřebuje k pořízení 3D scény, tedy snímků ze dvou míst (ca 1 minuta, tedy v průběhu jednoho přeletu), což je ve srovnání např. s časem, který k tomu potřebuje SPOT (dny – týdny, tedy během více než jednoho přeletu) významně méně (ke 3D analýze satelitních snímků pro archeologické potřeby srov. *Goossens et al. 2006*). Bohužel, v r. 2008 došlo k poruše družice a data již dále nejsou pořizována. Dostupnost: NASA

Internetová stránka	Družicový systém	URL
Google Earth	LANDSAT, Quickbird	http://earth.google.com/
NASA World Wind1. 4	LANDSAT	http://worldwind.arc.nasa.gov/
MicrosoftVirtual Earth	LANDSAT, Quickbird	http://microsoft.com/virtualearth/default.aspx
USGS Earth Explorer	CORONA, GAMBIT, LANDSAT, SIR-C	http://www.usgs.gov/pubprod/aerial.html#satellite
NASA Global Land Cover Facility	LANDSAT, ASTER SRTM	http://glcfapp.umd.edu/index.shtml
NASA	ASTER	http://terra.nasa.gov/
SRTM 90m Digital Elevation Data	SRTM	http://srtm.csi.cgiar.org
Geo Eye	IKONOS	http://www.geoeye.com/
Digital Globe	QuickBird	http://digitalglobe.com/
Infoterra	TerraSAR-X	http://infoterra.de/

Tab. 1. Výběr internetových adres, na nichž je možné prohlížet družicové snímky (podle *Fowler 2007*).

Systémy s velmi vysokým rozlišením

Vedle zpřístupnění dat ze špiónážních snímků se stejně významným počinem v USA stala v polovině 90. let skutečnost, že americké úřady povolily vyvíjet a uvádět do provozu systémy s velmi vysokými rozlišovacími schopnostmi (metrové a větší geometrické rozlišení u panchrom. snímků), které nejsou určeny k vojenským, nýbrž civilním účelům (meteorologie, oceánografie, zemědělství, ekologie aj.). Data pořízená těmito systémy mohou společnosti, které je provozují, více méně bez omezení prodávat (*Donoghue et al. 2002*, 211–212). Snímky lze zpracovat až do měřítka ca 1 : 5000, jejich kvalita odpovídá kvalitě snímků malého měřítka pořízených leteckou fotogrammetrií.

Systém **IKONOS** provozuje od r. 1999 na oběžné dráze o výšce 680 km společnost Space Imaging; senzory této družice poskytují panchromatická data s rozlišením 1 m a multispektrální data (R, G, B, NIR) s rozlišením 4 m, snímky pokrývají plochu 11 x 11 km (*Donoghue et al. 2002*, 215; *Goossens 2005*, 195; *Pavelka 2004*, 81).

Systém **QuickBird** patří společnosti Digital Globe se pohybuje 450 km nad Zemí, přičemž pořizuje snímky scén o velikosti 16,5 x 16,5 km jak v panchromatickém (rozlišení 0,61 m), tak multispektrálním (rozlišení 2,44 m) módu, včetně stereoskopických párů (srov. *Pavelka 2004*, 80). Na stejné místo nad zemským povrchem se vrací zhruba jednou za tři dny.

V současnosti jsou to právě produkty těchto dvou družicových systémů, které jsou v archeologii z mnoha důvodů nejvyhledávanějším pramenem kosmického DPZ (např. *Lasaponara – Masini 2007*; *De Laet – Paulissen – Waelkens 2007*, tam další odkazy). Přehled nejdůležitějších současných družicových systémů s velmi vysokým rozlišením viz *tab. 2*.

Stále častěji se také v posledních letech využívá v archeologických projektech dálkového průzkumu pomocí hyperspektrálních snímačů.

Zobrazující radary

V oblasti radarové technologie jsou archeologickými projekty využívána data ze zobrazovacích radarů se syntetickou aperturou, jejímiž nosiči jsou jednak družice, jednak raketoplány i letadla. Nízké frekvence použitého záření dovolují radarům získávat data i přes mlhu, oblačnost a drobný déšť. Radarové vlny také pronikají porostem, do půdy, nebo do sněhové pokrývky, takže dovolují získávat informace i o podpovrchové vrstvě. Obecným

problémem bylo vždy relativně malé prostorové rozlišení radarových snímků (10 m a více), což se ale výrazně změnilo v posledních letech, kdy komerčně dostupné produkty mají rozlišení 1–3 m.

Nejčastěji používaná data jsou produktem evropského (**ERS-1** a **ERS-2**), kanadského (**RADARSAT**) a japonského (**JERS**) radarového systému. Do r. 1994 byl celkem třikrát vypuštěn americký systém **Shuttle Imaging Radar – SIR** (SIR-A 1981, SIR-B 1984, SIR-C/X-SAR 1994), na jehož obrazových datech byly rozpoznány zaniklé systémy zavlažovacích kanálů v aridních oblastech sev. Ameriky, sev. Afriky a Středního východu, v tropických oblastech Mexika, Guatemala (mayská sídelní oblast) a jihových. Asie (Angkor Vat – přes hustou pokrývku vegetace byly odhaleny ceremoniální komplex a systém vodních nádrží a kanálů). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)** pomohl identifikovat sídlištní pahorky na Předním východě a zaniklý zavlažovací systém v Mezopotámii (souhrnný přehled s odkazy na další lit. Fowler 2007, 9). Dostupnost: NASA.

Družice	Start	Prostorové rozlišení panchromatických dat (m)	Prostorové rozlišení multispektrálních dat (m)
IKONOS-2	1999	1	4
QuickBird-2	2001	0,61	2,44
OrbView-3	2003	1	4
Kompsat-2	2006	1	4
Formosat-2	2005	2	8
Eros B	2006	0,7	x
WorldView-1	2007	0,5	x
GeoEye-1	2008	0,41	1,65

Tab. 2. Přehled současných družicových systémů s velmi vysokým rozlišením (podle různých zdrojů).

2.3. Metody zpracování družicových dat

Často se při analýze multispektrálních družicových snímků používají různé metody klasifikace obrazu, které bývají mnohdy automatizované. Jde zpravidla o detekci a sloučení objektů s podobnou spektrální odrazivostí do jednotlivých tříd, které charakterizují objekty různého typu na zemském povrchu (srov. Sedlák – Hobza 2006, 43). Příznaky archeologických objektů jsou však většinou natolik variabilní, že využití těchto metod umožňují jen v omezené míře a nemohou nahradit prostou vizuální interpretaci (srov. De Laet – Paulissen – Waelkens 2007).

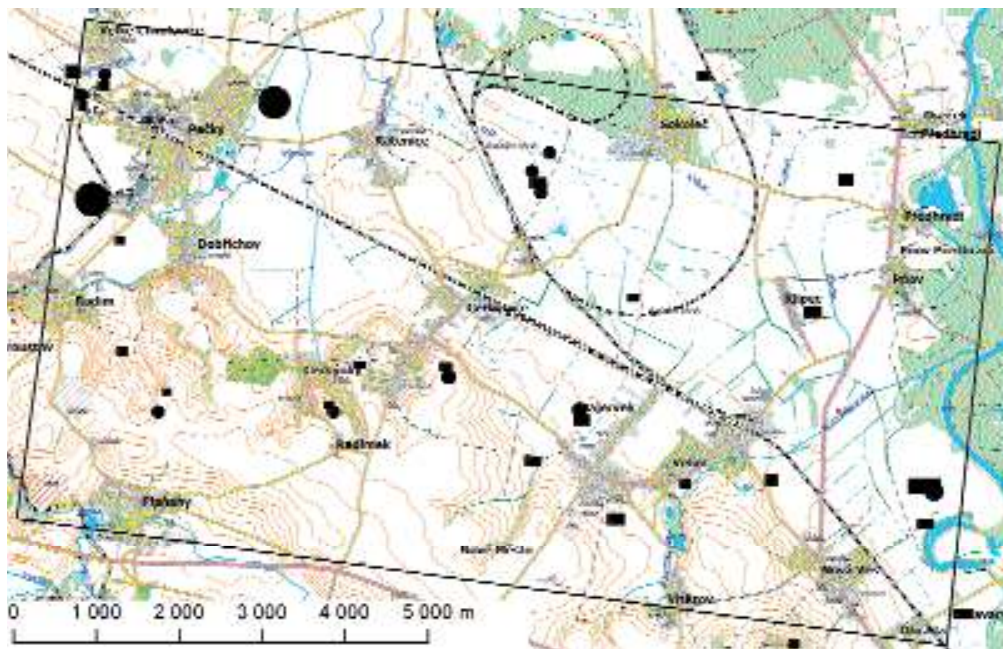
K analýze družicových dat se nejčastěji používají speciální programy určené ke zpracování obrazových dat, které jsou často náročné na výpočetní techniku (data jsou v řádu stovek megabajtů). V naší práci jsme použili programové produkty Erdas Imagine, Geomatica a IDRISI.

V následující části budou stručně představeny některé z běžně používaných metod zpracování družicových dat; ty byly zároveň použity v našem projektu.

Pansharpening. Z hlediska prostorového rozlišení se družicová data hodí zejména ke studiu větších objektů, jako jsou různá ohrazení, mezní systémy polí, anebo zaniklé cesty. Zajímavým projektem tohoto typu je např. mapování zaniklých cest, po nichž byly transportovány sochy moai na Velikonočním ostrově, s pomocí snímků družice QuickBird-2 (Lipo – Hunt 2005).

U současných družicových senzorů narážíme na skutečnost, že panchromatická data s velmi vysokým rozlišením jsou pouze „černobílá“, což znesnadňuje interpretaci snímků, a na druhou stranu „barevná“ multispektrální data v prostorovém rozlišení zaostávají. Problémy s nedostatečným prostorovým rozlišením multispektrálních dat mohou být částečně zredukovány použitím metody zvané pansharpening, kdy se do výsledného obrazu kombinují oba typy dat, takže vzniká barevný snímek s rozlišením panchromatických dat. Většinou se jedná o matematický proces založený na různých, např. statistických metodách. V příkladu demonstrovaném na obr. 1 byl použit automatický algoritmus programu Geomatica (blíže Zhang 2002).

Vegetační indexy. Důležitým zdrojem informací o archeologických objektech jsou tzv. porostové příznaky pozorovatelné na některých typech vegetace. Z tohoto hlediska mohou být výhodné metody výpočtu tzv. vegetačních indexů na základě multispektrálních či hyperspektrálních družicových dat. Tato metoda vychází ze skuteč-



Obr. 12. Kolínsko. Lokality identifikované a) leteckým průzkumem a dokumentované pomocí šikmých fotografií (obdélníky); b) na družicových snímcích (kroužky). Rámeček vymezuje území družicového snímku IKONOS-2 z 15. 6. 2006.

Fig. 12. Kolín region. Sites identified a) by aerial survey and documented using oblique photography (rectangles); b) on satellite images (rings). The frame demarcates the area of the IKONOS-2 satellite image from 15 June 2006.

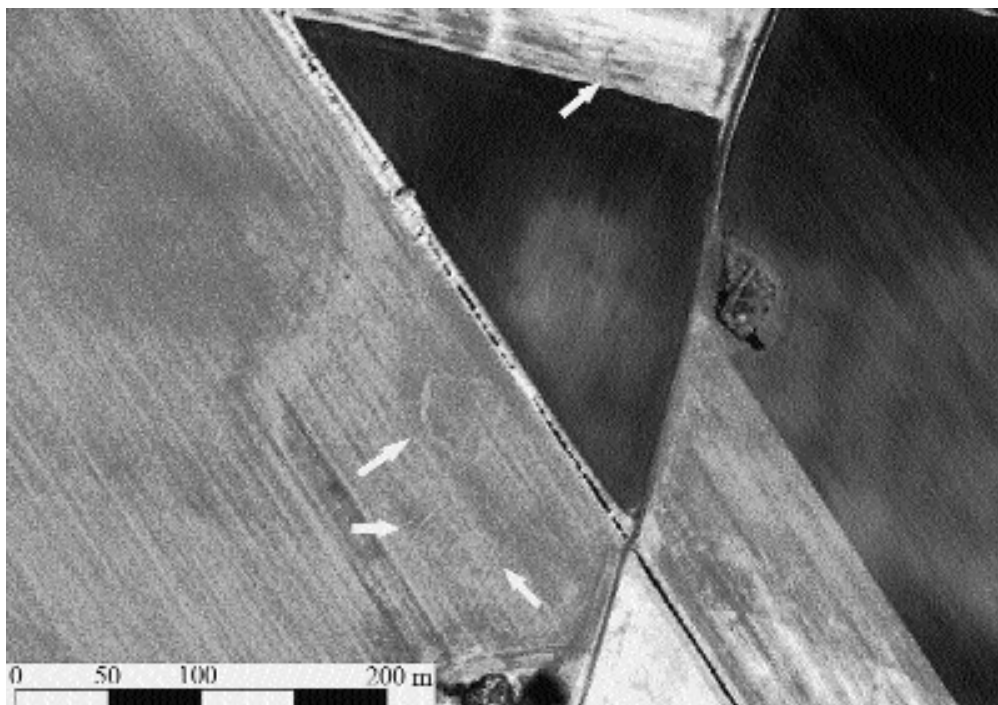
nosti, že v některých spektrálních pásmech mají rostlinné buňky obsahující chlorofyl velmi vysokou odrazivost, a pokud jsou tato pásma dále matematicky zpracována, dávají velmi dobrý přehled o stavu a změnách vegetace. Často se používají indexy vyjadřující vztah mezi odrazivostí v intervalu červené (RED) viditelné části spektra (600–700 nm) a v blízké infračervené (NIR) části spektra (přibližně 700–900 nm), neboť zatímco ve viditelném červeném pásmu je záření silně pohlcováno chlorofylem, v neviditelné, blízké infračervené části spektra naopak odrazivost prudce stoupá (Sedláček – Hobza 2006, 66). Odrazivost je rovněž silně ovlivňována obsahem vody v rostlinách, přičemž obecně platí, že čím je obsah vody nižší, tím je odrazivost vyšší (Halounová – Pavelka 2005, 47).

Přínos vegetačních indexů pro detekci porostových příznaků názorně ilustruje obr. 2, zachycující relikty před-sunutých dělostřeleckých baterií v okolí tereziánské pevnosti. Zatímco na kompozici složené z viditelných částí spektra jsou nápadné především půdní příznaky rozorané baterie na k. ú. Trnovany (obr. 2A), v případě poměrového vegetačního indexu (obr. 2B) jsou zvýrazněny především porostové příznaky další části zaniklého opevnění na katastru Litoměřic. Vegetačních indexů existuje celá řada, v tomto konkrétním případě byl použit tzv. normalizovaný poměrový vegetační index NDVI ($NDVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1}$, přičemž $RVI = \frac{NIR}{RED}$) počítaný programem Idrisi (blíže Eastman 2006, 221).

V důsledku již zmíněného horšího prostorového rozlišení multispektrálních dat je zatím použití této metody omezeno jen na rozměrnější objekty.

Filtrace obrazu. Pro zvýraznění jednotlivých objektů v rámci snímku mohou být použity i filtry pro detekci hran (Prewittův, Sobelův apod.). Na možnosti úspěšné detekce porostových příznaků zahloubených objektů s pomocí vegetačních indexů a metod filtrace obrazu již bylo poukázáno na příkladu zaniklé středověké vesnice Monte Irsi a kláštera Iure Vetere v jižní Itálii (Lasaponara – Masini 2007).

Sobelův hranový filtr využívá při výpočtu nové hodnoty pro každou rastrovou buňku osmi sousedních buněk (kernel 3 x 3); tento filtr byl použit v případě lokality Ledčice (viz obr. 3), kde poměrně úspěšně detekoval hrany desítek objektů.



Obr. 13. Sokoleč (okr. Kolín). Šipky v dolní části snímku ukazují na 2 nepravidelná příkopová ohrazení (dole: poprvé rozpoznané na tomto družicovém snímku, nad ním: identifikované již v 90. letech 20. stol. při letecké prospekci a evidované jako Sokoleč 1). Uprostřed nahoře nově identifikovaný malý kruhový příkopový objekt. IKONOS-2, 15. 6. 2006.

Fig. 13. Sokoleč (district of Kolín). The arrows in the lower part of the image indicate two irregular ditch enclosures (below: recognized for the first time on this satellite image; above: identified in the 1990s during aerial survey and recorded as Sokoleč 1). In the middle above – a newly identified small, circular ditch feature. IKONOS-2, 15 June 2006.

3. Srovnání vizuálního leteckého průzkumu a analýzy družicových dat: příkladové studie

Od r. 1992 probíhá dlouhodobý projekt pražského Archeologického ústavu AV ČR (k dosavadním výsledkům např. *Gojda 1997; 2004; Gojda ed. 2004*). Data – šikmé letecké snímky uchované na různých druzích médií v analogové a digitální formě – jsou jako dlouhodobě využitelný zdroj informací o projevech minulých sídelních aktivit člověka na území Čech shromažďována v Archivu leteckých snímků ARÚ (dále jen ALS; *Gojda 2008b*). Tohoto zdroje jsme využili jako srovnávacího materiálu ke zjištění potenciálu družicových obrazových dat v archeologickém průzkumu. K uvedenému účelu byly vybrány čtyři výše uvedené oblasti, jejichž vizuální prospekci byla v minulých zhruba patnácti letech věnována víceméně systematická pozornost. Určitou výjimkou je údolí Chomutovky, kde byl systematický průzkum praktikován pouze nárazově (resp. v letech 2005 a 2008). Proto bude zajímavé konfrontovat potenciál příslušného snímku s výsledky, jichž zde bylo dosaženo v rámci dlouhodobého projektu ÚAPPSZČ (Z. Smrž).

Družicové snímky lze u nás v současnosti objednat přes několik společností. V našem projektu jsme prostřednictvím firmy ArcData Praha získali:

1. archivní panchromatické snímky části údolí Chomutovky (z 2. 7. 2003), Podřipska (z 29. 5. 2005) a Kolínska (z 15. 6. 2006) pořízené družicí IKONOS-2;

2. archivní panchromatické a multispektrální snímky Podřipska (23. 4. 2005) a Terezínské kotliny (3. 5. 2006) pořízené družicí QuickBird;
3. panchromatické a multispektrální snímky Podřipska pořízené na objednávku družicí QuickBird dne 29. 7. 2008.
4. panchromatické snímky tří oblastí z území ČR (údolí Cidlina a jeho širší okolí, Olomouc a okolí; Znojensko) ze špionážní družice GAMBIT (KH-7) z dubna-května 1966; tyto snímky byly dodány také v multispektrálním provedení, jehož rozlišení je ale vzhledem k tehdejšímu technickým možnostem velmi nízké, takže pro detekci archeologických památek jsou nepoužitelné.

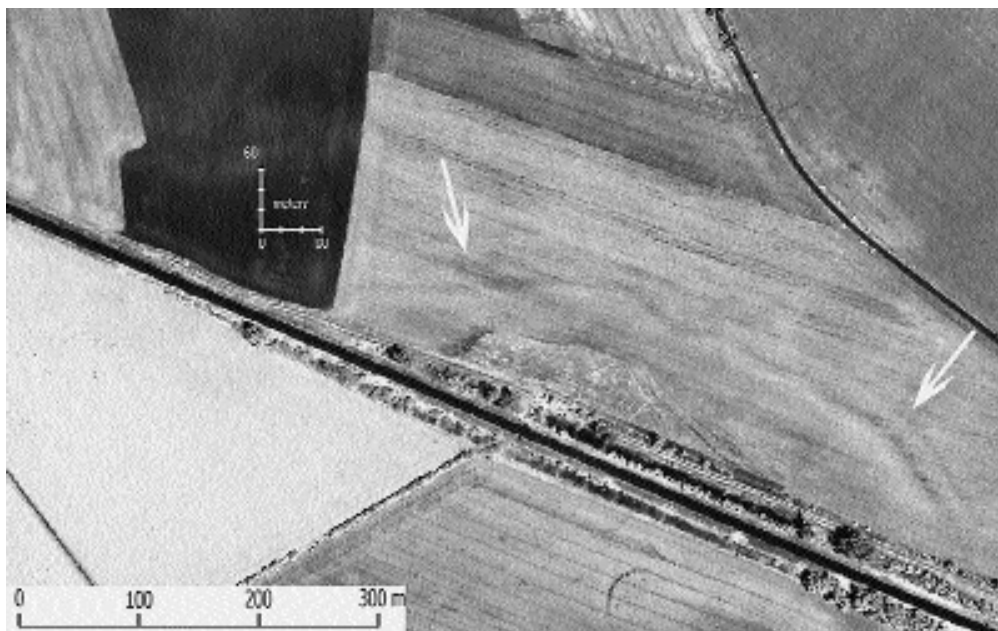
Družicové snímky nabízené provozovateli satelitních systémů jsou dvojího druhu. V našem projektu jsme aplikovali oba typy dat (viz *tab. 3*).

- a) *Archivní snímky* byly pořízeny v minulosti a pro potřeby archeologického průzkumu mohou být vhodné, protože na nich může být zachycen později zaniklý či poškozený areál/objekt. Výhodou je také jejich cena, zhruba o polovinu nižší než u snímků pořizovaných na zakázku. Jejich nevýhodou je, že nejsou pořizovány přímo pro potřeby archeologie, takže pro vyžádané území jsou často k dispozici pouze snímky pořízené v ročních obdobích nepříznivých pro výskyt vegetačních (event. půdních) příznaků.
- b) *Snímky pořizované na zakázku objednavatele.* Jelikož archivní data bývají poměrně zřídka pořizována v ročním období, které je nejvhodnější pro detekci porostových příznaků, pokusili jsme se (pro Podřipsko) objednat snímek družice QuickBird-2, který by prostor zachytil v námi přesně vymezeném časovém úseku. Zde je nutno upozornit na úskalí, s nímž jsme se při této objednávce setkali. Přestože distributor dat uvádí, že se družice vrací na stejné místo nad Zemí zhruba jednou za tři dny, skutečnost je evidentně komplikovanější. Z hlediska možnosti kolmého snímkování je tato doba rozhodně delší a uvedená skutečnost je nejspíše příčinou faktu, že snímek byl pořízen až 29. 7. 2008, v době vrcholící sklizně, kdy je výskyt porostových příznaků na zemědělských plodinách omezen. Např. v případě zřetelně viditelného lichoběžníkového ohrazení v poloze Vražkov 4 došlo k tomu, že poslední šikmé snímkování této lokality se uskutečnilo 27. 7. 2008, ale dva dny poté, kdy byl pořízen družicový snímek, již bylo pole sklizeno, takže za této situace (nad objektem je strniště) nebylo možné tento objekt zviditelnit žádným z výše uvedených postupů zpracování multispektrálních snímků.

Oblast	Družice	Datum snímku panchromatické	Rozlišení multispektrální	Rozlišení
Chomutovsko	IKONOS-2	2. 7. 2003	1 m	x
Podřipsko	QuickBird-2	23. 4. 2005	0,61 m	2,44 m
Podřipsko	IKONOS-2	29. 5. 2005	1 m	x
Podřipsko	QuickBird-2	29. 7. 2008	0,61 m	2,44 m
Terežín. kotlina	QuickBird-2	3. 5. 2006	0,61 m	2,44 m
Kolínsko	IKONOS-2	15. 6. 2006	1 m	x

Tab. 3. Základní informace o družicových datech použitých v projektu.

Důkladnou vizuální prospekci těchto družicových snímků jsme sledovali ta místa zemského povrchu, na nichž byly prostřednictvím leteckého průzkumu z výšky kolem 300 m, identifikovány rozmanité druhy objektů a areálů antropogenního původu (Podřipsko, Terežínsko, Kolínsko). Hlavním indikátorem, který způsobil jejich odhalení, je vegetace rostoucí nad těmito objekty, jejíž barva, výška a hustota se za určitých podmínek odlišují od okolní vegetace (stejněho druhu, především obilovin). Tento efekt označujeme termínem porostové/vegetační příznaky; ojediněle byly identifikovány objekty zvýrazněné pomocí tzv. půdních příznaků (*Gojda 2004*, 76–82). Vedle toho jsme také věnovali pozornost špionážním snímkům ze 60. let (KH-7 GAMBIT), které jenom částečně pokrývají území



Obr. 14. Cerhenice (okr. Kolín). Dvojitá lomená linie. IKONOS-2, 15. 6. 2006.

Fig. 14. Cerhenice (district of Kolín). Double broken line. IKONOS-2, 15 June 2006.

dlouhodobě sledované v programu letecké prospekce ARÚ (Cidlina), protože většina území pokrytá získanými snímky je mimo dosah uvedeného programu (Olomoucko, Znojemsko). V následující části budeme sledovat výsledky srovnání v jednotlivých oblastech (čísla za lokalitami odpovídají pořadovému číslu, označujícím v ALS lokality objevené při leteckém průzkumu v jednotlivých katastrech).

3.1. Podřípsko

V tomto regionu (resp. v té jeho části, kterou zabíraly použité družicové snímky; viz *obr. 6*) bylo v předchozích letech aktivitami Archeologického ústavu AV ČR a KAR identifikováno 51 míst (lokalit), charakterizovaných výskytem často velkého počtu bodových objektů, malých a středně velkých (výjimečně i velkých) příkopových ohrazení (naposledy *Gojda 2007*). Jak je patrné z mapy, v případě Podřípska se na satelitních snímcích podařilo dohledat vegetací zvýrazněné objekty pouze na čtyřech z těchto lokalit (IKONOS – Ctíněves 4, Kostomlaty p. Ř. 1, Kostomlaty p. Ř. 2, Ledčice 2), resp. na třech (QuickBird – Kleneč 1, Ledčice 2, Ledčice 6). Přitom je třeba říci, že detekovatelnost objektů v některých z těchto lokalit na je samé hranici rozpoznatelnosti a bez předběžné znalosti konkrétní lokality ze šikmých snímků by s nemalou dávkou pravděpodobnosti nebyly vůbec evidovány. Kupodivu jsou často lépe viditelné bodové objekty (zahluobené chaty, jámy, např. Ledčice 2, viz *obr. 3 a 4*) než ohrazující příkopy (např. většina poloh v okolí Straškova, *obr. 5*).

V lokalitě Černouček 1 (LT) byly 27. 7. 2008 snímkovány porostové příznaky středně velkého kruhového příkopového ohrazení, známého od 90. let 20. stol. (průměr 16–18 m), které však je na panchrom. snímku skenovaném družicí Quickbird o dva dny později téměř nerozpoznatelné i pro zkušeného pozorovatele: *obr. 7a, 7b*).

3.2. Terezínská kotlina a severní břeh Labe

Na území zachyceném na satelitním snímku QuickBird-2 z 3. 5. 2006 (*obr. 10*) je v ALS evidována jednak koncentrace lokalit na katastru obce Hrdly (celkem sedm) a jednak dalších osm lokalit

na jiných katastrálních územích. Na snímku jsou zřetelně identifikovatelné tři z těchto lokalit – všechny souvisejí s novověkým opevněním. Jedná se o dvě ze série šesti dělostřeleckých baterií na sev. břehu Labe (dodatečně vybudované předsunuté opevnění Terezína z poloviny 19. stol. u Třeboutic; viz *Gojda 2008c*), z nichž jedna je patrná díky porostovým, druhá díky půdním příznakům (viz kap. 2.3 a *obr. 2*), a dále o objekt podobného pentagonálního tvaru (a pravděpodobně i podobného účelu) po levé straně Ohře těsně před soutokem s Labem u Mlékojed. Mimořádně dobře je na družicovém snímku vykreslen systém zaniklých koryt a meandrů v krajině na soutoku Labe a Ohře západně od Terezína.

Katastr	Lokalizace S-42 (střed)	Popis	Velikost
Přestavky	558650–344340	čtyřnásobná lomená linie	délka ca 750 m
Přestavky	558610–344440	dvě linie napříč terén. bloku (zaniklé vícedílné hradiště?)	délka linií 150–200 m
Roudnice n. L.	558640–344480	šachovnicový liniový systém (zaniklá pole?)	ca 1 km ²
Kleneč	558450–344800	šachovnicový liniový systém (zaniklá pole?)	ca 1,5 km ²
Kleneč	558470–344610	dvojitá linie (geol.?, příkopy?)	šířka 10–25 m
Ledčice	557980–344960	šachovnicový liniový systém (zaniklá pole?)	ca 0,5 km ²
Vražkov	558400–344730	pravoúhlé ohrazení	ca 200 x 100 m

Tab. 4. Podřipsko: areály/objekty nově identifikované na družicových snímcích.

3.3. Údolí středního Labe na Kolínsku

V transektu zachyceném na panchromatickém družicovém snímku systému IKONOS bylo předchozími aktivitami ARÚ rozpoznáno a evidováno celkem 21 poloh s výskytem porostových příznaků. Na družicovém snímku Kolínska jsou porostové příznaky patrné v sedmi polohách z oněch 21, i když některé z nich lze označit za projevy archeologické situace pouze s výhradami (*obr. 12*). Podobně jako u Podřipska, i na Kolínsku jsme na družicovém snímku identifikovali dosud neznámé areály s bodovými objekty (snad pravěké jámy a zahloubené chaty) a jeden liniový objekt. Výjimečná je situace u lokality Sokoleč, kde jsme poblíž nepravidelného čtyřúhelníkového ohrazení identifikovaného při letecké prospekci v minulém desetiletí (Sokoleč 1) v jeho bezprostřední blízkosti na družicovém snímku dohledali další podobný objekt a o 170 m severněji malý kruhový objekt (*obr. 13*). Zhruba 700 m dlouhá tmavá lomená linie dvojitého příkopu (?) se světlou linií valu (?), do značné míry podobná objektu z Přestavky na Podřipsku, byla na snímku identifikována západně od Cerhenic (*obr. 14*). Zajímavou situaci jsme zjistili při analýze družicového snímku u severových. okraje obce Velké Chvalovice. Pentagonální tvar v reliéfu zachovaného objektu a uspořádání liniových útvarů v jeho blízkosti dovolují uvažovat o pozůstatcích novověkých fortifikačních prvků (reduta, resp. redan), které by bylo možno spojit s bitvou sedmileté války u Kolína (*obr. 15*).

Katastr	Lokalizace S-42 (střed)	Popis	Velikost
Pečky	555030–350100	bodové objekty	desítky
Pečky	555150–350330	bodové objekty	desítky
Plaňany	554750–350230	linie	ca 150 x 120 m
Sokoleč	555009–350650	ohrazení pravoúhlé (?)	ca 45 x 40 m
Sokoleč	555115–350650	ohrazení kruhové	ca 25 x 22 m
Cerhenice	555000–350490	dvojitá lomená linie	délka ca 700 m

Tab. 5. Kolínsko: areály/objekty nově identifikované na družicových snímcích.

3.4. Údolí Chomutovky

Relativně největší počet nově identifikovaných lokalit se zde podařilo rozlišit na panchromatickém snímku z družice IKONOS. Je to jistě ovlivněno tím, že letecká prospekce zde byla praktikována pouze krátce, v rámci kurzů leteckého průzkumu plzeňské katedry v červnu 2005 a 2008. Při tom zde bylo identifikováno 10 poloh s výskytem převážně obytných a pohřebních komponent (v l. 1992–2008 systematicky vedený letecký průzkum tohoto území odhalil dalších 37 lokalit; ústní sdělení Z. Smrže). Vedle bodových objektů – převážně jam a zahloubených obytných jednotek – zde byla odhalena i tři malá čtverhranná liniová ohrazení a část jednoho středně velkého ohrazení. Pouze ve dvou z celkového počtu 10 lokalit byly při vizuální analýze satelitního snímku dohledány nevýrazné stopy, které lze s jistotou rezervou považovat za porostové příznaky obytných komponent. Nově bylo na satelitním snímku identifikováno 7 objektů/areálů (3 liniové objekty/ohrazení, 2 systémy paralelních linií, 2 areály s bodovými objekty: *tab. 6*), u některých z nich není však jejich výklad jednoznačný. Mimo uvedené lokality lze na snímku vidět řadu obtížně interpretovatelných linií (zaniklé cesty a vodoteče, moderní produktovody).

Katastr	Lokalizace S-42 (střed)	Popis	Velikost
Všestudy	559200–339470	bodové objekty	desítky
Údllice	559100–339190	paralelní linie	délka 400–100 m
Údllice	559130–339150	bodové objekty	Desítky
Březno – Střezov	558620–338930	neprav. kruh. ohrazení	průměr ca 50 x 50 m
Bílence	559100–339500	kruhové ohrazení	ca 35 x 40 m
Velemyšleves	558840–339920	lichoběž. ohrazení	ca 55 x 25 m
Velemyšleves	558750–339780	paralelní lomené linie; zaniklý systém teras (?)	délka: několik set m

Tab. 6. Údolí Chomutovky: areály/objekty nově identifikované na družicovém snímku.

3.5. Regiony Cidlina, Olomouc, Znojmo

Stručně se zmiňme o analýze série odtajněných špionážních snímků americké série GAMBIT (KH-7) z širší oblasti údolí Cidliny, z Olomoucka a Znojemska, pořízených v r. 1966 (k zákl. parametrům tohoto systému viz kap. 2.2). Je na nich patrné, že byly pořízeny v době, kdy technické možnosti snímačů byly ve srovnání se současností výrazně horší. Projevuje se to např. v přítomnosti různých šumů (zejm. paralelních vodorovných linií, které mají pravděpodobně původ v navíjení negativů na původní cívky). Přesto i na těchto snímcích lze dohledat archeologické objekty prostřednictvím vegetačních příznaků (srov. těšetický neolitický rondel na *obr. 17*), avšak je to obtížnější než u snímků ze současných družic. Nezanedbatelnou mají cenu jako historický pramen, protože zobrazují podobu krajiny 60. let 20. stol. jednak vcelku, jednak v detailech lokálních komponent, které od té doby zanikly (např. plužina, komunikace). Značnou nevýhodou námi zkoumaných snímků je jejich značné (až 30 %) zastření povrchu kvůli oblačnosti, což je ale obecný problém družicových dat. Ke snímkům byl dodán také jednoduchý program umožňující je prohlížet, nikoli upravovat. Nevýhodou také je, že snímky se otevírají v nestandardní orientaci – jejich horní okraj je místo na S pootočen zhruba o 30° na V, což lze řešit jen aplikací některého ze speciálních softwarů (srov. kap. 2.3; v případě použití programu Erdas Imagine trvá ovšem jejich otevírání několik minut, protože každý ze snímků obsahuje více než 1 GB obrazových dat).

4. Zhodnocení, diskuse, závěry

V prezentovaném projektu došlo poprvé v české archeologii k systematickému využití družicových snímků území ČR (jistou výjimkou je práce *Pavelka et al. 2008*). Hlavním cílem bylo zhodnotit jejich potenciál a využití jak při identifikaci archeologických lokalit, tak při výzkumu krajinných



Obr. 15. Velké Chvalovice (okr. Kolín). Polygonální útvar zachovaný v terénním reliéfu. Jeho tvar a velikost dovolují uvažovat o interpretaci objektu jako novověké pevnosti (reduty). IKONOS-2, 15. 6. 2006.
 Fig. 15. Velké Chvalovice (district of Kolín). A polygonal formation preserved in the terrain relief. The shape and size suggest that the feature may be interpreted as an Early Modern period stronghold (redoubt). IKONOS-2, 15 June 2006.

celků/transektů v jejich historickém vývoji. V následujících řádcích se pokusíme stručně shrnout nejdůležitější fakta a vyvodit z nich závěry.

Satelitní data jsou výhodným zdrojem informací dosažených formou vertikálního snímání velkých ploch zemského povrchu, přičemž výsledkem jsou kolmé, (více méně přesně) georeferencované snímky pořízené často v různých částech spektra. Přitom lze snímání realizovat i v oblastech nepřístupných pro klasický letecký průzkum. Digitální zápis těchto dat zároveň umožňuje použití rozličných metod zpracování obrazu (filtrace, detekce hran, *pansharpening*, výpočet vegetačních indexů z multispektrálních dat apod.). Všechny tyto metody jsme pokusně aplikovali s využitím programů Erdas Imagine, Idrisi a Geomatica.

K nevýhodám satelitních snímků patří silná závislost jejich kvality na atmosférických vlivech, které mohou snímání zkreslovat, nebo znemožnit (platí zejména o oblačnosti). To může být dosti limitující, např. v případě projektu Podřipsko nastaly vhodné podmínky pro snímání až v době, kdy mnoho lokalit již postrádalo porost, a tudíž i porostové příznaky. Přesné načasování snímání je poněkud problematické. Ačkoliv provozovatel systému QuickBird-2 uvádí návrat družice nad stejné místo nad Zemí jednou za 3 dny, pro účely kolmého snímání je tato doba výrazně delší (zhruba 2 týdny), což výrazně snižuje počet možných pokusů o snímání např. ve vegetačním období.

Z dalších omezení, s nimiž musíme při aplikaci družicových dat počítat, zmíníme ta, která jsou spojena s jejich analýzou pro účely detekce zahloubených objektů. Jedná se především o stále relativně nedostatečné prostorové rozlišení multispektrálních dat, čtyřikrát menší než u dat panchromatických. Pro detekci zahloubených objektů, a to jak bodových (jámy o průměru 1–3 m, které jsou nejčastějším druhem zahloubeného objektu v našem prostředí), tak liniových (ohrazující příkopy o šířce pod 2 m),

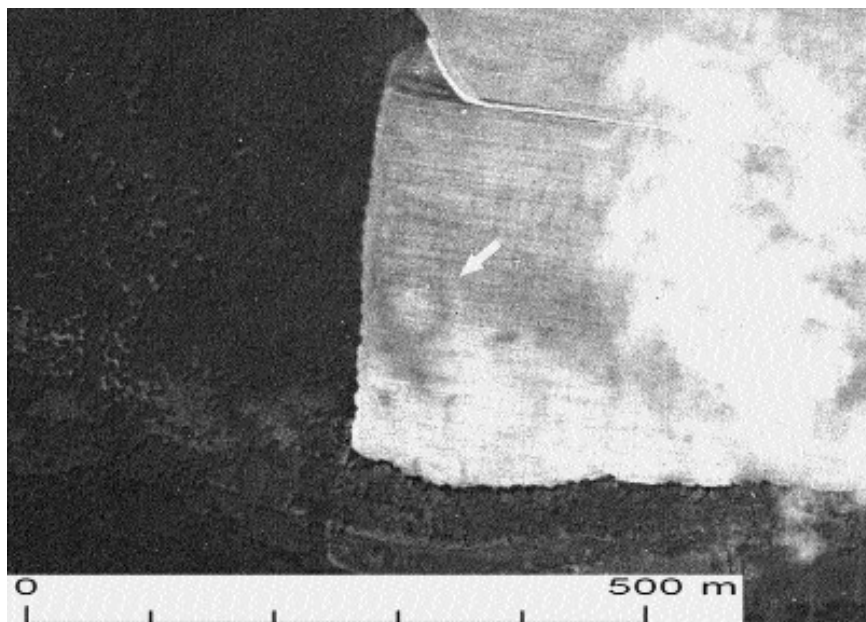


Obr. 16. Velemyšleves (okr. Chomutov). Paralelní linie mohou být zaniklé polní terasy indikované prostřednictvím vegetačních příznaků. IKONOS-2, 2. 7. 2003.

Fig. 16. Velemyšleves (district of Chomutov). The parallel lines could be former field terraces indicated by cropmarks. IKONOS-2, 2 July 2003.

jsou družicové snímky s rozlišením kolem 0,5 m dostatečně kvalitní. Způsoby analýzy multispektrálních dat, které jsme v projektu aplikovali, umožnily zvýraznění kontur konkrétních objektů (především vegetačních indexy), které ale jsou viditelné i na paralelním snímku panchromatickém. V žádném případě se nepodařilo zvolenými postupy identifikovat neznámý objekt, který by na panchromatickém snímku nebyl zachycen, resp. nebyl vizuálně detekovatelný. Vzhledem k tomu, že družicové snímky, s nimiž jsme měli možnost pracovat, jsou dosti citlivé z hlediska sledování větších lineárních objektů (zaniklé vodoteče, cesty, fortifikace, mezní systémy polí apod.), jsou rovněž cenným pramenem pro studium zaniklých podob krajiny jako celku. V této oblasti je potenciál družicových dat nepominutelný.

Do budoucna je možno počítat s obohacením našich znalostí o minulé krajině prostřednictvím studia odtajněných archivních špionážních snímků z období studené války a rovněž s lepší dostupností snímků komerčních družic, jejichž technické parametry se neustále zlepšují. Přitom dosažení většího prostorové rozlišení není ani tak problémem technickým, jako spíše finančním a politickým. V současné době dosahuje mezi komerčními družicemi nejvyššího prostorového rozlišení družice GeoEye-1, která byla vypuštěna v září 2008. Ta je schopna pořizovat snímky s rozlišením 0,41 m (panchromatické) a 1,65 m (multispektrální). Při prodeji panchromatických dat je bohužel toto rozlišení záměrně zhoršováno na 0,5 m, a to na základě smlouvy společnosti GeoEye s vládou USA. Setkáváme se tedy s podobným problémem, jakým byla v minulosti umělá chyba (*selective availability*) vkládaná do r. 2000 do signálu GPS. Přesto můžeme počítat s tím, že se v blízké budoucnosti bude rozlišení družicových dat nadále zlepšovat a nárůst počtu archivních snímků komerčních systémů pravděpodobně povede k jejich lepší cenové dostupnosti. Pro archeologii by bylo zajímavé i zveřejnění novějších špionážních snímků. Větší dostupnost družicových dat nutně povede i k jejich častější integraci do GIS (např. rozšířený program ArcGIS byl od verze 9.2 obohacen o nástroje pro *pansharpening*) a do internetových prohlížečů typu Google Earth.



Obr. 17. Těšetice-Kyjovice (okr. Znojmo). Porostové příznaky neolitického rondelu a okolních objektů v poloze Sutny. KH7-29, 4. 6. 1966.

Fig. 17. Těšetice-Kyjovice (district of Znojmo). Cropmarks of a Neolithic rondel enclosure and surrounding features at Sutny. KH7-29, 4 June 1966.

Porovnávat potenciál družicových (podobně i leteckých fotogrammetrických) snímků a šikmých fotografií pořizovaných z malé výšky při cíleném letecko-archeologickém průzkumu je stejně obtížné, jako kdybychom se např. pokoušeli srovnávat vypovídací schopnost artefaktů a ekofaktů, resp. z tohoto srovnání stanovit míru jejich významu v archeologické syntéze. Jak artefakty, tak ekofakty jsou nezastupitelné, a stejnou měrou se podílejí na poznání života našich předků v celé jeho složitosti. Podle dosavadních zkušeností je kontraproduktivní nekriticky upřednostňovat jeden či druhý typ leteckých obrazových dat (resp. způsobů, jimiž byly pořízeny), neboť každý z nich nabízí informace více či méně odlišného druhu. Jako příklad budiž uveden družicový snímek a z ruky pořízená letecká fotografie lokality (Straškov 1: *obr.* 5). Na prvně jmenovaném snímku jsou velmi nejasně vidět jeden bodový a jeden liniový objekt, jejichž poloha je ovšem poměrně přesně určitelná díky tomu, že snímek je ortorektifikován. Opačně je tomu u šikmé fotografie téhož areálu, kde vidíme velmi zřetelně kontury obou jmenovaných (a mnoha dalších včetně linie části velkého pravouhlého ohrazení) objektů a v dokonalém detailu i konstrukci malého ohrazení (vstup s dobře patrnými jámami nosných sloupů brány, paralelní linie kůlových jam uvnitř). Vzhledem ke zkreslení danému šikmým pohledem neznáme přesný tvar a velikost identifikovaných objektů. Šikmé snímky ovšem lze dodatečně rektifikovat a podle použitého postupu, s ohledem na terénní konfiguraci a úhel, pod nímž byl snímek pořízen, velikost a tvar těchto objektů – byť i s menší přesností – zjistit. Přístup k těmto datům a případná preference jednoho z nich je do určité míry ovlivněna zaměřením konkrétního badatele a jeho subjektivní volbou, podobně jako je tomu při práci s jinými druhy pramenů/dat.

Potenciál družicových dat pro aplikace v archeologii a výzkumu zaniklých krajín je v poslední době konfrontován s potenciálem fotogrammetrických snímků, které jsou ve stále větší míře – ve formě tzv. ortofotomap – dostupné k prohlížení na internetu (zejm. Google Earth; www.mapy.cz; <http://amapy.atlas.cz>; podrobně Šmejda 2007) a které je možné od provozovatelů nakoupit a dále s nimi pracovat (např. historické archivní kolmé fotogrammetrické snímky ČR, které jsou uloženy

v Dobrušce a spravovány armádní službou; současná ortofota s největším rozlišením ca 25 cm). Družicové snímky mají ve srovnání s kolmými leteckými snímky, relativně vysokou cenu, nižší prostorové rozlišení a obrazovou kvalitu (u komerčních družicových archivních snímků s velmi vysokým rozlišením ca 400 Kč/km², u snímků pořízených na objednávku je cena o více než polovinu vyšší; oproti tomu cena archivního leteckého fotogrammetrického snímku činí zhruba 50 Kč/km² a za méně než dvojnásobek lze pořídit snímek ortorektifikovaný). Za současné situace je jasné, že k práci s obrazovými daty DPZ – zejména pro detailní výzkum zemského povrchu, resp. identifikaci sídelních areálů a sídelních zón – jsou jak po stránce kvalitativní, tak ekonomické vhodnější snímky letecké. Případná hlubší analýza tohoto problému by ovšem tak jako tak ukázala na jednoznačnou přednost kombinovaného uplatnění obou druhů dat dálkového průzkumu – šikmých fotografií a družicových/fotogrammetrických snímků – před apriorním upřednostňováním jednoho či druhého.

Článek je výstupem výzkumného záměru MSM-4977751314 Opomíjená archeologie (resp. tématu Letecká archeologie, řešeného v jeho rámci) a projektu specifického výzkumu Fakulty filozofické Západočeské univerzity v Plzni.

Autoři děkují K. Pavelkovi z ČVUT Praha za laskavé přečtení tohoto textu a za připomínky a upřesnění týkající se údajů o dálkovém průzkumu Země.

Literatura

- Bárta, M. – Brůna, V. 2006: Satellite Atlas of the Pyramids – Satelitní atlas pyramid. Praha: Dryada a Český egyptologický ústav.
- Bárta, M. – Brůna, V. – Křivánek, R. 2003: Research at South Abusir in 2001–2002 – methods and results – Průzkum jižního Abúsíru v letech 2001–2002 – metody a výsledky. Památky archeologické 94, 49–82.
- Beck, A. – Philip, G. – Abdulkarim, M. – Donoghue, D. 2007: Evaluation of Corona and Ikonos high resolution satellite imagery for archaeological prospection in western Syria. *Antiquity* 81, 161–175.
- Campana, S. – Forte, M. eds. 2006: From Space to Place. BAR International Series 1568. Oxford: Archaeopress.
- Cavalli, R. M. – Marino, C. M. – Pignatti, S. 2003: Hyperspectral airborne remote sensing as an aid to a better understanding and characterization of buried elements in different archaeological sites. In: M. Forte – P. R. Williams, The Reconstruction of Archaeological Landscapes through Digital Technologies, BAR International Series 1151, Oxford: Archaeopress, 29–32.
- De Laet, V. – Paulissen, E. – Waelkens, M. 2007: Methods for the extraction of archaeological features from very high-resolution Ikonos-2 remote sensing imagery, Hisar (southwest Turkey). *Journal of Archaeological Science* 34, 830–841.
- Deuel, L. 1979: Objevy z ptačí perspektivy. Praha: Mladá fronta.
- Donoghue, D. – Galiatsakos, N. – Philip, G. – Beck, A. R. 2002: Satellite imagery for archaeological applications: a case study from the Orontes Valley, Syria. In: R. Bewley – W. Raczowski eds., *Aerial Archaeology*, Amsterdam etc.: IOS Press, 211–223.
- Eastman, J. R. 2006: IDRISI Andes – Guide to GIS and Image Processing. Worcester: Clark University.
- Forte, M. 2002: GIS, aerial photographs and microtopography in Archaeology: Methods and applications. In: R. Bewley – W. Raczowski eds., *Aerial Archaeology*. Amsterdam etc.: IOS Press, 196–210.
- Fowler, M. 1996: High-resolution satellite imagery in archaeological application: a Russian satellite photograph of the Stonehenge region. *Antiquity* 70, 667–671.
- 1999: High resolution satellite imagery from the internet. *AARGnews* 18, 19–21.
- 2005: An evaluation of scanned CORONA intelligence satellite photography. *AARGnews* 31, 34–37.
- 2007: Sputnik at fifty: the archaeological legacy of the world's first artificial satellite. *AARGnews* 35, 7–17.
- 2008: The application of declassified KH-7 GAMBIT satellite photographs to studies of Cold War material culture: a case study from the former Soviet Union. *Antiquity* 82, 714–731.
- Gojda, M. 1997: Letecká archeologie v Čechách. Praha: Archeologický ústav AV ČR.
- 2004: Letecká archeologie a dálkový průzkum. In: *Kuna a kol. 2004*, 49–115.
- 2005: LIDAR a jeho možnosti ve výzkumu historické krajiny. *Archeologické rozhledy* 57, 806–809.

- Gojda, M. 2007: Letecká archeologie a dálkový průzkum v prvním roce projektu Archeologie krajiny Podřipska. In: P. Křišťuf – L. Šmejda – P. Vařeka edd., *Opomíjená archeologie*, Plzeň: Katedra archeologie ZČU, 19–25.
- 2008a: Výročí dvou průkopníků letecké fotografie a dálkového průzkumu. *Archeologické rozhledy* 60, 784–786.
- 2008b: Archiv leteckých snímků Archeologického ústavu AV ČR v Praze (1992–2007). *Archeologické rozhledy* 60, 144–146.
- 2008c: Post-medieval to early modern military landscape of Bohemia. Earthworks and buried monuments in the view of air survey. In: *Akta Fakulty filozofické Západočeské univerzity v Plzni 4*, Plzeň, 9–20.
- Gojda, M. ed. 2004: *Ancient Landscape, Settlement Dynamics and Non-Destructive Archaeology*. Praha: Academia.
- Goossens, R. 2005: 3D analysis of satellite images for archaeology. The example of CORONA, Quickbird, IKONOS and Aster and oblique aerial pictures. In: J. Bourgeois – M. Meganck eds., *Air Photography and Archaeology 2003. A Century of Information*, Gent, 189–199.
- Goossens R. – De Wulf, A. – Bourgeois, J. – Gheyle, W. – Willems, T. 2006: Satellite imagery and archaeology: the example of CORONA in the Altai mountains. *Journal of Archaeological Science* 33, 745–755.
- Halounová, L. – Pavelka, K. 2005: *Dálkový průzkum Země*. Praha: Vydavatelství ČVUT.
- Kennedy, D. 1998: Declassified satellite photographs and archaeology in the Middle East: case studies from Turkey. *Antiquity* 72, 553–561.
- Kolejka, J. – Kučera, L. 2001: Bystré oči nad planetou. *Současné možnosti fotografování ze satelitů*. *Computer* 8/20, 6–8.
- Kuna, M. 1999: Využití GPS při zaměřování archeologických nemovitých památek. In: A. Beneš – J. Michálek – P. Zavřel, *Archeologické nemovité památky okresu České Budějovice. Díl 1. Soupis a studie*, Praha, 193–195.
- Kuna, M. a kol. 2004: *Nedestruktivní archeologie – Non-destructive Archeology*. Praha: Academia.
- Lasaponara, R. – Masini, N. 2007: Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multi-spectral imagery. *Journal of Archaeological Science* 34, 214–221.
- Lasaponara, R. – Masini, N. eds. 2008: *Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management*. Rome: Aracne.
- Lipo, C. P. – Hunt, T. L. 2005: Mapping prehistoric statue roads on Easter Island. *Antiquity* 79, 158–168.
- Mac Donald, R. A. 1995: CORONA: success for reconnaissance, a look into the cold war, and a revolution for intelligence. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61, 689–720.
- Madry, K. 1987: A multiscale approach to remote sensing in a temperate regional archaeological survey. In: C. L. Crumley – W. H. Marquardt eds., *Regional Dynamics: Burgundian Landscapes in a Historical Perspective*, San Diego, 173–235.
- Olteanu, I. 2002: The use of satellite imagery for the transcription of oblique aerial photographs. In: R. Bewley – W. Raczkowski eds., *Aerial Archaeology*, Amsterdam etc.: IOS Press, 136–143.
- Parcak, S. H. 2009: *Satellite Remote Sensing for Archaeology*. London – New York: Routledge.
- Pavelka, K. 2004: *Dálkový průzkum Země 10: Operační systémy*. Praha: Vydavatelství ČVUT.
- Pavelka, K. – Svatušková, J. – Bukovinský, M. 2008: Using of VHR satellite data for potential digs. Localisation and their verification using geophysical methods,. In: 1st EARSeL International Workshop on Advances in Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management, Rome, 207–211.
- Philip, G. – Donoghue, D. N. M. – Beck, A. R. – Galiatsatos, N. 2002: CORONA satellite photography: an archaeological application from the Middle East. *Antiquity* 76, 109–118.
- Sedlák, P. – Hobza, O. 2006: *Digitální zpracování obrazu: Systém Idrisi32 Release Two*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci – Přírodovědecká fakulta.
- Shell, C. 2002: Airborne high-resolution digital, visible, infra-red and thermal sensing for archaeology. In: R. Bewley – W. Raczkowski eds., *Aerial Archaeology*, Amsterdam etc.: IOS Press, 181–196.
- Šmejda, L. 2007: Letecká archeologie a internetové zdroje dat: situace v ČR. In: P. Křišťuf – L. Šmejda – P. Vařeka edd., *Opomíjená archeologie*, Plzeň: Katedra archeologie ZČU, 255–260.
- 2008: Možnosti využití kořmých leteckých snímků a družicových dat v archeologii. Ms. disertační práce, Fakulta filozofická ZČU.
- Zhang, Y. 2002: A new automatic approach for effectively fusing Landsat 7 as well as IKONOS images. In: *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium IEEE/IGARSS 02*, vol. 4, Toronto, 2429–2431.

Remote sensing and the study of lowland ancient landscapes in Bohemia Comparison of the potential of aerial reconnaissance and high-resolution satellite data

The work presents the results of the first Czech archaeology project focused on an analysis of very high resolution satellite images (IKONOS and QuickBird systems) capturing the surface of the land in the selected territories of the Czech Basin (the territory around Říp Hill, the Terezín basin and the north bank of the Elbe River, the middle Elbe valley in the Kolín region and the central Ohře – Chomutovka River valley) and the archaeological interpretation of these areas. As comparative material for determining the potential of satellite image data in archaeological surveying, we used oblique aerial photographs collected as part of a long-term project conducted by the Institute of Archaeology in Prague. The images were taken during low-altitude air surveys (approximately 300 metres above the ground) over the course of the last fifteen years. The main indicator by which some archaeological features can be identified is crop marks. In isolated cases, aerial surveys identified highlighted features by means of soil marks.

We compared oblique aerial photographs with satellite images of those sites where aerial surveys identified a wide range of features and sites of prehistoric, medieval and post-medieval age. It was shown that for the detection of sunken features, both maculae (pits with diameters of 1–3 metres – the most frequent type of sunken feature in this country) and linear (enclosing ditches with a width of less than 2 metres), satellite images with a resolution around 0.5 m are of sufficient quality. The analysis methods of multispectral data applied in the project enabled the highlighting of the contours of specific features (primarily vegetation indexes), which are also visible on a parallel panchromatic image. In no case was the chosen procedure able to identify an unknown feature that was not captured on a panchromatic image or was not visually distinguishable. The fact that the satellite images which we had the opportunity to work with are sensitive for tracking larger linear features (former water streams, paths, fortifications, ancient field systems, etc.) makes them a valuable source for studying former appearances of the landscape as a whole.

Comparing the potential of satellite (as well as aerial photogrammetric) images and oblique photographs taken from lower altitudes during special-purpose aerial reconnaissance is not a simple endeavour. On the basis of existing experience, it is counterproductive to uncritically favour one type of image data over the other (or the methods by which they are obtained), since each of these offers information of a more or less distinct nature. We can use the satellite image and aerial photograph of the site in *fig. 5* (Straškov) as an example. One point feature and one linear feature are very poorly visible in the satellite image; their position and shape, however, can be relatively precisely determined thanks to the fact that the image is orthorectified. The opposite is true for the oblique photograph of the same site: the contours of both designated features are highly discernible (along with many others, including the line of part of a large rectangular enclosure), as is a structure of a small enclosure in perfect detail (the entrance with the clearly visible holes for the load-bearing columns of the gate and parallel lines of post holes inside). Nevertheless, due to the distortion from the oblique view, we do not know the precise shape and size of the identified features – an obvious disadvantage of this type of image.

We should point out that oblique photographs can be rectified by special software and that it is possible, based on the procedure used – with respect to the terrain configuration and the angle at which the photograph was taken – to determine the size and shape of these features, though with a lower degree of precision. Working with this data and a possible preference of one over the other is influenced, to a certain extent, by the focus of the specific researcher and his subjective choice – as is the case with work with other types of sources used in researching the past.

English by *David J. Gaul*

MARTIN GOJDA, *Katedra archeologie, Západočeská univerzita v Plzni, Sedláčkova 15, CZ-306 14 Plzeň*
gojda@kar.zcu.cz

JAN JOHN, *Katedra archeologie, Západočeská univerzita v Plzni, Sedláčkova 15, CZ-306 14 Plzeň*
jjohn@kar.zcu.cz