

Obsah

1	ÚVOD	7
2	LETECKÁ ARCHEOLOGIE.....	10
	2.1 Historie teoretické báze letecké archeologie	11
	2.2 Současné trendy letecké archeologie.....	13
	2.3 Hlavní evropské projekty současnosti.....	14
	2.3.1 Velká Británie	14
	2.3.2 Polsko.....	16
	2.3.3 Německo	17
	2.3.4 Přední Východ.....	17
	2.3.5 Dánsko	18
	2.3.6 Maďarsko.....	18
	2.3.7 Archaeo Landscapes Europe	19
	2.4 Letecká archeologie v České republice.....	22
3	DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ.....	26
	3.1 Hlavní cíle dálkového průzkumu Země	26
	3.2 Hlavní oblasti archeologického uplatnění dálkového průzkumu Země:.....	28
	3.3 Historie dálkového průzkumu Země	31
	3.4 Definice dálkového průzkumu Země.....	32
	3.5 Typy dat dálkového průzkumu Země	34
	3.6 Druhy dálkového průzkumu Země	35
	3.6.1 Letecké nosiče.....	36
	3.6.2 Letecké laserové skenování	37

3.6.2.1	Technika snímání.....	42
3.6.2.2	Přístrojové vybavení.....	43
3.6.2.3	Parametry leteckého laserového skenování	48
3.6.2.4	Zpracování dat leteckého laserového skenování...	48
3.6.2.5	Přesnost leteckého laserového skenování.....	54
3.6.2.6	Tvorba produktů.....	55
3.6.2.7	Vizualizace dat leteckého laserového skenování...	58
3.6.2.7.1	Distribuce vizualizačních algoritmů	64
3.6.3	Letecké snímkování.....	65
3.6.3.1	Šikmé snímkování.....	65
3.6.3.2	Kolmé snímkování.....	66
3.6.3.3	Analýza leteckých snímků.....	68
3.6.3.4	Interpretace dat leteckého průzkumu.....	69
3.6.3.5	Typologie objektů letecké archeologie	71
3.6.3.5.1	Morfologie objektů	71
3.6.4	Družicové nosiče	72
3.7	Vliv přírodních determinantů na dálkový průzkum Země	75
3.8	Zpracování dat dálkového průzkumu Země	78
3.9	Využití dálkového průzkumu Země	80
3.9.1	Archeologie.....	82
3.9.1.1	Družicové snímkování.....	83
3.9.1.2	Radary.....	85
3.9.1.2.1	Příklady projektů.....	86
3.9.1.3	Letecké laserové skenování.....	92
3.9.1.4	Letecké snímkování	96
3.9.2	Zdroje dat dálkového průzkumu Země v České republice..	97
3.9.2.1	Archiv leteckých snímků Archeologického ústavu Akademie věd v České republice	97
3.9.2.2	Archiv leteckých snímků Ústavu archeologické památkové péče severozápadních Čech v Mostě	98

3.9.2.3	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce	98
3.9.2.4	Internetové mapové portály České republiky	103
3.9.2.5	Zdroje družicových snímků	107
3.9.2.6	Zdroje dat leteckého laserového skenování.....	109
4	OBTÍŽNĚ INTERPRETOVATELNÁ DATA.....	117
5	VERIFIKAČNÍ METODY.....	118
5.1	Heuristická část verifikačního postupu	119
5.2	Praktické verifikační metody.....	120
5.3	Historické prameny.....	120
5.4	Archivy archeologických akcí a publikační fondy	122
5.5	Historické mapy a historická geografie	124
5.5.1	Kartografické prameny.....	125
5.5.2	Historická kartografická díla	126
5.5.2.1	Mapové produkty současnosti a letecké archivy ..	127
5.6	Povrchové sběry	128
5.7	Geofyzikální metody	130
5.8	Povrchový průzkum reliéfu	134
5.8.1	Typologie objektů	135
5.8.2	Dynamické procesy v krajině	137
5.9	Archeologický výzkum odkryvem	138
5.10	Analytické datovací metody přírodovědného charakteru	138
5.11	Doplňkové metody.....	140
6	AUTORSKÝ PROJEKT	140

6.1 Výběr lokalit.....	141
6.1.1 Přírodní podmínky	142
6.2 Přehled lokalit.....	146
6.3 Zdroje dat.....	149
6.3.1 Letecké snímky	149
6.3.2 Letecké laserové skenování	150
6.3.3 Geofyzikální prospekce	151
6.3.4 Šikmé letecké snímky	152
6.3.5 Podkladové mapy	152
6.3.6 Historické snímky.....	152
6.4 Metodický přístup	153
6.5 Softwarové vybavení.....	155
6.6 Databáze	157
6.7 Tvorba teoretického modelu	158
6.8 Výstupy	160
6.9 Analýza.....	161
6.9.1 Letecká prospekce	161
6.9.1.1 Šikmé snímkování.....	161
6.9.1.1.1 Typy transformací:.....	163
6.9.1.1.2 Praktiky snímkování	164
6.9.1.1.3 Praktická aplikace.....	164
6.9.2 Letecké laserové skenování	165
6.10 Oblast Podřipska	167
6.10.1 Straškov.....	168
6.10.1.1 Letecké snímky.....	169
6.10.1.2 Geofyzikální analýza	172

6.10.1.3	Povrchové sběry	172
6.10.1.4	Letecké laserové skenování	172
6.10.1.5	Typová analogie objektů.....	173
6.10.1.6	Syntéza a interpretace.....	173
6.10.2	Vražkov.....	174
6.10.2.1	Letecké snímky.....	174
6.10.2.2	Povrchové sběry	175
6.10.2.3	Geofyzikální analýza	175
6.10.2.4	Letecké laserové skenování	175
6.10.2.5	Syntéza a interpretace.....	177
6.11	Region Rokycanska.....	177
6.11.1	Zaniklá středověká vesnice Javor (okr. Rokycany)	178
6.11.1.1	Terénní výzkum	178
6.11.1.2	Letecké laserové skenování	179
6.11.1.3	Syntéza a interpretace.....	182
6.11.2	Zaniklá středověká vesnice Sloupek (okr. Rokycany) ..	182
6.11.2.1	Letecké laserové skenování	184
6.11.2.1.1	Vizualizační algoritmy.....	184
6.11.2.2	GPS	186
6.11.2.3	Tachymetrie	187
6.11.2.4	Exkavační výzkum	188
6.11.2.5	Syntéza a interpretace.....	188
6.12	Oblast Národního parku České Švýcarsko	189
6.12.1	Historie archeologických výzkumů.....	190
6.12.2	Zaniklá osada Hely (Nassendorf)	191
6.12.2.1	Letecké laserové skenování	192
6.12.2.2	Terénní prospekce.....	194
6.12.2.3	Tachymetrické měření	195
6.12.2.4	Syntéza a interpretace.....	196
6.13	Obtížně interpretovatelné objekty leteckého průzkumu	197
6.13.1	Bodové objekty	197

6.13.2	Liniové útvary.....	198
6.13.3	Liniové systémy	199
7	ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ.....	201
7.1	Archeologické objekty a dálkový průzkum Země – vhodné aplikace interpretačních praktik	201
7.2	Šikmé letecké snímkování.....	202
7.3	Tvorba, zpracování a interpretace dat leteckého šikmého snímkování.....	202
7.4	Letecké laserové skenování.....	203
7.4.1	Interpretace dat leteckého laserového skenování	204
7.5	Verifikační metody	205
7.6	Verifikace archeologických lokalit	205
7.7	Vhodné verifikační postupy	206
8	SUMMARY	209
9	ZUSAMMENFASSUNG	211
10	LITERATURA.....	213

1 ÚVOD

Předložená práce je zaměřena na problematiku datových souborů leteckého průzkumu v archeologii z hlediska jejich výpovědní hodnoty a interpretačních možností. Základní metodickým přístupem aplikovaným v této studii, je vyhledávání, teoretické vymezení a následná praktická aplikace postupů, které jsou schopny výpovědní hodnotu interpretačních produktů dat leteckého průzkumu objektivně vyhodnotit a verifikovat.

Vymezení termínu obtížně interpretovatelná data je samo o sobě dosti nesnadnou záležitostí. Tento pojem je velice obtížné charakterizovat nějakou konkrétní definicí. Je mu proto věnována podstatná část v druhé, metodické části disertační práce.

Datovou základnu této práce zastupují především šikmé letecké snímky, pocházející z Archivu leteckých snímků archeologického ústavu Akademie věd v Praze a soubory leteckého laserového skenování, které byly získány v průběhu grantového projektu *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LIDAR)* (řešitel M. Gojda), jehož spoluřešitelkou byla také autorka této práce. Projekt probíhal v letech 2010 – 2012. Výsledky, prezentované v praktické části předložené studie představují zároveň dílčí výstupy tohoto projektu.

Získávání zkušeností se zpracováním tohoto, v české archeologii poměrně nového typu dat probíhalo především prostřednictvím odborných konzultací s předními evropskými badateli (M. Doneus, Z. Kokalj, R. Palmer, R. Shaw, K. Pavelka), zabývajícími se jak leteckým laserovým skenováním, tak i oblastí leteckého snímkování. Významným rozšířením možnosti studia těchto typů dat dálkového průzkumu Země představovala aktivní účast na specializovaném workshopu leteckého laserového skenování v Bibracte (Francie). Tento workshop probíhal pod patronátem několika významných evropských archeologických organizací a společností v březnu roku 2011. V květnu roku 2012 autorka absolvovala čtrnáctidenní pracovní stáž na Krajském úřadě památkové péče v

Esslingen am Neckar (Německo), kde pod odborným dozorem dr. Ralfa Hesseho a dr. Jörga Bofingera analyzovala a zpracovávala datové jak vlastní datové soubory, tak i soubory projektu lidarového zpracování oblasti Bádenska – Würtemberska.

Úvodní část předložené práce je věnována teoretickému seznámení se současným stavem leteckého snímkování a nejvýznamnějších aktuálních světových projektů. V dalších kapitolách, které jsou věnovány oblasti dálkového průzkumu Země se autorka zaměřila na vytvoření komplexního přehledu těchto technologií, se zvláštním důrazem na ty metody, jež jsou předmětem analýzy této práce. V závěru teoretické oddílu práce byla pozornost obrácena na vyhodnocení dosavadního stavu aplikací těchto metod v oblasti archeologie.

Druhá část disertační práce je plně orientována na oblast metodickou. V prvních kapitolách této sekce jsou představeny jednotlivé verifikační metody leteckého průzkumu včetně postupů, na jejichž základě pracují. Tento přehled zahrnuje jak kategorie, pracující primárně v teoretické (heuristické) rovině, tak i ty, jejichž využití je podmíněno zapojením počítačových technik.

Následné kapitoly jsou věnovány autorskému projektu. V jeho úvodní části jsou definovány zdroje vstupních dat, vymezení teoretického modelu, přehledu aplikovaných metod a softwarového vybavení, jež bylo v rámci zpracování dat použito.

Lokality, které byly předmětem autorčina výzkumu, jsou kategorizovány do čtyř sekcí. První tři reflektují krajinné prostředí, ve kterém se lokality nacházejí (otevřená krajina x zalesněná území). Územní vymezení se pohybuje v regionech Podřipska, Rokycanska a Národního parku České Švýcarsko. Poslední třídu analyzovaných lokalit představuje 10 dílčích variabilních situací, které zastupují typické objekty leteckého průzkumu, jejichž interpretace je vysoce náročná.

Základním přístupem zpracování těchto lokalit byla primární transformace dat (leteckých snímků a leteckého laserového skenování) do podoby vizuálně analyzovatelných podkladových vrstev, v tomto případě georeferencovaných rastrů. Druhým krokem byla prospekce jednotlivých podkladů a mapování detekovaných objektů, jejichž primární interpretace byla vyhodnocena jakožto možné archeologické objekty. V další fázi byla tato prvotní interpretační determinace verifikována jednotlivými metodami v závislosti na dostupnosti dat a vhodného typu využití dílčích praktik.

Dosažené výsledky jsou popsány vždy v závěru kapitoly příslušné lokality. Důležitou součástí prezentace výsledků jsou digitální záznamy dílčích postupů a výsledků, popisovaných v textu, které jsou uloženy v připojeném geodatabázovém souboru.

Metody aplikované v této práci jsou především analytické postupy programů pracujících na bázi geografických informačních systémů.

Deskriptivní systém, který je součástí analytické fáze projektu byl vyhotoven ve dvou verzích. Obsahem první z nich jsou vektorizované výsledky autorského mapování a interpretace objektů dílčích lokalit, vstupujících do analytické fáze. Typ tohoto systému je osobní geodatabáze uložená ve formátu prostředí klasického kancelářského softwaru Microsoft Access. Velikostní kapacity tohoto typu tzv. osobní databáze se ukázaly jako limitujícím faktorem záměru implementovat do databázového systému také data rastrová, kapacitně výrazně převyšující soubory v podobě vektorových vrstev. Druhý typ deskriptivního systému je z tohoto důvodu vytvořen jako rozšířená souborová geodatabáze, do jejíhož systému lze ukládat data jak vektorová, tak i rastrová. Rastrové soubory jsou v tomto případě zastoupeny formátem Geotiff.

Samozřejmou součástí této práce tvoří přílohy, které jsou umístěny do samostatného svazku.

2 LETECKÁ ARCHEOLOGIE

Letecká archeologie patří bezesporu k nejvýznamnějším odvětvím nedestruktivní archeologie. Již od samého počátku využívání leteckého snímkování pro převážně dokumentační účely významných historických objektů a míst (přelom 19. – 20. století) můžeme charakterizovat tuto techniku jako důležitou pro sféru ochrany archeologického dědictví a historické dokumentace transformačních procesů, utvářejících současnou podobu nemovitých (archeologických a architektonických) památek. Samotný obor letecké archeologie se však začíná konstituovat až na počátku meziválečného období, resp. v první polovině 20. let minulého století, kdy byly na leteckých fotografiích poprvé detekovány relikty minulých lidských aktivit - zejména pravěkých polních systémů (tzv. Celtic fields), ohrazených ploch a komunikací zviditelněných prostřednictvím tzv. porostových, půdních a stínových příznaků.

Za jejího zakladatele je nejčastěji označován anglický archeolog a geograf O.G.S Crawford, který fenomén uvedených příznaků definoval a uvedl do odborné literatury. Výsledky jeho vlastních výzkumů zahrnujících pořizování, analýzu a interpretaci šikmých a měřických leteckých fotografií vyústily v roce 1928 v první oborovou syntézu mapující území historicky významné oblasti jižní Anglie – Wessexu (Crawford – Keiller 1928) na základě jím pořizovaných leteckých fotografií. Tato publikace již nese známky vymezení principů letecké archeologie, jež byly v pozdějších letech postupně rozpracovávány a rozšiřovány (P. A. Poidebard, G.W.G. Allen, Kenneth St Joseph, I. Scollar atd.) do stavu současné metodologie leteckého snímkování pro archeologické účely. Avšak současně s tímto jsme nuceni poukázat na fakt absence jasného vymezení teoretické báze letecké archeologie. Z hlediska historického vývoje této metody lze pozorovat jistě nepopiratelný pokrok, co se týče nárůstu kolekcí a archivů leteckých snímků, progresu technologie snímkování, metodiky zpracování snímků, tvorby plně digitálních výsledných plánů a map, avšak vlastní teoretické vymezení či pojetí vytváření teoretických modelů v oblasti

letecké archeologie lze považovat za ne zcela dostačující a je proto nutné se na tuto problematiku podrobněji zaměřit.

2.1 Historie teoretické báze letecké archeologie

Pokud se podíváme do historie teoretického pojetí letecké archeologie, nalezneme jeho počátky v období kulturně-historického paradigmatu, kdy vznikaly první projekty zaměřené na mapování vybraných prostorově i historicky determinovaných území. V tomto období (40. – 50. léta 20. Století) vznikaly kolekce snímků, které měly především dokumentační charakter, převážně sloužící pro vojenské účely (fotogrammetrické snímky).

Z hlediska archeologie z této doby pochází jak šikmá, tak kolmá fotografická dokumentace, zaměřená především na dokumentaci známých historických památek (P.A. Poidebard, G.W.G Allen, Z. Rajewski, W. Kočka, Kenneth St Joseph, Irwin Scollar) (Palmer 1995, 167-169; Wilson 1995a; Wilson 1995b; Gojda 2004; Šmejda 2009). Byly mapovány oblasti předem vytipované, zpravidla architektonické památky či zkoumané archeologické lokality. S ohledem na induktivní charakter myšlení v tomto období se letecká archeologie po mnoho let zaměřila na systematickou inspekci fyzických objektů krajiny, detekujících přítomnost archeologických lokalit, z nichž některé byly vybrány za účelem aplikace destruktivních forem výzkumu či pro zařazení do oblasti ochrany archeologického dědictví, avšak bez jakékoliv snahy o jejich interpretaci z hlediska prostorového či krajinného kontextuálního vymezení (Bewley - Rączkowski 2002, 6). Jednotlivé objekty jsou analyzovány a interpretovány „soliterně“, jsou brány jako jednotlivé události bez větší snahy zkoumat je z hlediska strukturálního pojetí (Neustupný 2010, 113). Výjimku z tohoto vymezení nalezneme v práci O.G.S. Crawforda, který již ve 20. letech 20. století obrací pozornost archeologické badatelské obce od induktivních analytických postupů výzkumu jednotlivých archeologických objektů k analýze celých krajinných komplexů a vyhledávání relací mezi nimi v širokém geografickém, prostorovém i

historickém uspořádání (Crawford 1954).(Gojda 2000, 41 – 42; 2002, 68 - 75) (Gojda, 2000; Neustupný 2010).

Významnou změnu zaznamenáváme v 60. letech 20. století v období formování procesuálního paradigmatu, kdy vznikají první práce zaměřené na deduktivní analýzu archeologických lokalit z hlediska jejich následné integrace do krajinných celků, tvořících strukturálně a často také geograficky (regionálně) vymezený komplex. Vyčlenil se tedy směr zaměřený na systematickou analýzu objektů prezentujících pozůstatky minulé lidské aktivity z hlediska zkoumání nejen jednotlivých událostí, ale celků reprezentujících určité struktury z hlediska kulturního i geografického. Můžeme tuto oblast nazývat prostorovou archeologií (Kuna 2004). Ta již nepracuje pouze s analýzou objektů v krajině či geografickém prostoru, avšak vstupují do ní další rozšiřující teorie a metody, pracující na bázi testování hypotéz v hypoteticko-deduktivním předběžném modelu, vytvořeném na počátku samotného výzkumu (Binford 1968, 6-32; Bewley - Rączkowski 2002, 6; Neustupný 2010, 27). Zároveň jsou do této metody v široké míře zapojeny vědní obory rozšiřující vědní základnu archeologie (přírodní vědy, teorie systémů, geografie, analytická archeologie, pravděpodobnostní vzorkování atd.) (Clarke 1968; Gojda 2000, 46; Gojda 2010,11). V Česku jsou zastoupeny výzkumnými projekty mapování vesnických sídel Dražanské vrchoviny (Černý 1978), ze zahraničního prostředí uvádím projekty R. Palmera a jeho výzkum zázemí hradiště doby železné Danebury (Palmer 1984) a výzkum K. St Josepha (St Joseph 1962).

Odras post - procesuálního paradigmatu v letecké archeologii reflektuje převzetí nových trendů, jimiž se toto paradigma od počátku 80. let 20. století vymezovalo. Zejména se jedná o snahu poznání lidské minulosti na základě hermeneutické metody výkladu textového odrazu minulosti člověka a negativního přístupu k scientismu (typického pro paradigma procesuální), majoritní zaměření se na symbolický aspekt sociálního života lidského jedince a jeho reflexi v kulturní sféře (Hodder 1992; 1999), na hledání odrazů lidské aktivity v kulturní krajině (silné

zastoupení symbolismu, fenomenologie) (Tilley 1994; Gojda, 2000; 47; Neustupný 1993, 396 - 403; Šmejda 2009, 8-9). Díky těmto novým atributům, rozšiřujícím předchozí metodologické pojetí prostorové archeologie o prvky symbolismu a teoretických rovin, se prostorová archeologie stává vědním oborem, vytvářejícím si teoretické základy, aplikovatelné do dalších oblastí zkoumání kulturní krajiny – v našem případě letecké archeologie (srov. Aston 1997; Stoerz 1997; Wilson 2000).

2.2 Současné trendy letecké archeologie

Letecká archeologie prošla ve své historii několika etapami vývoje pojetí a diferencování tohoto oboru vzhledem k archeologické vědě jako takové. V současné době jsme již nuceni považovat techniku letecké prospekce krajiny za etablovanou součást archeologické metody

Pokud se zaměříme na zhodnocení vývoje letecké archeologie od dob jejího vlastního vymezení, jsme schopni zachytit na chronologické přímce několik výrazných záchytných bodů, majících převážně vazbu na události historického a sociálního charakteru, které zcela nepochybně udávaly směr utváření hlavních cílů a rozvoje metod letecké archeologie. Jedná se o celosvětové válečné konflikty (1. a 2. světová válka), založení „Cambridge University Comitee for Aerial Photography“ (1947) (Wilson 1995b), pád železné opony, umožňující aplikaci letecké prospekce pro civilní účely (po roce 1989) a o vliv paradigmatických směrů na rozvoj a vlastní akceptaci oboru letecké archeologie.

S rozvojem leteckého snímkování, nárůstem objemu dat pořizovaných v prvotních systematických plošných výzkumech leteckou prospekci bylo nutné naučit se tato data zpracovávat a vytvořit standardizovaný postup zpracování. Vlastní postup analýzy a interpretace leteckých snímků přehledně propracoval zejména D.N. Riley (Riley1987), R. Palmer (Palmer 1984; 1995; 2000), (Palmer-Cox 1993), R. Bewley (Bewley1999), D.R. Wilson (Wilson 2000) a W. Rączkowski (Rączkowski

2002). Značný kvantitativní nárůst dat, který byl důsledkem systematických evropských, především pak anglosaských a německých projektů lze využít ve prospěch hlubšího poznání struktur v datech obsažených, především pak pomocí statistických analýz syntézy struktur (Neustupný 1986; 1993; 2007) a systémových teorií (Rączkowski 2002; Macháček 2003; Šmejda 2009, 12).

Tyto studie vymezující principy metodiky letecké archeologie jsou však povětšinou zaměřeny na zpracování šikmých leteckých snímků, pořizovaných z nízko letícího letadla. Využití této prospekční metody je v současnosti stále na výraznějším vzestupu i v zemích do posledních let archeologickou leteckou prospekcí téměř nedotčených např. Rumunsko, Slovinsko, Arménie (Grosman 2002; Hakobyan – Palmer 2002; Oltean, I. 2007; Oltean – Abell 2008; Kennedy – Bewley 2004; Palmer, R. - Oberländer-Târnoveanu, I. – Bem, C. 2010), stejně tak jako zaznamenáváme nárůst systematických projektů iterativního leteckého snímkování vymezených krajinných celků.

2.3 Hlavní evropské projekty současnosti

2.3.1 Velká Británie

National Mapping Programme - tento projekt byl spuštěn již v roce 1992 pod záštitou britské organizace English Heritage a podrobně analyzuje území Anglie pomocí šikmého i kolmého systematického snímkování, pomocí družicových a lidarových dat a v neposlední řadě také pomocí historických kolekcí leteckých snímků válečného a poválečného období (Horne 2009; 2011). Při poslední prezentaci dosavadních výsledků projektu byla archeologická veřejnost informována o dosavadním postupu zpracovávaného území Anglie v rozmezí 40 % celkové rozlohy státu, cca 50000 kilometrů čtverečních (**Tab.I**). National Mapping Programme pracuje s několika zdrojovými soubory dat. Jednak jsou to data pořizovaná s pravidelností odstupů několika let ve vybraných

hrabstvích Velké Británie (Wessex, Kent, Yorkshire, Suffolk atd.), jednak historické letecké snímky uchovávané pod ochranou National Monuments Record (NMR), Cambridge University Collection of Air Photos (ULM/CUCAP) a archivů jednotlivých hrabství – Local Sites and Monuments, či Heritage Environment Record a jednak historické fotografie souboru vytvořeného snímkováním Royal Air Force (RAF) a Ordnance Survey (OS), pořizovaným v rozmezí let 1940-2000 (Horne 2009; Horne 2011, 143-151; Horne – Winton 2010, 7-11), doplněným o snímky archivu UK The Aerial Reconnaissance Archives (TARA) z let 1935-1989 (Cowley 2011, 11, Ferguson 2011, 205 - 210). Hlavní cíle celého projektu lze vymezit několika základními tezemi:

1. Vytvoření georeferencovaného digitálního popisu formy a prostorových vlastností všech archeologických objektů viditelných na leteckých snímcích území Anglie.

2. Vytvoření jednotné databáze, popisující polohopis, indexovou klasifikaci, archeologickou interpretaci, zdroj detekce objektu u veškerých objektů, zachycených na leteckých fotografiích.

3. Tvorba podrobných syntéz pro každé vybrané území projektu do podoby zprávy o charakteru, rozmanitosti a distribuci archeologických lokalit a vymezení jejich krajinného zařazení.

4. Zajištění produkce nálezových zpráv obsahujících informace o metodice zpracování a datových zdrojích, vyjádření míry dodržení prvotních záměrů a cílů projektu.

Jako komplexní shrnutí primárních záměrů celého programu lze uvést snahu o vytvoření konzistentního jednotného postupu v interpretaci, mapování, klasifikaci a deskripci veškerých detekovaných objektů letecké archeologie na podkladě historických i současných stále aktualizovaných dat. Tato komplexní syntéza informací čerpající z leteckých fotografií by měla v budoucnu výrazně přispívat při plánování stavebních zásahů do krajiny, ochraně a výzkumu historického dědictví Anglie (Winton 2005;

Horne 2011, 143-151). Zcela jistě výsledky tohoto programu nemohou postihnout veškeré informace, obsažené v analyzovaných krajinných transektech. Nastolení jednotné metodiky analýzy, syntézy a interpretace, doplněné o flexibilní začlenění rozšiřujících metod na podkladě práce se satelitními snímky, lidarovými daty, leteckou fotogrammetrií, historickými mapami a plány společně s aplikací dalších verifikačních technik jako je geofyzikální prospekce či povrchové sběry však v budoucnu povede k výraznému navýšení podrobnějších a stále nově objevovaných informací, čerpajících z kompletních analýz veškerých dostupných zdrojů dálkového průzkumu Země ve spolupráci s dalšími technikami archeologického výzkumu.

Britský projekt Univerzity v Leedsu DART – Detection of Archaeological Residues using Remote Sensing Techniques reprezentuje nejnovější aplikace moderních technik dálkového průzkumu Země v podobě letecké archeologie, leteckého laserového skenování a nejmodernějších technik geofyzikálního průzkumu, jakožto verifikační metodu za účelem výzkumu efektivity aplikace jednotlivých vědeckých postupů v závislosti na konkrétních specifických krajinných, půdních a vegetačních podmínkách. Hlavním cílem tohoto projektu je vytvoření modelové studie rozlišující efektivitu využití jednotlivých metod leteckého snímkování a geofyzikálního měření na předem pedologicky a geologicky interpretovaném územním celku (Beck 2011, 15-17).

2.3.2 Polsko

Projekt Archeologiczne Zdjęcie Polski (AZP), založený na podkladech definovaných v 70. letech 20. století polskými archeology (Kobyliński 1999), s hlavním cílem archeologického zmapování celého území Polska na základě povrchových sběrů, které byly aplikovány v kategorii prostorových jednotek označovaných pojmem mikroregiony, náleží zcela jistě k nerozsáhlejšími evropským dlouhodobým projektům prostorové archeologie. V počáteční fázi projektu byla metodika podřízena charakteristickému teoretickému vymezení archeologie 70. let

- empirickému přístupu k analýze dat, zaměřenému především na studium sídelních modelů v rámci geograficky vymezeného prostoru (mikroregionu) (Rączkowski 2010, 153). V současné době je z hlediska povrchových sběrů pokryto kolem devadesáti procent území Polska a nastupují další fáze zpracování dat – aplikace verifikačních technik nedestruktivního charakteru (letecká prospekce, geofyzikální průzkum, systematické povrchové sběry, testovací rýhování) (Kijowska – Kijowski – Rączkowski 2010, 155-166; Rączkowski 2011, 37-42). Nástup nových rozvojových technik značí bezesporu výrazný pokrok v zapojení specializovaných oborů do obecné roviny archeologie krajiny Polska, ale stále se v dnešní době polská archeologie potýká s přežitkem zavedeného systému teoretické archeologie 70. – 80. let 20. století. Pojetí výzkumu krajiny lze považovat za poněkud stagnující a teprve v posledních letech zaznamenáváme jistý progres v metodice i teoretických aspektech přístupu k analýze krajiny (Rączkowski 2005; 2010, 153-160).

2.3.3 Německo

Z německého prostředí nelze opomenout projekt využití dat leteckého laserového skenování v regionu Bádenska-Württemberska, probíhající od roku 2003 pod záštitou Landesamt für Denkmalpflege in Baden - Württemberg, Esslingen. Jörg Bofinger a Ralf Hesse se ve své studii zaměřili na analýzu uvedeného regionu z hlediska potenciálu využití inovativních prospekčních technik za účelem detekce nových archeologických lokalit a s cílem polohopisného a interpretačního upřesnění stávající databáze lokalit tohoto kraje.

2.3.4 Přední Východ

Mezi další soudobé významné evropské a světové projekty zcela jistě náleží dlouhodobé mapování ohrožených archeologických památek na území Jordánska. Především dlouholetou praxí britského archeologa R. H. Bewleyho, bývalého ředitele Oddělení letecké prospekce English

Heritage, jehož průběžné výsledky byly publikovány v knize *Ancient Jordan from the Air* (Kennedy - Bewley 2004), bylo nashromážděno obrovské množství leteckých snímků, mapujících krajinu tohoto blízkovýchodního státu, stejně tak jako nespočet jeho architektonických celků. Na rozdíl od ostatních umožňuje tento projekt veřejný přístup ke kolekci snímků pořízených v rozmezí let 1997 – 2011, rozsahově se pohybující okolo 20000 jednotlivých šikmých leteckých snímků řazených dle data a místa svého pořízení. Databáze je dostupná na webových stránkách: <http://www.flickr.com/photos/APAAME/collections/> a poskytuje obrovský potenciál pro další analýzy a zejména možnosti analogického výzkumu dalších států Předního Východu, které využívají techniku letecké prospekce (Bewley – Kennedy - Radcliffe 2007; Kennedy 2002; Kennedy – Bewley 2010; Bewley – Kennedy – Radcliffe – Henderson – Smith 2010; Kennedy – Bewley 2010, 193-206).

2.3.5 Dánsko

Z dalších evropských zemí zmíním okrajově čtyřletý projekt Dánského království *An aerial view of the past 2009 – 2013*, primárně zaměřený na detekci archeologických lokalit pozdní doby železné a vikingského období, prezentovaných převážně zastoupením reliktních dlouhých domů zviditelněných prostřednictvím porostových příznaků na leteckých fotografiích doplněných o data leteckého laserového skenování. Již za první dva roky průběhu tohoto projektu bylo objeveno více než 70 nových lokalit, které byly zaneseny do databáze vytvářené při muzeu Holstebro v západním Dánsku (Olesen 2011).

2.3.6 Maďarsko

Maďarský projekt *Tóköz Project* mapující oblast severozápadního území Maďarska již od roku 1998 do současnosti na podkladě leteckých snímků a analýzy pomocí geografických informačních systémů je typickým příkladem kvalitního využití metod, rozšiřujících informační

potenciál archeologických dat (Czajlik – Rupnik – Losonczi – Timár 2011, 234-241). Od roku 1993 (kdy bylo založeno první oddělení letecké archeologie při Univerzitě EötvösLoránd v Maďarsku) po rok 2000, bylo díky této, v Maďarsku nově užívané technologii, objeveno více než 400 nových lokalit, které byly pomocí geografických informačních systémů zpracovány a nyní tvoří spolu s dalšími daty, nasbíranými v pozdějších letech, obsáhlou databázi lokalit, jež nachází využití v celé široké sféře maďarské archeologie (Czajlik 2007).

2.3.7 Archaeo Landscapes Europe

Posledním ve stručnosti popsáním projektem je mezinárodní projekt Archaeo Landscapes Europe Project (ArcLAND), jehož doba trvání je vymezena lety 2010-2015. Do tohoto projektu je zapojeno 34 archeologických organizací (univerzity, muzea, výzkumné instituty) z celé Evropy, hlavním řešitelem je Německý archeologický institut ve Frankfurtu nad Mohanem. Hlavním cílem tohoto, v současnost bezesporu největšího projektu, je přiblížit veřejnosti pochopení metodiky ochrany kulturního dědictví prostřednictvím moderních metod letecké archeologie a dálkového průzkumu Země na bázi mezinárodní projektové spolupráce a předávání zkušeností mezi jednotlivými organizacemi. Samotný projekt je rozdělen do osmi hlavních oborových celků týkajících se:

1. vytvoření samostatné Archaeo Landscapes Network organizace, která bude samočinně spravovat jednotlivé kroky projektu, řešit otázku financování a rozdělování finančních příspěvků a přípravu publikační činnosti, jež by měla tvořit hlavní výstup.

2. využití tradičních a inovativních metod k propagaci hodnot leteckého snímování, dálkového průzkumu Země a krajinných studií u široké veřejnosti, studentů vysokých škol, učitelů a všech ostatních pracovníků organizací, zajišťujících ochranu památkové péče v evropských zemích.

3. podpory celoevropské výměny znalostí a dovedností jednotlivých badatelů prostřednictvím workshopů, výměnných pobytů a stáží.

4. posílení výuky dálkového průzkumu Země a studia krajiny v dlouhodobé perspektivě, prostřednictvím kurzů pro učitele vysokých škol a založení Evropského magisterského studijního programu v oblasti dálkového průzkumu Země a oblasti ochrany historického dědictví.

5. zajištění možného efektivnějšího využívání stávajících archivů letecké fotografie v Evropě zkoumáním, posuzováním a zveřejněním jejich potenciálu pro interpretaci archeologického dědictví a jeho zachování v krajině.

6. rozšíření technik leteckého průzkumu a dálkového průzkumu Země především do oblasti severní, východní a jižní Evropy.

7. podrobného zkoumání využití laseru, družicových snímků a dalších forem dálkového průzkumu společně s počítačovými aplikacemi geografických informačních systému při výzkumu krajiny, ochrany životního prostředí a veřejného vzdělávání.

8. poskytování technické podpory a poradenství v etablovaných postupech leteckého průzkumu, dálkového průzkumu a krajinné studie se zvláštním důrazem na zachování a rozvoj managementu ochrany památkové péče (Musson 2011).

Vzhledem ke značnému nárůstu rozšíření dálkového průzkumu Země v posledních několika letech společně s rozvojem větších či menších evropských projektů se však musíme zamyslet nad několika aspekty, které tento rozvoj provází a provázet budou. Jednak zde vyvstává otázka vlastní koncepce letecké archeologie. Je vůbec možné ještě v dnešní době považovat leteckou archeologii za samostatnou metodu, o jejíž nezávislost a oborové zařazení se celá obec leteckých archeologů pokouší již od počátku vzniku této metody? Letecká archeologie, jak se v posledních letech ukazuje, zcela nepochybně

zaplnila mezery archeologických výzkumů krajiny a její efektivnost při dokumentaci, vyhledávání a ochraně jednotlivých lokalit nelze popřít. Stále však narážíme na limity, které tato technika obnáší a které mohou být překročeny pouze kombinatorikou s dalšími neméně významnými metodami ať již nedestruktivního, tak destruktivního charakteru. Proto se domnívám, že letecká archeologie, tak jak byla veřejnosti do nedávné doby (počátek nového tisíciletí) prezentována – jako metodika sběru dat a jejich interpretace na základě kolmých, ale převážně šikmých leteckých snímků krajiny, již samo o sobě není dostačující vzhledem k možnostem, které se nám v posledních letech naskytují. Zapojení laserového skenování (leteckého i pozemního) do archeologie ve spojení s rozšiřujícím se geofyzikálním výzkumem. Snazší zpřístupnění rozsáhlých archivů leteckých snímků (The Aerial Reconnaissance Archives), dostupnost softwarů pro zpracování leteckých snímků (software AirPhoto), širšího využívání družicových dat (jak zpoplatněných tak i freewarových – Google Earth) atd. nutně vede k zamyšlení se nad otázkou, zda je letecká archeologie vůbec schopná v budoucnu existovat jako samostatně determinovaná metoda. Spíše se přikláním k myšlence M. Gojdy, který přisuzuje roli letecké archeologie jako součásti okruhu metod souhrnně nazývaných dálkový archeologický průzkum (Gojda 2010, 12). Z toho důvodu je tedy v současnosti nutné zaměřit se na vymezení teoretického modelu, který by mohl být aplikovatelný v postupu zpracování dat dálkového průzkumu Země za účelem dosažení nejlepších možných výsledků a vyčerpání nejvyšší možné míry informací v datech obsažených. To poté zcela jistě povede ke zkvalitnění a zefektivnění primárního cíle archeologie – poznání minulosti a ochrany archeologického dědictví.

Druhý zásadní okruh otázek, který souvisí s výše popsáním vývojem letecké archeologie a dálkovým průzkumem Země je problematika uchovávání dat. S rozvojem aplikace víceoborového zastoupení v oblasti dálkového průzkumu souvisí i otázka kapacitní progrese dat, která musí zákonitě nastat. Je tedy nutné zamyslet se nad

otázkou možností uchovávání dat pro budoucí analýzy. Nezbytností, která by měla být součástí každého projektu dálkového průzkumu Země, je databáze obsahující data veškerých metod aplikovaných v rámci výzkumu. Tato data, mnohdy přesahující kapacitu stovek gigabajtů, nebude možné zcela jistě uchovávat ve fyzické podobě externích disků či jiných paměťových médií. Východisko z tohoto problému vidím v možném využití virtuální archivace dat (např. použitím virtuálních páskových knihoven) na síťová úložiště, či na FTP server (<http://www.acronis.cz/kb/zalohovani-dat/>, 3.4.2012), což je ve všech případech již standardizovaný postup celé řady firem a institucí. Samozřejmě musíme zmínit nutnost omezeného přístupu veřejnosti do těchto databázových systémů z důvodu nutné ochrany dat před amatérskými zásahy neodborného charakteru (viz. Vencel 1996).

2.4 Letecká archeologie v České republice

Historii letecké archeologie v České republice nebudu v této práci nijak obsáhle rozvádět, byla již několikrát velice podrobně popsána v celé řadě publikací minulých let. Uvedu zde pouze stručný přehled nejvýznamnějších badatelů, kteří se do dnešní doby letecké archeologii věnují, či jejichž výsledky a odkazy jejich práce jsou charakterizovány výrazným přesahem vlivu do dnešních let.

Jedním z hlavních představitelů letecké archeologie v Čechách je M.Gojda, který tento obor masivně rozšířil ve sféře české letecké archeologie a publikoval celou řadu teoreticky i prakticky zaměřených oborových studií letecké archeologie (Gojda 1993a; 1993b; 1996a; 1996b; 1995; 1997; 2000; 2001; 2004; 2005; 2007a; 2007b; 2010a; Gojda - John 2009; Gojda a kol. 2010; Gojda – John 2011; Gojda – Trefný a kol. 2011; Gojda – John - Starková 2011). Tento badatel vnesl do české archeologie počátkem 90. let minulého století zcela nově orientovaný směr nedestruktivní analýzy a interpretace archeologických lokalit. Díky letecké archeologii byly objeveny stovky nových situací, které se později staly součástí podrobnějších a zpřesňujících výzkumů, nebo byly jakožto

potenciální lokality uloženy do deskriptivního systému. Výrazným pozitivem, které provází práci M. Gojdy, je jeho zájem a orientace na stabilní a funkční vědecké postupy letecké archeologie evropského prostředí. Především jeho aktivní spolupráce s celou řadou významných badatelů a specialistů ve sféře dálkového průzkumu Země (R. Palmer, R. Fatherstone, O. Braasch, D. Cowley, P. Horne, Ch. Musson, W. Raczkowski a další) přináší do tuzemského prostředí aktuální trendy. Zároveň prostřednictvím jeho bohaté publikační činnosti v zahraničních periodikách udává přehled o situaci letecké archeologie ve střední Evropě. Druhý představitel, jehož výzkumné zaměření je orientováno spíše na praktické využití letecké archeologie při konkrétních výzkumech, převážně situovaných do oblasti severozápadních Čech, je Z. Smrž. Za dobu svého působení publikoval celou řadu prací (Smrž 1995; 1996; 1999; 2000; Smrž - Hlušík 2007) k praktickému využití letecké prospekce. V posledních letech se letecké archeologii věnoval také L. Šmejda, který se zabýval především problematikou analýzy kolmých snímků na bázi fotogrammetrického zpracování stereoskopickou metodou a srovnání potenciálu metody šikmého a kolmého leteckého snímkování. Zároveň byl jeho výzkum situován do regionu západních Čech, kde se věnoval aktivnímu snímkování krajiny prostřednictvím šikmých fotografií a jejich následné transformaci do podob plánů (Šmejda 2007a; 2007b; 2008; 2009; 2010).

Z moravského prostředí je nezbytné pouze ve stručnosti zmínit práce předčasně zemřelého M. Báalka (geodet) a J. Kovárníka (archeolog), jejichž studie byly ve své době (v mnoha ohledech stále jsou) velmi inspirativní a držely nepochybně krok s metodikou nejrozvinutějších přístupů evropských zemí (Gojda 2004).

Ústav archeologické památkové péče v Brně byl zaměřen jak na získávání a vyhodnocování šikmých leteckých snímků (díky nimž byla například výrazně prohloubena a obohacena problematika římských pochodových táborů jihomoravského kraje), tak i na analýzu fotogrammetrických snímků, jež byly pořizovány za účelem mapování

krajiny. J. Kovárník (dříve Jihomoravské muzeum ve Znojmě), který v 80. letech uvedl v tehdejší Československu leteckou archeologii do praxe, se dodnes aktivně věnuje této činnosti při Katedře archeologie Univerzity Hradec Králové (Bálek 1999; 2000; Kovárník 1996; 1997; 1999; 2001; Bálek – Droberjar – Šedo 1994; Bálek – Šedo 1998; Bálek – Podborský 2001; Gojda 2004, 68; 2009, 24; Platichová 2010, 303-324).

Tento přehled však nereflektuje aktuální stav letecké archeologie. V současné době letecká archeologie v Čechách dospěla k jistému mezníku ve svém vývoji. Jednak je nucena potýkat se s nástupem dalších, v české archeologii poměrně nových metod (leteckého laserového skenování), společně s oblastí zcela nové specializace zpracování jednotlivých typů dat a jejich interdisciplinárního vyhodnocení. V neposlední řadě bychom se měli soustředit na formu dalšího využití a postupy zpracování dosud nashromážděného a v archivech uloženého materiálu.

Dnes v Čechách disponujeme několika více či méně rozsáhlými archivy leteckých snímků, jejichž fondy jsou výsledkem několikaletého soustředěného průzkumu a fotografické dokumentace různorodých krajinných celků rozmístěných na území České republiky. Bezpochyby početně největším archivem těchto dat je Archiv leteckých snímků Archeologického ústavu Akademie věd v Praze, který byl založen v 90. letech 20. století (konkrétně rok 1992) M. Gojdou společně se Z. Smržem z tehdejší expozitury archeologického ústavu v Mostě (současný Ústav pro archeologickou památkovou péči severozápadních Čech) (Smrž 1996, 213-219; Gojda 2008, 409-417). Již od samého počátku integrace letecké archeologie mezi standardní metody archeologie bylo nutné promýšlet nejefektivnější formy uchování dat pro potřeby dokumentační i analytické. Inspiraci našel M. Gojda v průběhu svých studijních stáží u zahraničních institucí a jejich archivačních přístupů (především britského prostředí). V současné době disponuje letecký archiv v Praze 6500 negativy, 5000 diapozitivy (převedenými do digitální podoby) a cca 5500 snímků, pořízených ve formátu JPEG a RAW (uvedený stav je platný k roku 2007; Gojda 2008, 413-415). Součástí archivu je i databáze tras

jednotlivých letů, podrobné formulářové informace o jednotlivých lokalitách, mapové podklady a dokumentace případných verifikačních zásahů dalšími použitými výzkumnými metodami.

Tento datový zdroj, společně s dalšími archivy leteckých snímků několika dalších archeologických organizací představuje v současnosti zcela výjimečný potenciál výzkumu krajiny a sídelních struktur, i když v mnoha směrech limitovaný. Analýza leteckých snímků (v tomto případě myšleno šikmých) sama o sobě skýtá obrovský potenciál při výzkumu rozsáhlejších krajinných analogií přírodního i antropogenního charakteru. Při doplnění o další syntézy, získané zpracováním dat přidružených metod dálkového průzkumu Země společně s datovacími metodami a heuristickými podklady (historické mapy, archivy, publikační fond), jsme již schopni pracovat s takovým datovým základem, který lze efektivně vyhodnocovat pomocí formalizovaných metod, a tím získávat výstupy disponující významnou mírou informací o strukturách, které poté mohou být uspokojivě interpretovány. Kombinační metodou využití interdisciplinárních postupů jsme již schopni nápadně obohatit sféru archeologické teorie a metody zabývající se výzkumem prostorových vztahů sídelních areálů a snahou o pochopení reflexních odrazů lidského chování v prostorové sféře (teorie sídelních a mimosídelních areálů; Neustupný 2010, 150-160).

Dálkový průzkum Země dosahuje v obecné rovině evropské a světové archeologie stále vyšší uplatnění. Země jako Velká Británie, Dánsko, Nizozemí, Francie, Německo, Rakousko či Slovinsko využívají jednotlivé domény dálkového průzkumu Země zcela samozřejmě. V zemích střední, jižní a východní Evropy zaznamenáváme nástup dílčích disciplín dálkového průzkumu Země s jistým zpožděním, které se projevuje snahou o komplexní průnik jednotlivců do veškerých sfér DPZ. Výše jmenované státy zpravidla pracují na bázi specializovaných oddělení, zabývajících se analýzou a deskripcí jednotlivých kombinovaných složek výzkumných postupů, z nichž je posléze generován interpretační výstup. Tento systém jak je vidno funguje

nanejvýš efektivně (viz sborník Cowley 2011), proto je nezbytné jeho zavedení i do našich podmínek (viz Šmejda 2009, 12). Poté, co budeme schopni v české archeologii efektivně pracovat s širším spektrem dálkového průzkumu Země (digitalizace šikmých leteckých snímků, analýza kolmých snímků, tvorba rektifikovaných plánů lokalit, kombinace s laserovým skenováním, historickými mapami, dokumentačními snímky, daty satelitního snímkování atd.), můžeme začít uvažovat o zavedení jednotného, metodicky uceleného postupu, jenž by prezentoval úspěšnou integraci dálkového průzkumu Země do teoretických modelů prostorové archeologie.

3 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ

3.1 Hlavní cíle dálkového průzkumu Země

Letecká archeologie moderní doby se vyznačuje výrazným posunem od starožitnického pojetí primárního účelu sběru dat, přes vývoj analytických a interpretačních fází leteckých snímků k současnému majoritnímu přístupu – interdisciplinární spolupráci a formulaci teoretických základů, jež jsou koncipovány na základě kombinační aplikace různých metodologických postupů.

Dálkový průzkum Země má pro archeologii dnešní doby již zcela nezastupitelnou funkci. V současném primárním pojetí archeologie jakožto oboru usilujícího o aplikaci co nejméně destruktivních postupů za účelem získání co největšího množství informací, plní dálkový průzkum svoji roli velice obstojně.

K hlavním cílům letecké archeologie a ostatních technik dálkového průzkumu Země jistě náleží průzkum krajiny na základě jejího mapování a dokumentování pomocí odlišných technologických postupů. V základním vymezení pořizování dat můžeme vycházet z dvojího pojetí - analytického a syntetického (dle Neustupný 1998). Na první pohled je zřejmé, že

metoda letecké prospekce, terénního průzkum antropogenních tvarů, určité formy povrchových sběrů, prospekce leteckých laserových dat či veřejných mapových portálů za účelem detekce možných archeologických lokalit atd. svou orientací spadá pod syntetický přístup. Ten lze charakterizovat jako výzkum založený na použití syntézy přímo v terénu, kdy je badatel nucen subjektivně vyhodnocovat svá pozorování. Tím jsou však zcela jasně vytvářeny faktory, ovlivňující v negativní podobě výsledná data.

1. Subjektivní přístup terénního pracovníka, založený na osobních zkušenostech a empirii bez možnosti zpětné validace.

2. Touto metodou jsme schopni analyzovat pouze základní parametry jednotlivých komponent, ale ztrácíme informace o hlubších relačních souvislostech mezi nimi (vnitřní struktura).

3. Hlavní cíle jakéhokoliv projektu jsou, za předpokladu aplikace syntetické metody, ovlivněny vlastní volbou typu hledaných skutečností. Tím zákonitě soustředíme svoji pozornost v největší míře na detekci takových entit, které splňují parametry námi zvoleného modelu a nereflktují ty, které ho přesahují.

Analytické pojetí je oproti syntetickému zaměřeno na deduktivní přístup, který je symbolizován vymezením teoretického modelu a jeho testování pomocí dopředu zvolených metod, jež primárně pracují na bázi objektivního zhodnocení dat (často pomocí uplatnění počítačových metod, vylučujících vliv subjektivního postoje badatele) (Neustupný 1998; Kuna 2004, 24-25). Zároveň jsou operace prováděny v jasně definovaných vyměřených prostorových jednotkách, determinovaných na základě předem stanovených parametrů – například tzv. zahrnujících polygonů (viz Neustupný 1996).

Letecká archeologie, ve své podstatě pořizování dat prospekci krajiny z letounu, je bezesporu odrazem postupu syntetického (sběr a vyhodnocování dat přímo v terénu). Tím dochází k zmiňované částečné

informační ztrátě a možným chybným interpretačním úsudkům. Řešení, které se nabízí k eliminaci tohoto problému, je spojeno s několika možnými přístupy. Jednak je to iterativní postup sběru dat – systematické opakování pořizování letecké fotodokumentace jednotlivých lokalit za účelem kumulace informací a jejich následné vyhodnocení jakožto celku (Gojda 2003, 71). Dalším krokem je možná kombinace syntetického a analytického přístupu sběru dat. Analytický postup je v oblasti dálkového průzkumu Země využíván při analýzách krajinných celků z datových souborů, reprezentujících komplexní jednotnou metodu snímkování krajiny bez vazby na subjektivní selekci v terénu. Takováto data jsou v oblasti dálkového průzkumu Země prezentována datovými zdroji v podobě mapových portálů, celorepublikových lidarových snímků, archivy kolmých leteckých snímků atd. Z těchto podkladů jsme na základě uplatnění principů analytického přístupu - rozdělení plochy do určitých sektorů, nezávislých na konkrétních faktových tvarech (např. vytvoření rastrové mřížky klasifikující prostor do pravidelných sektorů) schopni získat informace, významně doplňující data syntetická stejně tak jako datové informační zdroje z dalších oborů, provázející archeologické výzkumy. Příkladem může být aplikace interdisciplinárních verifikačních metod typu geofyzikální prospekce, geochemické analýzy případně terénní ověřování a interpretační zpřesnění údajů pomocí analytických povrchových sběrů v polygonech (Neustupný 1996; Kuna 2004, 24 - 25).

3.2 Hlavní oblasti archeologického uplatnění dálkového průzkumu Země:

- Prospekce krajiny za účelem detekce dosud neevidovaných archeologických lokalit.
- Dokumentace již známých archeologických památek, sledování stavu procesu jejich archeologizace v průběhu dlouhodobého časového horizontu, možné zpřesňování polohopisných a morfologických údajů.

- Dokumentační snímkování nemovitých archeologických a historických památek.
- Sledování prostorové distribuce, topografie sídelních poloh v závislosti na kvartérně geologickém a geomorfologickém typu krajiny.
- Analýza viditelnosti jednotlivých sledovaných objektů v závislosti na přírodních podmínkách (roční období, půdní podmínky, zemědělská aktivita, typ vegetačního pokryvu, meteorologické záznamy atd.).
- Analýza rozsáhlé prostorové komunikační sféry mezi jednotlivými situacemi, monitorování možných kulturních sídelních kontinuit.
- Dokumentace a analýza situací, jež chronologicky spadají do pravěkého období (tím pádem bez jakýchkoliv historických průvodních dokumentací) nám dává nové možnosti rozšiřovat dosavadní znalosti o informace, čerpající ze sledování přesné polohopisné lokalizace, sídelní struktury, vazby mezi jednotlivými komponentami sídelních areálů a případné relační vymezení komponent nadkomunitních.
- Monitorování změn v ekonomickém využívání krajiny (tzv. land-use)
- Ochrana kulturního dědictví.
- Syntézou získaných dat dálkového průzkumu Země získat představu o podobě krajiny v minulosti.
- Polohopisné a výškopisné vymezení jednotlivých objektů i lokalit.
- Tvorba a navyšování záznamů datových archivů.
- Studium typologie a morfologie objektů jednotlivých lokalit.

- Produkce podkladů pro navazující výzkumnou činnost (geofyzikální prospekce, povrchové sběry, terénní prospekce, geodeticko-topografický průzkum atd.). (Riley a kol. 1985; Neustupný 2001, 7-26; Gojda 2004, 50 - 51; Neustupný 2007, 35; Šmejda 2009, 75).

Téma této disertační práce nese název „Verifikace obtížně interpretovatelných dat leteckého průzkumu“. Při samotném zahájení zpracování tohoto tématu autorka vycházela z předpokladu analýzy výstupů „standartního“ leteckého průzkumu, který v České republice představují archivy leteckých snímků či mapové portály. V současné době masivního rozvoje nových technologií v Čechách (cca od roku 2010) vstupuje do hry i další, pro archeologii velmi významná metoda. Data leteckého průzkumu lze pojímat z mnoha odlišných pohledů. Řadíme mezi ně data získaná fotodokumentační činností z nízko letících letadel (šikmé snímkování), výstupy pořizované pomocí vertikálního, kolmého snímkování, ale také data získaná leteckým laserovým skenováním. Proto se ve své práci neomezím pouze na klasické výstupy letecké archeologie posledních let, ale neméně podstatnou část své práce věnuji i analýze a interpretaci dat dálkového průzkumu Země, v mém případě především dat laserového skenování.

Abychom mohli úspěšně navrhovat jednotlivé validační postupy, aplikovatelné na výše uvedená data, je nutné vymezit si vlastní postup zpracování, odvozený od datových forem jednotlivých snímacích principů. Základní determinace bude tedy vycházet z typu datových zdrojů, které budou badateli k dispozici. Prvním krokem celého procesu je bezpochyby vytyčení si hlavních cílů, k nimž budou směřovat veškeré následné analytické postupy. Předpokladem pro vytyčení si takovýchto cílů je zformování teoretického modelu, který následně podrobíme analytickým postupům, abychom si otestovali jeho kvalitu a funkčnost. (Wilson, 1995, 13; Neustupný 2007). V následujících kapitolách se pokusím na základě typologie dat leteckého průzkumu vytvořit konkrétní návrhy metodických postupů analýzy, syntézy a následné validace interpretačních výstupů,

kteřé budou následně podrobeny praktické aplikaci na konkrétních datech.

3.3 Historie dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země lze charakterizovat jako poměrně novodobou metodu, která postupem času nalézala využití ve stále větším množství oborově rozmanitějších sfér. Historické kořeny této metody sahají do období prioritního užívání dálkového průzkumu ve vojenské průzkumné (špionážní) oblasti. Jako nejstarší známé doklady nám slouží balónové průzkumné přelety francouzské jednotky plukovníka J.M.J.Coutella (1794) (Deuel 1979; Řeřicha 1998, 2). Samotný nástup dálkového průzkumu Země jako takového, s využitím fotodokumentačních postupů provázaných s kartografickou lokalizací a tvorbou plánu, nastává v meziválečném období, kdy vzniká dodnes nejrozšířenější technika dálkového průzkumu Země – letecká fotogrammetrie.

Další významný krok byl učiněn v průběhu druhé světové války, kdy byly do leteckých akcí zapojeny jednak radarové senzory (které umožňovaly nepříliš pravidelné a v mnoha směrech omezené snímkování protivníkovy území), jednak užívání fotomateriálů citlivých na infračervené záření, což vojenským jednotkám umožňovalo detekovat i velice kvalitně maskované objekty, které nebyly při aplikaci klasických fotografických postupů objeveny. Pravidelné využívání radarového a leteckého fotogrammetrického snímkování území bylo nasazeno v období studené války, díky tomuto se však stávalo zcela neveřejným, bez možnosti využití v jiné oblasti, než ve vojenských utajených projektech (Řeřicha 1998, 3 – 4).

60. léta 20. století znamenala zásadní předěl v rozvoji dálkového průzkumu Země zapojením družicových systémů pro mapovací účely. Prvním z nich byl americký program CORONA (1961-1972), následovaný vypuštěním první civilní monitorovací družice Země ERS 1, jejímž primárním účelem bylo zhodnocení stavu světových zásob přírodního

bohatství a mapovat land – use krajiny z hlediska širokého pokrytí. Tento projekt, který umožňoval využití družicových dat pro civilní účely, byl ve své době výjimkou. 80. léta 20. století znamenala v tomto směru jednoznačný progres. Nastupují rozsáhlé projekty vypouštění družic určených k mapování Země pro vědecké účely (např. Landsat 5, SPOT 1, KOSMOS, IRS-1A, MOMO 1 a další) (Řeřicha 1998, 5). Od této chvíle lze považovat družicový dálkový průzkum Země za jednoznačně samostatně stojící vědní disciplínu poskytující data pro rozsáhlé spektrum vědních oborů. Tím spíše, že v dnešní době již není ničím neobvyklým komerční využívání soukromých satelitních zařízení pro konkrétní účely dané společnosti – software Google Earth využívající satelitní snímky společnosti GeoEye (družice IKONOS a GeoEye-1) jakožto hlavní zdroj (<http://www.geoeye.com/CorpSite/>).

3.4 Definice dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země lze charakterizovat jako tzv. geoinformační metodu, která umožňuje mapovat a informovat o vymezeném zájmovém území či objektu bez nutného přímého kontaktu s ním. Pracuje na bázi přenosu informací pomocí elektromagnetického záření radiometry, které měří intenzitu emitovaného či odraženého záření s následnou transformací do podoby elektrického signálu, jež je exportován do podoby digitálních dat (Řeřicha 1998, 5 - 6; Halounová – Pavelka, 2005, 1).

Definice dálkového průzkumu Země, která asi nejlépe vystihuje jeho samotnou podstatu, popsali ve své publikaci T.M.Lillesand a R.W.Kiefer, kteří definují dálkový průzkum jako: „vědu a umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízeních, která s těmito zkoumanými objekty, plochami a jevy nejsou v přímém kontaktu“ (Lillesand – Kiefer 1994; Halounová – Pavelka 2005).

Obecně vzato se dálkový průzkum sestává ze dvou základních fází postupu. Zaprvé se jedná o proces sběru datových podkladů,

informujících o zemském povrchu. Druhá fáze je vymezena zpracováním, analýzou a vyhodnocením získaných podkladů. Získané informace slouží jako podklady pro celou řadu vědních oborů od astronomie, geofyziky, geodézie po zemědělství, archeologii, lesnictví atd. (Halounová – Pavelka 2005, 1).

Dálkový průzkum Země nabízí dvě základní spektra, v jejichž podmínkách jsou jednotlivá měření a snímání realizována. Oblast viditelného a infračerveného záření a oblast záření mikrovlnného. Oblast viditelného a infračerveného záření využívá dvou druhů technologických metod – pořizování dat pomocí fotografických kamer a měření na základě zaznamenávání změn elektrických veličin radiometry s následnou transformací tohoto měření na elektrický signál, jež je následně registrován v podobě digitálních dat. Takovýto typ radiometru pracuje s měřením odrazů záření Slunce nebo s vlastním zářením Země, tím se řadí mezi tzv. pasivní radiometry. Typickými zástupci tohoto typu jsou opticko-mechanické a elektromagnetické skenery a mikrovlnné radiometry (Halounová – Pavelka 2005, 56-83; Gojda – John 2009, 468-470). Aktivní radiometry jsou charakteristické výskytem vlastního zdroje záření a základními představiteli této kategorie jsou, v současnosti stále více se rozvíjející radary a lidary fungující na principu mikrovlnného záření (Gojda – John 2009, 469). Celkově lze shrnout typologii pořizování dat do tří základních sfér: 1. klasické fotografické komory, 2. digitální senzory (skenery, spektrometry) a 3. zobrazující radary (Gojda – John 2009, 471).

Další hledisko, dle kterého probíhá diferenciací měřící aparatury, jsou její rozlišovací schopnosti:

1. prostorová – zaznamenává rozměrovou hodnotu reálného zemského povrchu obsaženou v jednom pixelu družicového snímku (v dnešní době dosahuje prostorové rozlišení snímků až 0,1m)

2. spektrální – udává hodnotu intervalu vlnových délek a definuje jejich šířku, v případě jednoho intervalu hovoříme o snímcích panchromatických (jediná viditelná část spektra), multispektrálních

(zachycují odrazivost více než jednoho intervalu, běžně jsou vizualizována v rozsahu barevného spektra Red - Green – Blue a infračerveného spektra) a hyperspektrálních v případě, je-li měření prováděno ve více než deseti spektrálních pásmech. Počet spektrálních pásem a jejich šíře je určena spektrálními rozlišovacími schopnostmi přístroje

3. radiometrická – prezentuje kvantitativní záznam úrovní digitálního obrazu, jednotkou je bit/pixel

4. termínová – vyjadřuje časový okamžik (interval) mezi jednotlivými měřeními (Gojda – John 2009, 469).

3.5 Typy dat dálkového průzkumu Země

Základní členění dat dálkového průzkumu probíhá prostřednictvím výsledného typu – data obrazová a neobrazová. Prezentace neobrazových dat je možná formou jednodimenzních aplikací (graf). Obrazová data jsou dvojího druhu – analogová (ta je třeba pro další analýzy převádět do digitální podoby) a digitální. Digitální obrazová data jsou tvořena maticí čísel, kterou je možné vizualizovat v obrazové formě. Základní, dále nedělitelnou jednotkou této formy je pixel. Pixely nabývají určitého stavu radiační hodnoty, která je přesně polohově lokalizována souřadnicovou definicí. Tyto informace (pixelových hodnot) obsažené v jednotlivých elementárních částicích jsou dále kódovány a tvoří výsledný digitální obraz. Nejčastějším kódovacím parametrem je intenzita či odrazivost (Halounová – Pavelka 2005, 1 - 101). Výsledné obrazové formáty poté nabývají specifických souborů uložení pixelových dat (pásmová, pixelová a řádková) (srov. Halounová – Pavelka 2005, 103). Samotné datové údaje obsažené v těchto datových souborech udávají několik typů informací o sledovaných objektech. Jednak informace prostorové, udávající metrické parametry jednotlivých objektů, vzájemné vzdálenosti apod. a tematické (obsahové), definující vlastní interpretační stanovisko k danému objektu a obsahující informace o skrytých

strukturách, jež jsou hlavním předmětem našeho zájmu. Tyto náležitosti se v následných krocích analýzy a syntézy snažíme detekovat a interpretovat. Dá se říci, že informace tematické jsou majoritní a potřebnou reflexí hlavních cílů dálkového průzkumu Země (Halounová – Pavelka 2005, 1-2). V případě archeologie můžeme za tematické cíle považovat studium prostorových vztahů daného území a daných objektů nejen z hlediska jejich formálních a prostorových atributů, ale také na základě jejich abstraktních vlastností a vazeb (symbolických odrazů).

Druhým aspektem diferencujícím data dálkového průzkumu Země je druh záznamu – analogová a digitální podoba. Doplňujícími specifiky datových souborů je výběr nosiče měřicí aparatury, kdy soubory dělíme na data pořízená leteckým či družicovým charakterem snímkování, dále pak počet záznamů obrazových dat v závislosti na odlišných vlnových délkách daného měření (data monochromatická, panchromatická, multispektrální, multipolarizační, hyperspektrální) či druh vlnových délek (infračervené spektrum) (Halounová – Pavelka 2005, 2-3).

3.6 Druhy dálkového průzkumu Země

Prvotní druhové vymezení dálkového průzkumu Země vychází z typové definice zdrojů elektromagnetického záření. Aktivní zdroj záření reprezentuje takové měření, kdy je v rámci měřicích přístrojů umístěn i zdroj vysílaného záření a je měřena část jeho odraženého záření (laser, radar) v jednotkách daného zařízení (pulsech). Pasivní zdroje představují v tomto případě elektromagnetické záření Slunce a Země. Další vymezení druhové typologie dálkového průzkumu je charakterizováno na základě oblasti využití typů pořízených dat. Konvenční dálkový průzkum Země se vyznačuje využíváním fotografických snímků, pořizovaných jak z leteckých, tak i z družicových nosičů. Vědním oborem, zabývajícím se prací s těmito daty je letecká fotogrammetrie. Druhým typem dálkového průzkumu Země vyznačujícím se primárním využitím snímků laserového skenování je nekonvenční metoda. Výstupy této techniky tvoří nejvyšší

procentuální zastoupení využívaných dat dálkového průzkumu Země (Halounová – Pavelka, 2005, 2-3; 26-28).

Druhé klasifikační vymezení dálkového průzkumu Země definujeme na základě typu nosiče. Rozlišujeme dva základní typy snímacích metod – letecké a družicové (druhý jmenovaný byl dříve označován za kosmický dálkový průzkum Země). Každý z obou snímacích druhů reprezentuje celou řadu výhod a nevýhod, které pozitivně či negativně ovlivňují kvalitu výstupních dat.

3.6.1 Letecké nosiče

Letecké nosiče jakožto stroje využívané při šikmém či kolmém fotografickém snímání krajiny využívá archeologie již celou řadu desetiletí. V protikladu k tomuto aplikace leteckých nosičů při dálkovém průzkumu Země z hlediska laserových a radarových metod kolekce dat v archeologii (jež je známé nepoměrně kratší dobu vůči standardní metodě letecké prospekce) zaznamenává v současnosti stále se zvyšující frekvenci užívání. Do nedávné doby (2007) nebyla v České republice žádná společnost, jež by disponovala tímto typem výškového snímání krajiny. Dnes již máme plně funkční datový soubor leteckých laserových záznamů, pořízených českou geodetickou službou Geodis Brno s.r.o. Donedávna bylo možné data tohoto typu získat pouze prostřednictvím zahraničních společností, disponujících technikou umožňující tuto inovativní a stále se rozvíjející metodu aplikovat i pro prostředí české krajiny.

Výhod využití leteckých nosičů je několik. Vzhledem k možnostem ovládání letadla manuálním způsobem a za přítomnosti člověka mohou být veškeré snímkové lety předem naplánovány a přizpůsobeny parametrům žádosti zadavatele. Dobu snímání je možné přizpůsobovat podmínkám ovlivňujícím kvalitu tvorby výstupů (roční období, meteorologické vlivy). Díky lidské kontrole nad nosičem je možno cíleně směřovat letoun nad konkrétní cílové území. Je možné provádět

opakované snímkování v případě chybného či nedostatečného parametrického nastavení.

Mezi nevýhody náleží bezesporu široký záběr leteckého skeneru. Standardní skenovací úhel by neměl překročit vyšší hodnotu než 25°. Pokud je úhel vyšší, vede zákonitě k vytváření odchylek intenzity měřeného odraženého záření, což můžeme pozorovat zejména v případech snímání nesourodého reliéfu krajiny (výrazných výškových přechodů) (Halounová - Pavelka 2005, 80). Záporným aspektem leteckého snímkování je také vysoká nestabilita letounu a nutná přítomnost kvalitních gyroskopických přístrojů, redukujících odchylky, vzniklé nestabilním pohybem letounu (Řeřicha 1998, 6-7; Halounová – Pavelka 2005, 80).

Problematická může být také výška letu. Nastavení optimálních parametrů snímání s primární snahou o nepřekročení maximální velikosti pixelu se jeví jako problematické opět v oblasti heterogenity členitosti terénu. Optimální výška a rychlost letu efektivní pro jeden typ krajinného reliéfu (roviny) se může diametrálně lišit při snímkování odlišných výškových typů terénu (pahorkatina, vrchovina). Tomuto problému lze předejít plánováním dílčích přeletových akcí krajinných pásem jednak pomocí snímkování z různých letových nosičů (letadlo, helikoptéra – pro podrobnější skenování terénu), tak i aplikací vícenásobné přeletové strategie (především při fotogrammetrickém snímkování).

3.6.2 Letecké laserové skenování

Jeden z hlavních záměrů archeologie posledních desetiletí je snaha o stanovení takové archeologické metodologie, která co nejméně narušuje či poškozuje archeologické dědictví a zároveň poskytuje maximum možných informací o daných situacích z hlediska podkladů archeologického výzkumu. S nástupem nových technologií nachází své pevné místo v archeologii celá řada technik tzv. nedestruktivního charakteru, s jejichž pomocí jsme schopni samotné památky nejen nově

detekovat a lokalizovat, ale především uchovávat pro další, odborně vyspělejší generace. Na základě nově objevených struktur bude možné determinovat další kritéria jejich výskytu, což mimo jiné usnadní vymezení strategie archeologické památkové péče.

V současné době archeologové používají primárně dvě základní metody systematického (nenáhodného) vyhledávání a objevování archeologických lokalit: terénní průzkum a leteckou archeologii. Letecká archeologie je z hlediska nákladů velmi efektivní metoda prospekce krajiny a vyhledávání nových archeologických lokalit, ale velmi často je limitována možnostmi interpretace jednotlivých komponent či komplexů dané lokality, případně chronologického zařazení. K vytvoření podrobného plánu včetně zaznamenání takových objektů, jejichž viditelnost není patrná z příznaků využívaných při letecké prospekci, může napomáhat integrace dalších nedestruktivních metod, jako je geofyzikální průzkum či povrchové sběry. Povrchové sběry jsou vysoce efektivní metodou pro účely získání datovacího materiálu a získání představy o prostorových aspektech jednotlivých objektů dané lokality.

Omezení, jímž výše uvedené metody disponují, se nejvýrazněji projevuje při výzkumu oblastí charakterizovaných vysokou mírou zalesnění či hustým vegetačním pokryvem. Vzhledem k obtížné prostupnosti takovýchto typů krajiny a absence zemědělské a industriální činnosti disponují tyto oblasti širokým spektrem dosud zachovaných reliktních archeologických objektů (Devereux et al. 2005). Využití klasických leteckých a satelitních snímků (ať už kolmých, či šikmých) nachází nejefektivnější a nejvhodnější využití v oblastech otevřených, zemědělsky využívaných krajinných celků, a to kvůli své jednoznačnější vizualitě a terénní dostupnosti. I proto byl archeologický výzkum lesního prostředí donedávna spíše okrajovou záležitostí. Možností, která dnes výrazně přispívá k represi těchto environmentálních bariér, je aplikace metody tzv. laserového skenování, jež je schopna pronikat vegetačním pokryvem a mapovat reliéf krajiny i v zalesněných oblastech (Ackermann 1999; Wehr-Lohr 1999; Kraus 2002, 53-56; Kraus 2004; Doneus et al. 2007, 275 -

276). Laserové skenování nabízí vyšší přesnost a širší rozsah využití než dosud nejkvalitnější systémy satelitního snímkování či letecké fotogrammetrie (Gasior 2006, 15).

Nejznámějším systémem laserového snímkování zemského povrchu je LiDAR (Light Detection and Ranging). V dnešní době nachází využití v mnoha vědních oborech a lze jej považovat za kompaktní, samostatně etablovanou metodu sběru a analýzy dat.

Své využití nachází především v následujících oblastech:

- 3D vizualizace
- archeologie
- architektura
- archivace: historické, právní
- výzkum atmosférický aerosolů
- (3D) modelování měst
- lesní hospodářství
- geologie
- forenzní vědy
- geomorfologie, hydrologie, glaciologie
- infrastruktura a komunikační sítě
- lékařství
- vojenství
- těžba
- monitorování a inženýrské stavitelství
- elektrické vedení + póly měření
- profily, objemy, plochy pro výpočet
- analýzy skalních útvarů
- topografie
- územní plánování
- virtuální reality a simulace
- zemědělství

- monitoring, územní management, turismus atd. (zde je prioritně využívána např. pro detekci erozních postupů, míry zalesnění, sledování krajinných a urbanistických změn v čase, hydrologických změn) (Gomes - Pereira – Wicherson 1999, 105-114; Wagner et al. 2004; De Boer et al. 2005; Ducic et al. 2006, 211 – 217; Schmid et al. 2008).

Moderní lidarové systémy jsou schopny na základě snímání několika tisíců bodů během jednoho laserového pulsu srovnávat a mapovat výškové difference vegetačního pokryvu a povrchu terénu, poskytovat informace o rostlinném charakteru daného území (metoda založena na míře intenzity vrátného echa), stejně tak jako analyzovat zástavbové linie, proměnlivé výšky budov atp (**Tab IV.**). V současné době lze považovat tuto metodu za jednu z nejpřesnějších 3D technologií získávání dat (Ackermann 1999; Gasior 2006). Jeho přednosti spočívají především v možnosti průniku laserových paprsků skrz vegetaci (tzn. detailní průzkum zalesněných území, což při standardním využití leteckých snímků či povrchové terénní prospekce nebylo možné), stejně tak jako ve schopnosti pořizovat snímky bez závislosti na intenzitě slunečního svitu a ročním období, jež jsou důležitými aspekty při snímání přístrojem na družicovém nebo nízko letícím nosiči. Výhoda komplementárních softwarů LiDARu je také možná simulace slunečního svitu v predefinované denní době (Dolanský 2005, 20; Gojda 2005, 806-807).

V oblasti archeologie můžeme LiDAR považovat za určitou formu komplementární (nadstavbové) metody nedestruktivního charakteru, zpravidla doplněnou o další techniky jako je aplikace geofyzikálních metod, povrchových sběrů, prospekce na základě leteckého snímání, tachymetrického zaměřování, fotogrammetrie, sondáží či terénních archeologických výzkumů.

S příchodem lidarové technologie, všeobecně známé také jako letecké laserové skenování, dochází ke zcela revolučnímu převratu v oblasti topografického mapování. Díky progresivnímu zdokonalování této

techniky v průběhu posledních let jsme schopni využívat ji nejen jako prospekční metodu povrchu Země, ale také jejím prostřednictvím vytvářet nové perspektivní metodické postupy. Celá řada nedávno publikovaných studií se zabývala právě možnostmi využití techniky laserového skenování pro účely archeologie a studia krajiny (Bewley, 2003; Shell and Roughley, 2004; Sittler, 2004; Devereux et al. 2005; Doneus - Briese, 2006, 99-105; 2010, 59 – 76; Risbøl et al., 2006; Harmon et al., 2006; Corns - Shaw 2008, 72 - 77; Crutchley, 2008).

Obecné zhodnocení využití lidarové technologie v archeologickém spektru lze charakterizovat na základě intencních kategorií. Základní a nejobecnější oblast tvoří mapování a prospekce krajiny (Bewley et al 2005; Bofinger et al 2006; Harmon et al. 2006; Powlesland et al. 2006), geoarcheologický průzkum a vyhodnocení efektivity v závislosti na přírodních podmínkách (Challis 2005, 2006) a detekce reliktních archeologických objektů nad povrchem terénu (Devereux et al. 2005; Doneus - Briese 2006, 99 - 105; Risbøl et al. 2006; Sittler a Schellberg 2006).

Obecnou charakteristikou leteckého laserového skenování jakožto techniky, s jejíž pomocí jsme schopni zaznamenávat pouze takové objekty, jejichž byť i nepatrná část se nachází nad povrchem terénu, se ve svých studiích zabýval britský badatel K. Challis (Challis 2006, 103-127). Dospěl k závěru interpretujícímu možnost úspěšného využití leteckého laserového skeneru i v případech, kdy je přítomnost antropogenních zásahu viditelná pouze v podobě terénních odrazů vegetačních či půdních příznaků.

Využitím lidarové technologie jakožto prostředku pro vyhledávání nových lokalit a vymezení historického prostředí v krajině se v posledních letech zabývalo mnoho různorodých individuálních projektů (Holden et al 2002; Bewley 2003; Crutchley 2006).

Veškeré výše uvedené projekty jsou však v převážné většině orientované pouze na jednostranné a jednorázové využití leteckého

laserového skenování, což symbolizuje do dnešní doby nejtypičtější přístup k integraci lidarů do archeologie. Systematická aplikace této technologie a její následné vyhodnocování v závislosti na širším, metodicky stabilním přístupu je však dosud teprve v zárodku (Challis et al. 2008, 1055-1056). V tomto směru je nesmírně důležité sledovat a vyhodnocovat jednotlivé přístupy využívání leteckého laserového skenování jednak v jistém časoběrném horizontu, jednak také komparovat výsledky jednotlivých projektů mezi sebou. Tím jsme schopni dosáhnout představy o vývojových trendech a progresivitě v jednotlivých archeologických disciplínách a zároveň získávat materiál pro komplexnější a systematictější analýzu lidarových dat.

3.6.2.1 Technika snímání

Laserové skenery lze dělit do několika základních kategorií. Jedná se o systémy ruční, pozemní a letecké. Ruční skenovací aparáty jsou lehce přenositelné, jsou určeny pro skenování i v těžko dostupných podmínkách. Pozemní skenery pracují na bázi stativového podstavce. Jejich využití jakožto vysoce přesného snímacího přístroje nejčastěji nalezneme v oborech jako stavebnictví, strojírenství, architektura, geologie či archeologie. Letecké laserové skenery jsou nemladším zařízením z tohoto přehledu. Jsou umístěny na leteckém nosiči a jejich primárním cílem je skenování zemského povrchu (Dolanský 2005, 17).

Lidar, stejně tak jako radar je akronymem slovního spojení, které v překladu používá pojmů „světelná detekce a vyhodnocení“ a popisuje způsob pracování trojrozměrných datových souborů prostřednictvím aplikace laserového skeneru (Crutchley – Crow 2009, 4-5). Tato technologie je součástí dálkového průzkumu Země.

V zásadě se jedná o optický laserový přístroj dálkového průzkumu fungující na bázi aktivního senzoru (je schopen vysílat energii v podobě svazků laserových paprsků, přijímat zpětné echo po odrazu od objektů v prostoru a převádět naměřené hodnoty do digitálního záznamu), který slouží k velmi přesnému 3D mapování zemského povrchu. Pracuje na

základě vícenásobného měření časových intervalů mezi vypuštěním laserového paprsku z mechaniky skenovacího aparátu a následným odrazem paprsku od povrchu terénu v závislosti na výšce a rychlosti leteckého nosiče. Nejčastějším typem nosiče je letadlo, speciálně upravené pro tento typ mapování (Holden et al. 2002; 173-180; Dolanský 2004, 10; Gojda 2005, 807-808; Pfeifer – Briese 2007, 311-319; Sittler et al. 2007).

Letecký laserový skenovací systém není jakožto aktivní senzor nikterak závislý na slunečním světle. Lze ho tedy využívat v jakoukoliv denní či noční hodinu. Co je však vysoce důležité pro samotné měření, je nutnost zajistit přesné určování polohy leteckého nosiče v prostoru (Dolanský 2005, 20). V posledních letech dosahují technologické komponenty přístroje stále vyšší kvality (Ackermann 1999).

3.6.2.2 Přístrojové vybavení

Systém laserového skeneru se sestává z 5 hlavních komponent:

1. **GPS (Global Positioning System)** pro určování absolutní polohy nosiče v prostoru v podobě souřadnic x , y , z . Na palubě letadla může být umístěno jedno zařízení GPS či celá soustava. Pro možné měření pomocí GPS je nutné využívat nejméně 4 satelitů. Pro zpřesňování pozice letounu je však vhodnější využívat připojení k 5 – 6 satelitním přijímačům (Fowler 2001). V praxi je časté využití diferenciální metody GPS tzv. Differential Global Positioning System (DGPS). Tento systém využívá kombinace údajů z referenčních stanic umístěných na známých geodetických bodech na povrchu země a hodnot stanice umístěné na palubě letadla. Neméně důležitou funkcí GPS je časová synchronizace veškerých měřicích přístrojů (Dolanský 2005, 27; Pavelka 2011, 15, 16).

2. **Laserové jednotky (LRF)** složené z laserového vysílače a přijímače. Optická osa obou těchto složek je identická. Z laserového vysílače jsou vysílány svazky laserových paprsků, které jsou po odrazu od

objektů v prostoru pod skenerem zaznamenávány zpět laserovým přijímačem. Z hlediska parametrických aspektů snímání krajiny tato jednotka určuje a nastavuje vlastní velikost stopy laserových paprsků a intenzitu vysílaných pulsů. Samozřejmě jsou tyto parametry ovlivňovány výškou letu a divergencí či úhlovým nasměrováním paprskového svazku. Nejběžnějším spektrem, které laserové paprsky reflektují, je spektrální rozlišení blízké infračervenému záření (NIR). Tomuto faktu napomáhá také vlnová délka záření laserové jednotky, která se nejčastěji pohybuje mezi 1100-1200 nanometry. Intenzita zpětného echa paprsku je výrazně ovlivněna typem a vlastnostmi povrchu, na nějž laserové záření dopadlo. Právě hodnoty intenzity takovýchto odrazů společně se vzdálenostmi a polohopisnými údaji v další fázi generují výsledný datový soubor matice jednotlivých bodů. Z ní může být posléze vytvořeno mračno bodů zobrazující jednotlivé odrazy pulsů. Vzhledem k faktu vysoké variability povrchových vlastností terénu jsme schopni efektivně selektovat objekty s vysokou a nízkou odrazivostí v daném pásmu záření. Nejnižší odrazivostí disponují hladiny vodních ploch (infračervené světlo je z velké části pohlcováno vodou) a nejvyšší takové objekty, jejichž povrch je tvořen kompaktní složkou (budovy, zástavba). V případě vegetace nachází tento princip využití při výzkumu diferentních složek vegetačního pokryvu založeného na principu naměřených nekompaktních hodnot odrazivosti jednotlivých vegetačních typů, které je tím pádem možno druhově rozpoznávat (Majer 1996, 264 – 272; Ackermann 1999; Dolanský 2005, 18-21; Crutchley – Crow 2009, 6-7).

Zpětné odrazy zachycené laserovým přijímačem prezentují jednotlivé polohové stupně pronikajících paprsků na zemský povrch. Nejdůležitějším záznamem se v tomto případě stává hodnota tzv. prvního a posledního pulsu. První puls symbolizuje vrcholové partie objektů, které pokrývají zemský terén, poslední puls představuje terénní pokryv bez jakýchkoliv nadzemních elementů. Pulsy mezi tímto spektrem tvoří odrazy paprsků od jednotlivých „pater“ vegetace či jiných objektů. Současné komerční systémy jsou schopny zaznamenat až 5 odrazů (s

předpokladem minimální vzdálenosti 2-3 metry mezi nimi), ale v praxi se zpravidla neměří více než 3 odrazy jednoho místa (Dolanský 2004, 22). Tento způsob získávání informací využívají systémy, které nepracují na bázi tzv. full-wave technologie.

Full-wave forma leteckého laserového skenování představuje principiálně odlišný přístup. Častým problémem konvenčních leteckých skenerů je velice náročné vyhodnocení výškových aspektů rostlinného pokryvu a vymezení entit reprezentujících nízkou vegetaci, reliktů nadzemního zdiva a podobné výškově nepříliš markantní objekty. Aplikace full-wave technologie obnáší výhodné kontroly datových souborů, odrazivosti objektů, umožňuje extrakci a přidávání informací, čímž poskytuje modifikaci interpretačních procesů měření.

Při aplikaci tohoto typu měření nejsou zaznamenávány pouze hodnoty jednotlivých zpětných pulsů, ale zároveň je měřena (v krátkých časových intervalech jednotek nanosekund) i velikost navracející se energie. Ve své podstatě tento fakt znamená rozšíření měřených informací jednotlivých odrazů o záznamy komplexních hodnot křivky navracejícího se pulsu. Tyto hodnoty poskytují informace nejen o struktuře a tvaru povrchového pokryvu, ale také o jeho vlastnostech. Takováto technologická inovace není v dnešní době stále ještě standardní technikou a její využití se pohybuje v oblasti specializovaných, cíleně zaměřených vědeckých aplikací, a jakožto nová technologie umožňuje získávat datové soubory vysoké kvality z hlediska rozlišení, následné vizualizace a informačního potenciálu (Wagner et al. 2004, 201 – 206; Doneus – Briese 2006, 155-162; Ullrich et al. 2007; Pavelka 2011, 24-25).

Podobnou „nadstavbu“ jako je full-wave systém, představuje technologie tzv. Multiple Time Around (MTA). Pomocí této funkce je uživateli umožněno libovolně zvyšovat frekvenci laserových pulsů a získávat takto podrobnější datové soubory, které jsou výsledkem zvýšené hustoty bodů. Multiple Time Around pracuje na bázi možného vysílání laserového paprsku v dřívějším čase, než se vrátí předchozí paprsek zpět

do skeneru. Zároveň je použitím této aplikace umožněno zvyšovat letovou výšku pořizování dat a neměnit nijak kvalitativní aspekty výsledných bodů (Ackermann 1999; Pavelka 2011, 25).

3. **Skener** obsahující těleso rotujícího zrcadla, které zapříčiňuje jemné vychylování svazků laserových paprsků mimo svou osu, čímž určuje rozsah záběru snímané plochy - obvykle v 20° - 30° (nejmodernější přístroje mohou dosahovat hodnoty až 70°). Skenovací jednotka tedy primárně slouží k měření vzdáleností k určitému objektu (Fowler 2001; Dolanský 2004, 23). Měření vlastní vzdálenosti mezi jednotlivými odrazy a leteckým nosičem je možné provádět dvěma způsoby. Jednak měřením vzdálenosti momentu vyslání pulsu a jeho návratu do laserového přijímače, jednak prostřednictvím fázového posunu. Téměř v 90 % je však využíváno měření prostřednictvím pulsních laserů, zastupujících první variantu (Wehr - Lohr 1999, 70-74; Pavelka 2011, 12-13). Na základě vygenerované kontury naměřených laserových dat rozlišujeme čtyři základní technologické typy skenerů: skener s rotujícím zrcátkem (snímkování probíhá v paralelních řadách, souběžných se směrem letu) skener s oscilujícím zrcátkem (princip je identický s předchozím, ale měření probíhá reverzním způsobem tam a zpět), skener se svazkem optických vláken (nasnímkované řady jsou v tomto případě orientovány rovnoběžným směrem s pohybem letounu) a skener s eliptickou stopou. Poslední typ skeneru pracuje na principu dvou integrovaných zrcadel, která vychylují laserový svazek paprsků do takové míry, že jeho stopa opisuje na povrchu elipsu. Díky tomu je identické místo zemského povrchu měřeno z různých úhlů a tím dochází k eliminaci absence měření zastíněných (běžně neměřených) ploch (Dolanský 2005, 23-25; Pavelka 2011, 14).

Typ užitého skenovacího zařízení výrazně ovlivňuje výstupní datové systémy především z hlediska stanovení hustoty skenování. Pro definici podrobnostních parametrů skenování je uváděna hustota bodů na jeden metr čtvereční. Tato hodnota však nemůže být v žádném případě konstantní, vzhledem k přímé vazbě na letovou výšku, rychlost letu a

skenovací frekvenci. Hodnoty hustoty bodů se pohybují s větší či menší odchylkou v celé ploše měřeného území. Proto se ve většině případů uvádí přibližná (průměrná) hodnota hustoty bodového pokryvu (Ackermann 1999; Dolanský 2005, 26).

4. **Kontrolní (řídící) jednotka**, jež je komunikačním prostředkem mezi vlastním skenerem a laserovou jednotkou, u nichž je vyžadována neustálá časová synchronizace prostřednictvím GPS stanice (Ackermann 1999; Dolanský 2005, 26 - 27).

5. **Navigační jednotka** – Inertial Measurement Unit (IMU) je systém sloužící k zaznamenávání polohy měřených bodů vzhledem k poloze leteckého nosiče. Letecký nosič není schopen plně konstantního letu bez jakýchkoliv náklonných pohybů či změn rychlosti letu. Pro záznamy takovýchto změn pohybu letounu slouží jednotka IMU. Využívá tří gyroskopů (určení náklonů) a tří akcelerometrů (určení zrychlení) pro určení rozdílů polohy a natočení a rychlostních změn. Součástí jednotky IMU je zpravidla také tzv. interciální navigační systém (INS), který slouží ke kontrolnímu měření a korekci správných hodnot polohopisných a výškopisných údajů vypočítaných jednotkou IMU prostřednictvím spojení se stanicí GPS (Ackermann 1999; Fowler 2001; Dolanský 2005, 27; Pavelka 2011, 14-15).

Velice často se na palubě letadla nachází také digitální kamera či fotoaparát, který umožňuje paralelní snímkování povrchu krajiny společně se skenováním a vytváří tak aktuální vertikální ortosnímky skenovaného území. Tato dokumentace může probíhat ve vícespektrálním pásmu od černobílých, panchromatických (CIR) snímků po tzv. RGB (Red – Green-Blue) multispektrální snímkování. Tato technika nám posléze umožňuje sledovat nejen viditelnost objektů na základě viditelných příznaků povrchu země, ale také jsme schopni rozlišovat a vyhodnocovat prostupnost a kvalitu leteckého skeneru v závislosti na morfologii krajinných typů.

Přehled aktuálních typů leteckých laserových systémů sestavil K. Pavelka (Pavelka 2011, 24-27).

3.6.2.3 Parametry leteckého laserového skenování

Základní přehled parametrů ovlivňujících výstupy leteckého laserového skenování (Fiala 2011):

- Relativní výška letu.
- Rychlost letu.
- Průměrná hustota bodů.
- Vychýlení laserového paprsku od vertikálního směru.
- Šířka skenovaného pásu.
- Vzdálenost sousedících letových pásem a jejich překryv.
- Divergence laserového paprsku.
- Velikost stopy laserového paprsku.
- Frekvence vysílání pulsů.
- Frekvence skenovaných řad.

3.6.2.4 Zpracování dat leteckého laserového skenování

První etapou technologie leteckého laserového skenování je získání datových souborů prostřednictvím vlastního procesu snímání povrchu krajiny ze vzduchu. Po dokončení této první fáze je nutné získaná data zpracovat do uživatelsky přijatelné podoby. Toto zpracování probíhá v několika po sobě jdoucích krocích, jejichž každá část velmi výrazně určuje typ výsledného datového celku (**Tab. IX**).

Jednotlivé kroky analýzy dat lze obecně vyjádřit prostřednictvím několika tříd:

- 1) Extrakce dat a jejich kalibrace.
- 2) Validace polohy.
- 3) Klasifikace.
- 4) Filtrace a zpracování obrazů.
- 5) Vytvoření produktů.

Abychom dosáhli co nejkvalitnějších výsledků, je v první řadě nutné stanovit si hlavní výzkumné postupy, ke kterým datové celky budeme používat. Od vytvoření takovéhoho předběžného modelu jsme schopni přistoupit k vlastnímu zpracování lidarových dat (Crutchley - Crow 2009, 7-14).

Extrakce, kalibrace dat a validace polohy

Výsledkem měření leteckého laserového skenování je mračno bodů. Toto bodové mračno je zpravidla vygenerováno v souřadnicovém systému vlastním pro skener, pro následnou distribuci dat musí být toto mračno georeferencováno do lokálního souřadnicového systému (zpravidla je využit souřadnicový systém GPS jednotky snímkovacího zařízení). Nejčastěji se tedy jedná o systém Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic (UTM) s geodetickým systémem WGS – 84.

V průběhu post-procesingu datových souborů leteckého laserového skenování jsou získávány různé typy datových souborů. Již samotné první výstupy v podobě surových mračen bodů bez aplikace filtračních a klasifikačních algoritmických výpočtů jsou v mnoha případech žádoucím produktem. Uživateli je umožněno zpracování dat podle vlastních parametrů.

Klasifikace a filtrace dat

Datová sada představující originální výstupy laserového skenování je vždy generována do formy souřadnicového schématu jednotlivých bodů, které jsou orientovány pouze dle směru letu. Tyto souřadnicové údaje mohou být v následných krocích doplněny o informace čísla odrazu, intenzity, případně metadata. Takto upravené údaje lze distribuovat a ukládat do dvou základních forem datových setů v podobě textových a binárních formátů. Nejběžnějším univerzálním formátem tohoto typu (tzn. surových) dat je LAS. Tento typ uchovává nejen datové celky samotných souřadnic, ale také je možno přidružit další metadatové informace

(způsob pořízení dat, datum, údaje o letu a parametrech atp.). Umožňuje mimo jiné i import dat základní analýzy v podobě klasifikačních tříd individuálních bodů.

Klasifikace dat

Bodové mračno, které je výsledným produktem vlastního procesu skenování upravené již do podoby georeferencovaného datového souboru doplněného o potřebné metadatové záznamy, je nutné zpracovat do formy využitelné pro konkrétní požadavky zadavatele. Tato modifikace je uskutečněna prostřednictvím tzv. klasifikace dat. V této fázi jsou z původního datového souboru vytvářeny vrstvy specifických vlastností, rozumí se diferenciací jednotlivých bodů dle druhu objektu, jehož součástí jsou. Základní klasifikační třídy jsou zastoupeny čtyřmi druhy objektů: zástavba, vegetace, terén a objekty mimo zemský povrch. Klasifikace objektů mimo zemský povrch představuje detekci chybných odrazů od objektů v prostoru mezi skenerem a povrchem objektů hlavních klasifikačních tříd (pták, jiný letový nosič, elektrické vedení). Mezi podrobnější klasifikační kategorie náleží: body pod terénem, nízká vegetace, komunikace, hrubé chyby atp. (Kraus – Rieger 1999, 221-231; Dolanský 2005, 5; Oštir 2007, 8-11; Coluzzi et al 2010, 1 – 10).

Hlavním cílem klasifikace je tedy vymezit základní skupiny objektů jednotného typu a vytvořit vrstvu těchto bodů. V následné analýze dat jsou tyto podklady zdrojem informací o jednotlivých kategoriích objektů nad povrchem země, tak i samotného terénního pokryvu. Z bodů reprezentujících terén lze v následných krocích vygenerovat digitální model terénu z vegetačních tříd mapy porostů, ze zástavbové klasifikační třídy 3D modely měst.

Klasifikační procesy probíhají v prvotní fázi zcela automatizovaným postupem vzhledem k objemu dat. V další fázi je nutné ruční zpracování počítačově klasifikovaných mračen zejména z důvodu častého výskytu chybně klasifikovaných bodů. Tyto body reprezentují chybné objekty a zkreslují výsledné klasifikované komponenty. Ruční filtrace symbolizuje

tedy revizi datových souborů klasifikovaných tříd a korekci chybných údajů.

Metody klasifikace jsou odvozeny z několika atributových forem objektů. Především se jedná o výškové poměry, odrazivosti laserového paprsku či podle spektrálních vlastností získaných pomocí digitální komory (Dolanský 2005, 50). Základní metody klasifikace jsou: vyhledávání hrubých chyb (zpravidla osamocené body výškově se vymykající okolnímu průměru, body pod terénem), klasifikace bodů terénního pokryvu, vegetace (nízká, vysoká), zástavba, klasifikace pomocí analýzy výškových bodů (zpravidla při klasifikaci povrchu vegetačního pokryvu), strukturální analýza (aplikovatelná u rastrových dat, princip vyhledávání homogenních ploch vykazujících určitý stupeň entropie), analýza hodnot odrazivosti, analýza směru sklonu (princip určování směru sklonu sousedících bodů vůči světovým stranám, který umožňuje například určovat typ střech u budov), metoda profilová (vyhledává výškové anomálie v jednotlivých bodových řádcích), klasifikace bodů komunikací. Zvláštní klasifikační postup zastupuje klasifikace bodů terénní kostry. V tomto případě jsou body terénního pokryvu klasifikovány za účelem vytvoření jednoduššího modelu terénu pomocí triangulační sítě (TIN) symbolizující kostru vlastního terénu (důležité v oblasti archeologie) (Dolanský 2005, 53; Masini – Coluzzi – Lasaponara 2010, 263-290).

Úspěšnost automatizovaných postupů správné klasifikace výškových bodů značně závisí na ročním období, ve kterém byla data pořízena, tj. na stupni rozvinutí vegetace. Orientačně lze klasifikovat úspěšnost automatického zatřídění dat pořízených v období bez rozvinuté vegetace (březen – květen), na 90 % a naopak, v oblastech skenovaných později (červen – září) pouze na 30-40 %.

Filtrace dat

Filtrací označujeme proces, jehož hlavním cílem je detekce bodů prezentujících terénní pokryv dané oblasti, z nichž jsme následně schopni

vytvářet výsledný digitální model terénu. Hlavním úkolem filtračního postupu je tedy eliminace veškerých bodových prvků, které se nacházejí v prostoru nad povrchem terénu a neleží přímo na něm. Z hlediska vizuální analýzy není pro zpracovatele nijak náročné takovéto body definovat a následně odfiltrovat. Vzhledem k tomu, že velice často pracujeme s bodovými mračky obsahujícími řádově statisíce, miliony až miliardy jednotlivých bodů, je tento postup bez aplikace automatizovaných metod téměř nemožný. Primární filtrace dat tedy probíhá formou automatizovaných postupů na základě filtrace nežádoucích mračen bodů (předem nadefinovaných uživatelem) pomocí specializovaných počítačových systémů - například modulem SCOP++ či TerraScan od společnosti TerraSolid (**Tab. V**) (Kraus – Rieger 1999, 222; Dolanský 2005, 28 - 39; Gasior 2006, 17; Oštir 2007, 8-11; Coluzzi et al 2010, 1 – 10; Sharma et al. 2010, 2629-2642). Může probíhat v několika fázích dle subjektivních potřeb uživatele.

Technika filtrace závisí především na typu terénu, který chceme klasifikovat. Automatizovaná filtrace nalézá nejefektivnější uplatnění v oblastech s nízkou variabilitou výškových aspektů. V regionech, jejichž přírodní prostředí reprezentují hornaté či skalnaté pokryvy, dochází k enormnímu navýšení chybně filtrovaných či spíše nedofiltrovaných bodových prvků. Obdobný případ nastává v oblastech s hustou zástavbou, kdy je obtížné detekovat průběh vlastního terénu v důsledku přítomnosti mnoha člověkem produkovaných objektů.

Základními filtračními typy jsou morfologické filtry, filtry založené na porovnání sklonu a lineární predikce.

Aplikace morfologických filtrů je nejčastěji využívána pro účely zpracování digitálního obrazu z hlediska optimální rekonstrukce tvaru objektů. Tento typ filtru pracuje převážně s rastrovými typy dat, což je také jeho výrazná nevýhoda. Nutnou interpolací dat do rastrové podoby jsou data znehodnocována a zkreslena, dochází také ke ztrátě informací o průběhu reliéfu, čímž je negativně ovlivněn směr, který detekuje body

povrchu terénu. Tento typ filtru je vhodný pro regiony bez výrazné reliéfní heterogenity (Dolanský 2005, 28-34).

Filtry založené na porovnání sklonu pracují oproti morfologickým přímo s bodovým mračnem a nikoli s rastrovými daty. Lze je zařadit mezi nejjednodušší filtrovací praktiky, jejichž nejvyšší efektivita využití je v prostředí takových územních celků, u nichž je možné definovat maximální sklon terénu a z něj poté odvozovat a filtrovat body nadzemních částí reliéfu. Základním postupem této filtrační techniky je analýza výškového rozdílu testovaných bodů a definice jejich sklonu prostřednictvím vzájemné vzdálenosti (Dolanský 2005, 35-44).

Filtrace na bázi lineární predikce náleží ke statistickým algoritmům, zaměřeným na vyhledávání a detekci nejmenších čtverců. Samotná technika lineární predikce není filtrační metoda jako taková. Primárně se využívá při interpolačních transformacích bodového mračna do podoby rastru. V případech integrace této techniky do softwarů (SCOP++; BLUH) vytvářených pro zpracování datových celků leteckého laserového skenování, byla tato metoda modifikována a rozšířena o algoritmy umožňující provádět také vlastní filtraci jak původních neuspořádaných bodových mračen, tak i rastrových dat (Dolanský 2005, 44-48). Princip tohoto filtračního procesu definoval ve své práci M. Gasior jako: „Robustní interpolace neboli robustní lineární predikce kombinuje filtraci a interpolaci terénu a využívá hierarchický přístup podobný pyramidám. Tento algoritmus byl původně navržen pro zpracování dat z lesních oblastí. Nejprve je vypočten hrubý odhad průběhu povrchu. Následně jsou vypočítány orientované vzdálenosti jednotlivých bodů a každému bodu je na základě toho přidělena váha. Povrch je pak přepočítán s ohledem na tyto váhy. Bod s vysokou váhou bude snáze považován za bod na terénu, kdežto bod s nízkou váhou bude mít nízký vliv na průběh terénu. Zde také dochází k filtraci, pokud vzdálenost bodu od terénu převyšuje jistou mez, je bod úplně odstraněn.“ (Gasior 2006, 20).

Výše uvedené klasifikační a filtrační postupy jsou zpravidla součástí zakázky a provádí je poskytovatel. Ne vždy je tento krok tím správným z hlediska účelnosti dat. V oblasti archeologického využití produktů leteckého laserového skenování často narážíme na problém nechtěné filtrace klasifikačních tříd, které symbolizují nebo jsou součástí archeologických a historických lokalit a objektů. Konkrétní případ lze prezentovat v standardním postupu filtrování zástavbových partií modelu. V mnoha případech však tyto nemovité objekty či jejich části symbolizují stavby či jejich relikty určitého stáří. Prostřednictvím aplikace filtračních postupů přicházíme o informace o stavu dochování nadzemních partií objektů a zároveň je výrazně znesnadněna jejich interpretace (polohopisná, výškopisná, morfologická, dispoziční).

3.6.2.5 Přesnost leteckého laserového skenování

Současná nejmodernější technika leteckého laserového skenování podléhá neustále inovaci a zkvalitňování. I z tohoto důvodu lze pozorovat, jak velký vývoj z hlediska přesnosti se v této oblasti odehrál od počátku jeho masivního využívání. Současné systémy mohou dosahovat parametrů polohového rozlišení 5 – 10 centimetrů. Jedná se však o hodnoty interní přesnosti jednotlivých částí systému. Parametry komplexního hodnocení přesnosti systému jsou ovlivňovány celou řadou faktorů, které výsledné hodnoty většinou negativně upravují. Zejména pak procesy filtrace a klasifikace dat. Vertikální přesnost současných aparátů se tedy pohybuje v rozmezí 10 – 30 centimetrů. Předpokladem je však fakt neustále se zvyšujících hodnot přesnosti dat vzhledem k progresivnímu rozvoji GPS a IMU jako součástí laserových systémů (Lohmann – Koch 1999; Pavelka 2011, 28-29).

Letecké laserové skenování je analogickou technologií pro letecké měřické snímkování (LMS). Oproti fotogrammetrickému principu snímkování krajiny nabízí však zcela nové možnosti bezkontaktního získávání dat. Tato technologie v současné době již natolik pokročila, že lze zaznamenat nejen její masivní rozvoj v mnoha sférách výzkumu

krajiny, ale i v oblasti zkvalitňování topografických datových souborů jednotlivých zemí. V několika evropských státech se dokonce stala nástupcem předchozího vytváření digitálních modelů terénu z fotogrammetrických podkladů (Holandsko, část Německa, Švýcarsko atd.) (De Boer et al. 2005; Pavelka 2011, 17).

3.6.2.6 Tvorba produktů

Závěrečným krokem přípravy datových produktů leteckého laserového skenování je tvorba výstupů, které jsou předmětem následných analytických postupů variabilních vědeckých disciplin. Klasickým produktem jsou data v podobě textového formátu souboru. Nejčastějším typem souboru je tzv. ASCII či XYZ (*.asc; *.xyz). V těchto případech se jedná o data filtrovaná a klasifikovaná, primárně rozdělená dle jednotlivých typů výstupních datových celků. Informace, které tyto soubory obsahují, vyjadřují především hodnoty, týkající se elevačních parametrů terénu a topografických údajů jednotlivých objektů (vegetace, zástavba). Základní diferenciací spočívá v určení dat dle klasifikačních tříd. Jedná se o dva typy digitálních modelů.

V prvním případě se jedná o digitální model povrchu (DMP), často tento typ nalezneme také pod zkratkou DSM odvozenou z termínu Digital Surface Model, reprezentující povrch veškerých objektů, které se nacházejí v nadzemních partiích nad terénem (vegetace, zástavba atp.). Jeho produkce je odrazem hodnot tzv. prvních pulsů, představujících vrcholové partie objektů ležících na povrchu terénu (Kraus – Pfeifer 2001; Challis – Carey – Kinsey – Howard 2011, 301–311). K lepší orientaci v datových souborech reprezentujících jednotlivé třídy pokryvu slouží barevné rozlišení, které vyjadřuje intenzitu přijatého signálu při měření délek. Tím dochází k přiřazení jednotlivých kolorovacích atributů bodům různých klasifikačních kategorií.

Digitální model terénu (DMT) symbolizuje oproti předchozímu „holý“ povrch terénu bez jakékoliv přítomnosti vegetačního, zástavbového či jiného pokryvu. Také v tomto případě často narazíme na anglický termín

tohoto typu pod zkratkou DTM – Digital Terrain Model (Kraus – Pfeifer 2001, 23– 30; Wilson 2012, 107 - 121).

Posledním zde uvedeným datovým typem je tzv. digitální elevační (výškový) model (DEM). Tento pojem pochází původně z terminologie leteckého laserového skenování v oblasti Spojených států amerických a označujeme jím pravidelnou síť bodů, jejichž výškové hodnoty jsou ustaveny do státního výškového systému (v případě české republiky se jedná o systém Balt po vyrovnání - Bpv) (Kraus – Pfeifer 2001; Wilson 2012, 107 - 121). Zároveň tento model reprezentuje veškeré entity, jež jsou odrazem variability reliéfu nad povrchem terénu. Z hlediska tvorby digitálního elevačního modelu lze sledovat tři základní postupy:

- DEM vytvořený prostřednictvím Triangulated Irregular Network (TIN) – nejběžnější způsob tvorby DEM, metoda založená na vytvoření triangulační sítě navazujících a nepřekrývajících se trojúhelníků z bodového mračka, spojující všechny body v něm obsažené. Triangulační síť je vytvářena pomocí interpolačních postupů (Delaunayova interpolace, Kriging interpolace) (Humme et al. 2006). Hodnoty jednotlivých buněk jsou výstupy výpočtů založených na hodnotách šikmosti a tvaru trojúhelníků.

- DEM vygenerovaný pomocí tzv. Countours (vrstevnic)

- DEM vytvořený ve formátu GRID - rastrové zobrazení mračka bodů do podoby dvojrozměrné sítě, kde každá buňka má svoji vlastní výškovou hodnotu, jejíž hodnota je výsledkem aplikované interpolační metody (lineární predikce, Kriging) (Werbrouck 2010, 8179 – 8181; Tuominen – Haapanen 2011, 945 – 961; Wilson 2012, 107 - 121).

Z hlediska využitelnosti jednotlivých výstupů v archeologii zcela logicky dominuje digitální model terénu nad digitálním modelem povrchu. Slouží jako podkladový materiál procesů krajinných analýz a interpretačních technik.

Veškeré výše prezentované procesy jsou ve většině případů poskytovány a produkovány institucemi, jež jsou zároveň dodavateli dat leteckého laserového skenování. Tyto procesingové postupy je možno aplikovat i soukromě. Problémy, na které při osobním zpracování narazíme, spočívají především v často se vyskytující příliš nízké kvalitě hardwarového zařízení. Při práci s takto velkoobjemovými datovými komplety je nutné disponovat opravdu výkonným počítačovým přístrojem. Z hlediska softwarového vybavení dochází k rozdílné situaci v případě zpracování surových dat a v případě procesingu dat již filtrovaných a klasifikovaných (tvorba DEM, DTM, DSM). V případě „surových“ datových souborů se jako nejefektivnější metodou jeví využití specializovaných softwarových programů, vytvářených přímo pro zpracování dat laserového skenování. Z nejběžnějších zástupců tohoto typu uvádím program SCOP++ a finský software TerraScan od firmy Terra Solid. V oblasti tvorby vektorových či rastrových podkladů nalezneme výběr z opravdu rozsáhlé nabídky softwarů. Tyto algoritmické a interpolační procesy je schopna zvládnout většina programů založených na bázi Geografických informačních systémů (GIS). V současnosti lze zaznamenat mimo jiné také výrazný vzestup nabídky v oblasti publikací věnujících se přímo zpracování lidarových dat v prostředí tohoto typu softwarů.

Proces zpracování lidarových dat provází ještě jeden velice podstatný okruh problémů a tím je uchování datových celků. Před zahájením práce s daty laserového skenování je nutné si stanovit, s jakými daty budeme pracovat (surová či filtrovaná) a v jaké podobě budou ukládány výstupní produkty. Samozřejmě v tomto směru záleží především na velikosti analyzovaného území. Pokud budeme pracovat s regionem řádově jednotek či desítek kilometrů čtverečních, lze vstupní datové celky jak nefiltrované tak i filtrované uchovávat prostřednictvím interních či externích disků, případně pomocí jiných záznamových médií. V případě zpracování plošně větších celků se již musíme potýkat s velikostmi souborů v řádech desítek gigabytů či terabytů. To může vyvolávat problémy s formou uložení dat a jejich organizací. Identické okolnosti

jsme samozřejmě nuceni řešit také v případě výstupních produktů. Ideální řešení v tomto směru nabízí ukládání dat prostřednictvím vzdálené zálohovací služby komunikující prostřednictvím internetu. Z hlediska archivace datových výstupů se nabízí možnost databázového systému uložení výsledných produktů, případně vytvoření samostatného mapového portálu, který by poskytoval veškeré informace v digitální podobě, tím pádem zpřístupněné dalším uživatelům.

3.6.2.7 Vizualizace dat leteckého laserového skenování

Potenciál mapování archeologických lokalit na základě různých úhlů slunečního svitu byl prokázán již v roce 1920 O.G.S. Crawfordem (Crawford – Keiller 1928). Tento přístup se stal později základem archeologického leteckého průzkumu. Při práci na dokumentaci památek prostřednictvím leteckého průzkumu platí obecné pravidlo ideální kompozice při nízkém slunečním svitu, které zapříčiní prodloužení stínů na povrchu země, čímž dosáhneme vyššího stupně viditelnosti a detekovatelnosti objektů. Proto se většina prospekčních letů odehrává v ranních či podvečerních hodinách. Negativní faktor, kterému v tomto případě musíme čelit, je omezená možnost objevení takových archeologických objektů, které jsou v důsledku nasvícení krajiny pod jistým úhlem téměř neviditelné. Tímto způsobem ztrácíme informace vytvářející interpretační vyhodnocení (Devereux et al. 2008, 470).

Určitý způsob, jak tyto omezující faktory eliminovat, poskytuje sféra fotogrammetrického stereoskopického snímkování krajiny, avšak využití této techniky je často časově i finančně značně náročnou záležitostí a práce s proměnami hodnot náklonu slunečního svitu dosti složitá (Devereux et al. 2008, 470).

Dominantní technologií, umožňující pracovat s prostředím slunečního svitu a jeho transformacemi je letecké laserové skenování. Pomocí aplikací vizualizačních algoritmů jsme schopni měnit parametry

rastrového podkladu a zlepšovat tak možnosti zpracování z hlediska prospekčních technik (Bennett et al. 2012, 41 – 48).

Nejčastějším typem náhledových technik je vizualizace elevačních hodnot dle graduity barvy a svažitosti terénu. Tento vizualizační model bývá zpravidla prvním náhledem, vygenerovaným z digitálního elevačního modelu. Celkový počet vizualizačních technik se v současné době pohybuje okolo 8 – 9 aplikací. Ne všechny z tohoto počtu jsou již plně dokončeny, část z nich se nachází stále ještě ve fázi demo aplikací.

- **Shaded Relief, Hillshade** - představuje stínovaný výškový model reliéfu krajiny vygenerovaný po odfiltrování vegetačních a zástavbových bodových mračen. Odstíny šedi zvyšují vnímání morfologie reliéfu. V tomto případě lze pracovat s aspektem náklonu slunečního svitu. Úhel zenitu a azimutu se dá nastavit; defaultně je to 315 azimut a 45° úhel – výsledný efekt vzniká kombinací světelných faktorů a diferentních hodnot elevace a orientace mikroreliéfu. Jednotné „nasvícení“ není nejvíce efektivní, neboť jsou-li objekty postaveny paralelně k úhlu azimutu, nevytvoří stín. Je vhodný pro prvotní zobrazení dané situace. Výstupy tvoří výchozí podkladovou vrstvu pro analytickou a interpretační fázi detekovaných objektů. Vhodný pro objekty s nízkou výškovou variabilitou, situovaných na ploše s nízkým terénním převýšením. V některých případech vyvolává obtížnou determinaci konkávnosti a konvexnosti objektů. Dobře referuje o plasticitě objektu a jeho morfologii, je jednoduché jej vytvořit i interpretovat (Devereux et al. 2008, 470-479; Challis et al. 2008; 1055 – 1064).

- **Slope shader** - prvotní derivát stínového modelu terénu. Pracuje na bázi záměrného zvýšení kontrastní vizualizace terénních přechodů. Výhodou je velice snadný výpočet. Funkce je obsažena ve většině softwarů geografických informačních systémů. Velice efektivně pracuje v kombinaci se stínovým modelem. Aplikovatelné na výškově heterogenní krajinné typy. Z hlediska vlastní interpretace nevhodné využití jako samostatné metody, výstupy je nutné konfrontovat s dalšími (hillshade,

sky-view faktor). Výstupy mohou být zviditelněny ve spektru odstínů šedi stejně tak jako ve spektru barevném (Devereux et al. 2008, 470-479; McCoy et al. 2010).

- **Color spectrum** - možné volit na základě rozvržení barev dle výškových parametrů území. Metoda pracuje na základě rozložení plochy do stejnoměrných výškových proužků, jež jsou následně kolorovány v závislosti na výšce každého z nich. Tzv. „colorcoding“ schéma je opakováno pro interval každého pruhu. Tato technika je užitečná hlavně v místech primárně plochých reliéfů (např. paleo-ramen řek), neboť dokáže definovat pruhy jako vrstevnice v příkrém členitém terénu. Výsledek se dá dále kombinovat s analytickým stínováním (hill-shading). Zpravidla je nutné manuální nastavení rozptylu barevného spektra na základě výškového rozsahu pro zvýraznění výškově nevýrazných rozdílů.

- **Analýza hlavních komponent (PCA)** – pracuje na základě aplikace analýzy hlavních komponent na bázi pravidelných polohových změn náklonu slunečního svitu a vyhledávání korelací mezi jednotlivými výstupy. Obrázky tvořené z několika úhlů osvětlení vzájemně vysoce korelují, je možné je matematicky transformovat do analýzy hlavních komponent (PCA), Analýza hlavních komponent transformovala vstupní DTM tak, aby vyhledávání objektů bylo snazší. Hlavní podíl odchylek je asociován s homogenní plochou, kde jsou lokalizované povrchové anomálie přeneseny do pozdějších komponent, které obsahují menší celkové odchylky v souboru. Počet jednotlivých dimenzí slunečního náklonu je určen manuálně (zpravidla v rozmezí 16 - 64). Po aplikaci získáme vygenerovaný počet vizualizačních výstupů, z nichž první tři obsahuje 99% informace z celého souboru. Proto mohou vytvořit bázi pro vizualizaci všech směrů stínování s minimální ztrátou archeologické informace. PCA, zvláště v kombinaci s první a druhou hlavní komponentou nebo přidružení RGB prvních tří, zjednodušuje interpretaci vícenásobného stínování. Uživatel je schopen volit nastavení podmínek snímání jednotlivých dimenzí. Tato technika neposkytuje konzistentní výsledky s diferentními soubory dat (vždy je nutné brát konkrétní

analyzovaný soubor jako solitérní, specifikum a pokusit se nalézt optimální nastavení podmínek efektivního zpracování pomocí PCA). Tato metoda efektivně odstraňuje informační redundanci souboru. Opět se zde setkáváme s obtížným rozlišením konkávních a konvexních objektů (Devereux et al. 2008, 470-479; Challis et al. 2008; 1055 – 1064; Kokalj et al. 2011b, 113 – 119).

- **Sky - view faktor** – simulace nasvícení plochy z uzavřené polokoule, pokrývající celý analyzovaný prostor. Nasvícení není z jednoho bodu, ale simuluje záři slunečních paprsků z celého prostoru polokoule. Podkladovou vrstvu tvoří zpravidla stínovaný model. SVF je alternativní metodou mapování reliéfu. Původ metody pochází z geofyziky. Princip metody je založen na měření části nebe viditelného z určitého bodu nebo vyjadřuje podíl mezi viditelnou částí oblohy a částí zastíněnou viděno ze specifického místa pozorování. Algoritmus spočívá na výpočtu úhlu horizontu γ v n (různých) směrech při specifikovaném radiu R . Elevační úhel je determinován do více směrů a vzdáleností. Časté použití této metody je při sledování dopadu slunečního světla na určitou plochu. Zvýrazňuje malé prvky reliéfu, přičemž zachovává původní topografii. Místo toho, aby prezentovala vizualizaci té samé informace novým způsobem, extrahuje informaci, která může být dále zpracována. Metoda vyhovuje i jiným vědním odvětvím, než je archeologie (geografie, kartografie atd..) (**Tab. XI.**). Výpočet Sky-view faktoru je založen na rozptylu světla. Imaginární zdroj světla osvětluje povrch reliéfu z nebeské hemisféry. Část viditelného nebe limitovaná horizontem (nebo terénem) se shoduje se světlem reliéfu, hrana je více osvětlená nežli dno příkrého údolí, protože z hrany vidíme více z nebe. Světlo dopadající z nebe na určitou část povrchu je redukováno překážkami formujícími horizont. Tyto překážky mohou být popsány ve všech směrech úhlem vertikální elevace nad horizontální rovinou. Oproti standardně používanému Hillshadu má Sky view factor tu výhodu, že reflektuje množství světla, které dopadne na objekt bez ohledu na jeho polohu. Je to dáno tím, že optimální vizualizace některých prvků nesouvisí s přímou interpretací jednotlivých pixelů, ale s

tím jak vystupují v kontextu jejich blízkého okolí (počítá je z jiných). Sky - view faktor může být do budoucna prvním krokem k tvorbě poloautomatického rozpoznávání objektů. Velice dobře rozlišitelná konkávnost a konvexnost objektů. Dá se efektivně aplikovat při výzkumu reliktních, tvořících určitou jednotnou situaci (areál aktivity). Vhodné například pro detekci a analýzu těžebních objektů (Challis et al. 2008; 1055 – 1064; Kokalj et al. 2011a; Kokalj et al. 2011b, 113 – 119; Zakšek et al. 2011, 398 – 415).

- **Trend Removal / Local Relief Model** – záměrné snížení výškové škály souboru do rozsahově striktně omezeného výškového spektra menších hodnot, než obsahoval původní soubor (pracuje i se zápornými hodnotami). Tím jsme schopni zachytit i takové objekty, jejichž výškové atributy nejsou výrazné a tím pádem je pravděpodobné, že při klasickém výškovém vizualizačním rozptylu zanikají. V tomto případě má uživatel možnost volby typu „vyhlazovacího“ algoritmu. Aplikace Trend removal představuje postup, kdy jsou separovány lokální objekty malých rozměrů z rozsáhlých krajinných forem. Produktem je tzv. local relief model, který může být nadále použit jako vstupní formát pro další vizualizace pomocí jiných metod. Vždy záleží na cílové skupině objektů, které se pokoušíme rozeznat – důležitý aspekt volby výpočetního algoritmu (Hesse 2010, 67 – 72) (**Tab. X.**).

- **Solar insolation** – metoda vizualizační techniky solární insolance pracuje na bázi odhalování množství sluneční energie přijaté na povrchu terénu. Globální solární insolanční mapy jsou nejlepšími podklady pro archeologické interpretace. Mapy přímého slunečního záření se potýkají se stejnými problémy jako vizualizace v podobě hillshadu, zatímco mapy rozptýleného slunečního záření jsou obdobné jako výstupy vizualizačního algoritmu sky-view faktor, jsou ale daleko více generalizovány. Globální insolanční mapy zachovávají smysl pro obecnou topografii. Nicméně, výpočty jsou složité a časově náročné. Dostí záleží na nastavení optimálních parametrů výpočetního procesu (Kokalj et al. 2011a).

- **Exaggerated relief** - u standardních zobrazovacích metod založených na lokálním nebo globálním osvětlení může být obtížné zobrazit detaily všude na povrchu, protože jemné struktury lze obvykle odhalit pouze v určitém úhlu osvětlovacího tělesa. Proto, aby bylo možno automatizovaně nastavit co nejefektivnější úhel nasvícení pro zvýraznění veškerých detailů, byl vytvořen početní algoritmus. Jeho primárním cílem je zprostředkování viditelnosti detailů a celkového tvaru objektu či terénu, jak je to jen možné. Základní výzkum pracuje s nefotorealistickým stínovým modelem a je založen na praktikách dynamického nastavení efektivní světelné pozice pro různé oblasti na povrchu. Odhaluje detaily bez ohledu na orientaci povrchu a prostřednictvím vícerozměrových analýz je navržen tak, aby zprostředkoval detaily na všech místech povrchu současně (Rusinkiewicz et al. 2006).

- **Accessibility shading** - tato, ve fotografickém světě standardně využívaná technika, je navržena pro účely eliminace stínů, které vznikají v důsledku přítomnosti ostře konkávních či konvexních tvarů (Hesse 2012, ústní sdělení).

Morfologické znaky jednotlivých objektů a povrchu terénu se dají také zvýraznit aritmetickými operacemi, klasifikací, analýzou viditelnosti, procedurami s překryvy vrstev aj.

Vizualizační techniky slouží primárně pro účely detekce co nejvyššího počtu potenciálních archeologických lokalit. Jejich aplikace je vždy vázána na morfologické aspekty krajiny a typologii antropogenních terénních subjektů. Analytická fáze vizualizačního zpracování datových souborů leteckého laserového skenování je prvním stupněm k vytváření kvalitních a dále využitelných podkladových vrstev. Je zřejmé, že technika leteckého laserového skenování v sobě skýtá nepřeberné možnosti využití. S její pomocí jsme schopni odhalovat skryté, klasickou metodou obtížně odhalitelné situace, které vypovídají o minulosti lidského chování.

3.6.2.7.1 Distribuce vizualizačních algoritmů

Výše prezentované vizualizační algoritmy lze vymezit také dle formy jejich dostupnosti na trhu. Částečně jsou některé z nich již dlouhodobě integrovanou součástí většiny softwarového vybavení geografických informačních systémů. Konkrétně se jedná o vizualizace v podobě stínovaného modelu, vizualizací generovaných prostřednictvím slope analýzy a color spectrum.

V případě vizualizační techniky PCA je situace poněkud diferentní. Tuto vizualizační techniku lze, společně s dalšími (slope analýza a solarinsolation) v současné době získat v podobě nadstavbové aplikace, primárně integrovatelné do softwarů aplikace ArcGis. Tato nadstavba je do prostředí softwarů ArcMap vkládána prostřednictvím přidané toolboxové formy. Zároveň je však možné analýzu PCA vytvořit postupným zadáváním určitých příkazových funkcí algoritmických výpočtů a vytvářet ji zcela nezávisle na přítomnosti toolboxového rozšíření.

Vizualizační metoda sky-view faktor je v současnosti k dispozici jakožto freewareová samostatně funkční aplikace, jejíž výsledky mohou být vizualizovány v prostředí geografických softwarových systémů a prohlížečů (např. software IDL firmy EXELIS). Druhou variantu představuje aplikace, jež je navržena pro hlavní produktový software firmy EXELIS program ENVI (produkt americké společnosti ITT Visual Information Solutions, řadící se k předním softwarům pro předzpracování, zobrazování, analýzu a sdílení dat dálkového průzkumu Země) (Kokalj et al. 2011a; Zakšek et al. 2011).

Metody jako je trend removal, localrelief model, exaggerated relief a accessibility shadings jsou technikami, které se v současné době nacházejí ve vývojové fázi formování do výsledné podoby softwarů určených pro zpracování lidarových dat. V současnosti zatím nikde nejsou k dispozici v podobě samostatně funkčních softwarů a jejich použití je možné pouze prostřednictvím jednotlivých funkcí sofistikovaných programů. Stávající stav vývoje těchto produktů, jako samostatně a

jednoduše aplikovatelných programů je na samé hranici dokončení (Hesse, ústní sdělení, květen 2012). Prostředí, ve kterém je možné lidarová data zpracovávat pomocí těchto praktik je software ENVI.

3.6.3 Letecké snímkování

Do této kategorie zahrnují data pořizovaná oběma způsoby výše definovaných postupů snímání. Základní selekce leteckých snímků je tedy vymezena odvozením přístupu získání dat.

3.6.3.1 Šikmé snímkování

Vizuální průzkum z nízko letícího letadla je činnost, jejíž hlavní cílem je vyhledávání, detekce, dokumentace a evidence objektů, jež jsou odrazem lidských aktivit v minulosti. Tyto objekty mohou být jak v podobě zcela destruovaných situací, jejichž přítomnost jsme schopni reflektovat pouze prostřednictvím určitých typů příznaků na povrchu reliéfu, tak i ve formě nadzemních, do dnešní doby zachovaných reliktních původních komponent. Součástí letecké archeologie tohoto typu je také oblast dokumentačního snímkování historických památek, sledování krajinných změn a odrazů reflektujících historickou krajinu v současném terénu. Důležitou kategorií zastává také výzkum tzv. land-use krajinných celků a transformačních aspektů (přírodních i lidských), jež neustále výrazně ovlivňují krajinný charakter (Gojda 2004, 75).

Terénní fáze letecké prospekce je z hlediska metodologického postupu, činností syntetického sběru dat daného polygonu. Charakteristika této činnosti jako syntetické vychází z faktu nutného vyhodnocování (tvorby syntézy) již v průběhu vlastního letu a snímkování krajiny. Archeolog je v průběhu letecké prospekce nucen provádět jak prospekci krajiny (analytická funkce), tak i vyhodnocovat a determinovat potenciální archeologické situace (Šmejda 2009, 55). Tento postup, společně s dalšími faktory je často nejvíce limitujícím prvkem letecké archeologie nízko letících jednotek. Mezi další aspekty výrazně ovlivňující

výstupní data letecké dokumentace pomocí šikmého snímkování náleží: volba časového horizontu uskutečnění letu, intenzita slunečního svitu, viditelnostní podmínky povrchových indikátorů lokalit, roční období (stav zralosti vegetace, intenzita sněžení), subjektivní přístup badatele, nutnost vykonávat více činností naráz (navigace, dokumentace, prospekce, monitoring, evidence) (Gojda 2004, 94), záměrná či podvědomá orientace prospekční činnosti na morfologicky individuální cíle, cílové využití výstupních dat atd. (Wilson 2000, 32 – 33; Šmejda 2009, 55-56). Výhodou tohoto typu je především jeho flexibilita a možnosti plánování jednotlivých letů dle konkrétních potřeb projektu. Zároveň je snazší zaregistrovat jednotlivé objekty a utvořit si reálnou představu o jejich lokalizaci v krajinné sféře při průzkumu přímo z letadla než pouhou vizuální prospekci neživých, nedynamických snímků. Faktor, který také přispívá ke zvýšení kvality šikmého snímkování, je možnost iteračního přístupu sběru dle konkrétního harmonogramu, a to za podmínek, jaké si zadavatel naprojektuje.

3.6.3.2 Kolmé snímkování

Technika kolmého snímkování není v české archeologii příliš rozvinutou metodou. Jen několik málo prací se v historii české archeologie zabývalo využitím kolmých leteckých snímků (Brož 2010; Čulíková 2010; Šmejda 2010; Gojda 2011). Jistou výjimku, zabývající se systematickou analýzou tohoto typu dat, možnostmi zpracování, vyhodnocení potenciálu a komparací s dalšími zdroji dálkového průzkumu země se ve své disertační práci (publikována v roce 2009) věnoval L. Šmejda (Šmejda 2009).

Vertikální letecké snímky, jakožto informační zdroj v archeologii, disponují celou řadou pozitivních, ale také limitních vlastností. Nespornou výhodou tohoto typu dat je možnost jejich daleko kvalitnějšího a jednoduššího zpracování. Také tento typ dat je nutné v první řadě transformovat do podoby rektifikovaného a georeferencovaného výstupu, ovšem vzhledem k známým parametrům pořizování snímků (měřické

body), dostatku kontrolních bodů pro mapování a metodice snímkování (překryvné snímky z minimálně 60%) je tento transformační proces daleko přesnější (Wilson 2000, 32 – 33; Šmejda 2009, 58-60).

Kolmé letecké snímky jsou systematicky shromažďovaným zdrojem poskytujícím údaje o navazujících, komplexních krajinných transektech. Analýza dat a samozřejmě také jejich syntéza a interpretace jsou kroky prováděné až po skončení terénní dokumentační činnosti. K dalším pozitivům vertikálních fotografií je nutné přidat eventualitu práce s archivy tohoto snímkovacího modelu (Šmejda 2009, 56). Nejrozsáhlejší kolekcí kolmých leteckých snímků představují britský archiv The Aerial Reconnaissance Archive (TARA) a archiv National Archive and Records Administration (NARA), umístěný ve Spojených státech amerických. V Čechách nalezneme historické i soudobé vertikální snímky ve Vojenském geografickém a hydrometeorologickém úřadě v Dobrušce. Tyto archivy představují z hlediska historické výpovědní hodnoty neocenitelný zdroj.

Negativní strana se projevuje obzvláště v oblasti absence optimálních podmínek snímkování pro účely archeologické prospekce a detekce možných lokalit. Období snímkování je převážně situováno do doby po sklizni vegetačního pokryvu (z důvodů co nejlépe viditelného povrchu terénu, který lze nadále prostřednictvím fotogrammetrických transformací generovat do podoby digitálního modelu terénu), tím pádem hlavní záměr detekce objektů prostřednictvím porostových příznaků ztrácí význam. Také denní doba tvorby vertikálních snímků nebývá optimální (snímkování záměrně neprobíhá v ranních či večerních hodinách tzv. „dlouhých“ stínů, ale při slunečním svitu, který co nejméně narušuje a zkresluje čitelnost terénu (Šmejda 2009, 57-58).

Oba výše popisované typy letecké archeologie pracují na bázi detekce jednotlivých objektů (komponent), komplexů či areálů (Neustupný 2010, 150 – 159). prostřednictvím indikačních příznaků na povrchu terénu. V této práci se tématu principů detekce archeologických lokalit nebudu nijak blíže zabývat, vzhledem k faktu již několikrát opakovaného

publikovaného detailního popisu jejich charakteristiky (Gojda 1996; Gojda 1997; Wilson 2000, 38 -87; Gojda 2004a; Gojda 2004b; Šmejda 2009). V této oblasti bych pouze uvedla aktuální práce nového přístupu analýzy závislosti a vlivu přítomnosti a viditelnosti archeologických objektů na pedologických, botanických a geologických podmínkách (Hejcman - Smrž 2010; Gojda – Hejcman 2012).

3.6.3.3 Analýza leteckých snímků

Metodologický přístup zpracování dat provázející tuto techniku prošel za dobu trvání využívání tohoto typu archeologického výzkumu opakovanými modifikacemi a inovacemi (Riley 1945; 1985). Jeden z nejkompexnějších a stále aktuálních popisů a definic metodického postupu šikmého snímkování vytvořil v roce 1993 R. Palmer (Palmer – Cox 1993, 1-12). Zpracování leteckých snímků klasifikuje do šesti o sobě jdoucích kroků (Palmer – Cox 1993, 2 ; Šmejda 2009, 75):

1. vytvoření jednotné kolekce veškerých dostupných snímků konkrétní lokality a jejich klasifikaci (šikmé, kolmé)
2. komparativní interpretace snímků – založena na zhodnocení využitelnosti jednotlivých snímků v následujících fázích zpracování (selekce snímků vhodných pro rektifikaci, výběr snímků detailních záběrů objektů pro následnou digitalizaci)
3. rektifikace – „narovnání“ leteckých snímků, v této fázi jsou snímky transformovány z původního výstupního zobrazení fotoaparátu na mapový podklad či plán, čímž je do určité míry (dle typu aplikované transformace, distorze původního snímku a možného aplikovatelného počtu vlíčovacích bodů) eliminováno perspektivní zkreslení a vertikální variabilita
4. kompilace – digitalizace jednotlivých zachycených objektů, snaha o co možná nejkvalitnější zachycení skutečné podoby komponent

(výběr sekundárních snímků, splňujících dané podmínky, zpravidla se jedná o fotografie detailů objektů)

5. závěrečná editace – tvorba výstupních plánů, archivace dat (viz. Bewley et al. 1999)

6. písemná zpráva

3.6.3.4 Interpretace dat leteckého průzkumu

Interpretace dat v obecné rovině značí proces završující předchozí výzkum daného celku z hlediska analýzy, deskripce a syntézy (Neustupný 2007). Primárním účelem interpretační fáze každého projektu je snaha o co možná nejkvalitnější či nejkompaktnější popis dané situace z hlediska cílových potřeb projektu (funkční determinace, chronologické vymezení, symbolický význam, relační vazby atd.). Ve zpracování dat letecké archeologie dochází k poněkud jiné situaci. Také v této kategorii jsou finální výstupy interpretačním souborem získaných informací a jejich vyhodnocení, ale nelze říci, že tato interpretace je jedinou ve zpracovatelském postupu. V případě aplikace prospekčních letů nízko letících letounů je badatel nucen vytvářet primární interpretaci již v průběhu samotné terénní aktivity. Již v této první fázi určuje a determinuje (samozřejmě zpravidla dle empirických zkušeností a subjektivních pocitů) typy objektů potenciálních archeologických lokalit.

Při zpracování leteckých fotografií je interpretace fází předcházející etapě mapování odhalených entit. Výsledný plán těchto dvou aplikací je produktem v podobě interpretačního modelu dané situace vytvořeného dle konkrétních cílů daného výzkumu (Palmer 1989; Palmer 2005; Palmer – Cowley 2010, 129 - 135). Již při vytváření primárního, testovacího modelu na počátku projektu je proto žádoucí jasné vymezení kardinálních cílů a volby testovacích metod.

Za interpretaci jako takovou je však považována fáze popisu syntézou vyhodnocených dat. V případě letecké archeologie (jak šikmých,

tak i vertikálních snímků) hrají při interpretačních postupech nesmírně významnou roli čtyři hlavní aspekty (Wilson 2000, 210 – 212):

1. dobrá orientace v dané problematice z hlediska metodologie - obeznámení se s principy viditelnosti a detekce objektů (vznik terénních anomálií - vegetačních, půdních, sněžných, stínových, geologických atd.)

2. kvalitní fotografická základna

3. dobrá obeznámenost s praktikami technického zpracování snímků, dlouhodobější praxe vyhodnocování objektů

4. analytický postup aplikace komparačních, verifikačních metod.

Základní otázky, které si badatel klade v počáteční fázi interpretace, jsou (Wilson 200, 217):

Jaké entity lze detekovat z dané fotografie?

Co si myslím, že znamenají?

Abychom našli odpověď na tyto základní otázky, je nutné splňovat podmínky výše uvedených aspektů kvalitní interpretační činnosti. Nepochybnou výhodou je dlouhodobá praxe, využití co možná nejširšího spektra verifikačních metod (nejen striktně archeologických) a iterativní přístup.

Dosti často se letecká archeologie setkává s kritikou přílišné individualizace a subjektivizace interpretačních praktik. Specializovaní badatelé letecké archeologie se tomuto faktu nebrání ani nevyhýbají. Považují jej za přirozený aspekt věci (Palmer 1989; Palmer 2005; Šmejda 2009, 77). Jejich hlavní snahou je tuto skutečnost ne zcela eliminovat (není možno), ale snižovat stupeň interobservační variability a vytváření výstupů v podobě standardizovaných, všeobecně uznávaných forem (Šmejda 2009, 77). Proces redukce subjektivizace závisí zejména na kvantitativních a kvalitativních parametrech znalostí badatele. Kvantitativní rovina je odrazem kumulativního nárůstu znalostí a

zkušeností výzkumníka v závislosti na počtu dosavadních zpracovaných situací. Kvalitativní podoba informovanosti interpreta je odrazem jeho obeznámenosti s metodickými postupy analýzy, interpretace snímků a s metodami mapování objektů (Šmejda 2009, 77). Do této oblasti spadá také míra znalosti badatele ve sférách verifikačních metod, jež jsou významným elementem vylučujícím nesprávné interpretační hypotézy.

3.6.3.5 Typologie objektů letecké archeologie

Objekty letecké archeologie a dálkového průzkumu Země lze na základě jejich primárního zpracování hodnotit pouze z hlediska morfologického a polohopisného. Pro podrobnější archeologické zařazení je nutné v první řadě tyto entity chronologicky klasifikovat a determinovat jejich funkční a symbolickou charakteristiku.

3.6.3.5.1 Morfologie objektů

V měřítku publikovaných a stále využívaných systémů morfologické determinace objektů dominuje systém britský systém MORPH (Edis – MacLeod – Bewley 1989). Tento model byl vytvořen v rámci programu National Mapping Programme na základě systematické dlouhodobé analýzy leteckých snímků současných i historických (od dob O.G.S.Crawforda). Díky této podrobné analýze mohl být vygenerován jeden z dodnes nejefektivnějších a nejpropracovanějších morfologických systémů vůbec. Z dalších, specifitějších systémů, uvádím morfologickou soustavu kartografických značek pro mapování objektů leteckých snímků panchromatického spektra (Riley 1945; Riley et al. 1985), typologické a morfologické vymezení objektů letecké prospekce publikované D.R. Wilsonem (Wilson 2000, 88-209), morfologický systém objektů detekovaných v průběhu výzkumu laténského hradiště Danebury (Palmer 1984) či pravěkých lokalit v oblasti britského Wessexu (Palmer 1983) atd.

V rámci České republiky se morfologickému vymezení objektů letecké archeologie zabýval M. Gojda, který v roce 1997 publikoval typologii vytvořenou z archivu snímkaných lokalit od roku 1992. Celkový počet se pohyboval okolo 280 situací detekovaných prostřednictvím porostových a půdních příznaků (Gojda 1997a, 37; Gojda 1997b, 96). Jeho grafické a vizuální vyjádření jednotlivých entit je dodnes nejucelenějším a ve své podstatě ojedinělým výstupem charakterizujícím morfologii archeologických komponent letecké archeologie v Čechách.

3.6.4 Družicové nosiče

Z hlediska praktické stránky pořizování datových souborů se jeví aplikace družicových nosičů jako optimální řešení z mnoha aspektů. Tento fakt je známý již od samého počátku dálkového průzkumu, který byl fakticky založen právě na bázi kosmického snímkování povrchu Země. Oproti leteckým nosičům má družicové snímkování několik nesporných pozitiv:

1. Možnost rozsáhlejšího snímaného záběru krajiny při mnohem menších úhlových rozptylech, v závislosti na vysokých výškách družicových přeletů. Díky tomu jsme schopni pojmout mnohem komplexnější pohled na konkrétní situaci v daný okamžik.
2. Možnost iteračního přístupu k snímkování.
3. Výběr možnosti oběžných drah družic v závislosti na žádoucí kvalitě snímků.
4. Bezprostřední přístup k datovým zdrojům, hned po jejich nasnímání skýtá možnosti pracovat s aktuálními snímky (Halounová – Pavelka, 2005, 80-83).

Přehled pozitivních aspektů družicového dálkového průzkumu Země prezentuje tuto techniku jakožto vysoce kvalitativně perspektivní. Avšak negativa, která tento typ dálkového průzkumu provází, snižují jeho

účelnost při využití v archeologii. Jedná se v první řadě o nutnou akceptaci předem nastavených parametrů snímání bez možného vlivu lidského faktoru dle konkrétních potřeb výzkumu. Produkty, jež jsou nám k dispozici, reprezentují datové výstupy předem naprogramovaného systému, který nelze objektivně upravovat dle aktuálních potřeb uživatele. Druhé výrazné negativum úzce souvisí s meteorologickými podmínkami, které v okamžiku pořizování dat panují. Družicové systémy nejsou schopny pronikat oblačností, proto pokud v daném snímávacím čase panuje nepříznivé počasí a vysoká mračnost, je pravděpodobné, že výsledky snímání budou tímto narušeny. Předejít této komplikaci se dá jedině opakovaným snímáním.

Družicové systémy jsou v současnosti již plně rozvinutou oblastí dálkového průzkumu Země. Od 50. let 20. století, kdy byla poprvé vypuštěna umělá družice na oběžnou dráhu, družicové systémy prošly několika vývojovými etapami a v dnešní době již získáváme data ze špičkových přístrojů s vysokou přesností a rozlišovacími schopnostmi. Hlavní kategorie družicových systémů lze rozčlenit na základě jejich primární funkce a účelu.

- Meteorologické systémy – jsou hlavním zdrojem informací o počasí a atmosférických změnách, jejichž využití nacházíme při každodenních potřebách. Tyto systémy dále dělíme na geostacionární družice a družice na polárních drahách. Družice geostacionární, vykonávající jeden oběh kolem Země v rozmezí 24 hodin, jsou stacionárně umístěné nad určitým poledníkem a operují ve výšce cca 36 000 km, což je pro účely dálkového průzkumu Země zcela nepraktické. K nejběžnějším z nich náleží Meteosat. Družice na polárních drahách se vyznačují vyšším a lepším geometrickým rozlišením a pracují na principu oběhu Země ve směru sever – jih za cca 90-100 minut ve výšce 600-1200 km. Hlavním zástupcem tohoto typu je americká meteorologická organizace National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) spravující veškeré operační družicové systémy v USA (družice Tiros-N,

skenovací systém AVHRR, družice Nimbus 7) (Halounová – Pavelka 2005, 112-188).

- Vojenské průzkumné družice – od dob vypuštění prvních vojenských družicových systému pod správou zemí jako bývalé SSSR a USA se s nástupem rozvoje kosmické technologie byly do tohoto průzkumného programu schopny zapojit i další ekonomicky a technicky vyspělé země jako je Čína, Indie, Japonsko, Velká Británie, Francie. V dnešní době jsou vojenské průzkumné družicové systémy již součástí obranného a výstražného programu všech vyspělých států – evropská vojenská družice HELIOS či čínská družice ZY (Halounová – Pavelka 2005, 118-119).

- Pilotované kosmické lety – tuto kategorii prezentuje dlouholetý projekt snímkování zemského povrchu z mezinárodní, trvale obydlené šesti člennou posádkou, vesmírné stanice ISS, obíhající Zemi ve výšce 350 km s periodou oběhu 92 minut (Halounová – Pavelka 2005, 119-120).

- Družice pro dálkový průzkum Země – současný stav této oblasti lze zhodnotit jako velice pokročilý ve srovnání se situací zhruba před dvaceti lety. Přelom tisíciletí znamenal pro dálkový průzkum Země inovativní události v podobě vstupu komerčního, privátního sektoru do dříve uzavřené sféry vědeckých a vojenských praktik. Dnešní systémy, které jsou pro dálkový průzkum Země k dispozici, nabízejí širokou škálu různorodých aparatur využitelných v oblasti fotogrammetrie, stejně tak jako mapování a prospekce oblastí pomocí družicových a radarových systémů. Přehledný výčet aktuálních hlavních družicových systému publikoval nedávnou M. Gojda společně s J. Johnem v článku zaměřeném na zhodnocení potenciálu přínosu satelitního snímkování v archeologii a využitelnosti zdrojů družicových dat v oblasti archeologické prospekce (Gojda – John 2009, 473-480) a L. Šmejda, který se kategorií družicového snímkování zabýval ve své práci z roku 2009 (Šmejda 2009).

Pro podrobnější výčet známých družicových systémů, včetně jejich technického a kategorického popisu nalezneme ve studijních skriptech

Českého vysokého učení technického z roku 2005, kde je uveden i přehled internetových portálů, orientovaných na evropské i světové družicové systémy (Halounová – Pavelka 2005).

3.7 Vliv přírodních determinantů na dálkový průzkum Země

Pořizování dat dálkového průzkumu Země podléhá mnoha aspektům, jež formují a ovlivňují podobu a kvalitu výsledných datových souborů. Z toho vyplývá nutná akceptace kvalitativních limitů dat, které jsou způsobeny mimo jiné přírodními podmínkami, působícími při vytváření datových výstupů.

Vegetační pokryv – flóra tvoří nedílnou součást zemského povrchu a její přítomnosti se není možné vyhnout. To je také důvod k bedlivému rozvržení práce s datovými soubory od jejich počáteční produkce, přičemž se vegetační pokryv zákonitě stává jistou formou překážky, ke zpracování, kdy se musíme zabývat otázkou filtračního algoritmu vegetačního pokryvu a tvorby typu podkladových vrstev. Tento postup je dodržován v případech cíleného generování takových podkladových úrovní zobrazujících digitální model terénu bez přítomnosti rostlinného pásma. Tato data jsou posléze využívána v mnoha oborových sférách (archeologie, mapování, geodézie), mapujících anomálie v rámci reliéfního povrchu Země. Odlišný přístup k vegetačnímu pásmu zastávají vědecké obory jako lesnictví, botanika, zemědělství, pro které je analýza vegetačního spektra primárním cílem veškerých projektů. Proto je pro tyto obory důležité uchovat vrstvu vegetačního pokryvu jako primární interpretační jednotku, kterou mohou podrobit různorodým analytickým metodám.

V tomto smyslu vznikla v posledních letech celá řada publikačních výstupů věnujících se mapování a deskripci heterogenních zástupců vegetačního pásma. Práce jsou především věnovány analýze a deskripci lesního pokryvu z hlediska druhového pokrytí, metrické analýzy, hustoty, lokalizace, rychlosti růstu, ochraně a mapování ohrožených druhů,

ekologických vlivů, mapování lesních cest a drenáží atd. Pro tyto účely se jako nejvhodnější zdroj jeví analýza dat laserového skenování, kdy jsou badatelé schopni získat pomocí filtračních technik bodového mračka (vymezeného rozptylem bodů mezi první a posledním odrazem – viz kapitola) podrobné údaje jak o celém kompaktním vegetačním pokryvu, tak i informace o jednotlivých druhových zástupcích detekovatelných v rámci aplikace filtračních algoritmů na surová data mračka bodů (Razak – Straatsma – Westen – Malet – de Jong 2011; Straub – Koch 2011; Ussyshkin – Theriault 2011; White – Dietterick – Mastin – Strohmman 2010).

Pomocí dálkového průzkumu jsme zároveň schopni zabývat se analýzou takových vegetačních druhů, u nichž velikost jednotlivých rostlin nedosahuje rozměrů nejmenší plošné měřené jednotky. V tomto případě pracuje dálkový průzkum Země na bázi analýzy spektrální odrazivosti vegetace (blíže Halounová – Pavelka 2005, 47; Gojda – John 2009, 481), díky níž jsme schopni bezpečně rozlišit i ty nejmenší zástupce rostlinstva a následně je bezpečně filtrovat za účelem získání přesného digitálního modelu terénu bez chybných, nepravých reliéfních anomálií tvořených nekvalitně filtrovaným vegetačním pokryvem. K tomu je využíván výpočet tzv. vegetačních indexů na podkladě multispektrálních a hyperspektrálních družicových dat. Tento typ analýzy může být velice efektivně využit také v archeologické oblasti (využito v projektu M. Gojdy a J. Johna z roku 2009, lokalita Litoměřice – Trnovany (okr. Litoměřice)) (Halounová – Pavelka 2005, 46-48; Gojda – John 2009, 480-481).

Při využívání dálkového průzkumu Země pro účely archeologie je nesmírně důležité dosáhnout opravdu kvalitního digitálního modelu terénu, který není nijak narušován rostlinstvem, zakrývajícím možné doklady antropogenních zásahů člověka do krajinného rázu. Oproti tomu letecká archeologie by bez vegetačního pokryvu jen těžko pátrala po reprezentativních a kvantitativně dostačujících záznamech lidských aktivit v minulosti. Kombinace užití obou těchto metodických přístupů umožňuje průzkum a mapování takových objektů, jejichž relikty jsou nenávratně

pohřbeny pod zemský povrch a zároveň situací dokládajících aktivitu lidského faktoru v podobě jakkoli metricky variabilních reliků v oblastech s vegetačním pokryvem znemožňujícím podrobnou prospekci a komplexní mapování.

Sníh a led – vyznačují se vysokou schopností odrazivosti ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra, která mnohonásobně převyšuje odrazivost ostatních objektů na zemském povrchu (družicové snímání) (Halounová – Pavelka 2005, 50-51). Zároveň brání dosažení vizualizačně i metricky reálných aspektů terénu zemského reliéfu z důvodu neprostupnosti sněhové či ledové pokrývky laserovými pulsy (letecké laserové skenování).

Voda – pro archeologické účely je analýza vodních ploch v podstatě druhotnou záležitostí. Archeologie čerpá informace dálkového průzkumu Země orientované především na lokalizaci vodních toků a vodních systémů za účelem sledování relačních souvislostí mezi sídelními strukturami a vodními zdroji. Zároveň využívá hydrologické sítě jako podklad pro verifikační analýzy známých lokalit, charakteristických vazbou na vodní zdroje jako výchozí podkladovou datovou základnu při aplikaci prediktivních analýz interpretujících relace vodních zdrojů a prostorové rozmístění případných archeologických situací (Neustupný – Venclová 1998, 84-105; John – Chvojka - Rytíř 2003, 72 - 92; Neustupný 2003a, 155 -172; Kuna 2004, 111-112; John 2010, 27 aj.).

Z hlediska mimo-archeologických výzkumů hydrologické sítě nabízí dálkový průzkum Země kromě přesné lokalizace možnost výzkumů objemu vodních ploch, získání určitých informací o dnech vodních nádrží, koncentrace vodních řas, chemické kontaminace vodních zdrojů atd. V tomto případě pracuje výzkum s daty vyjadřujícími hodnoty propustnosti a odrazivosti vodních ploch (Halounová – Pavelka 2005, 49-50).

Mezi další přírodní vlivy kvalitativně determinující výstupy dálkového průzkumu Země náleží půdní typy, přítomnost minerálů, skalních masivů, atmosférické a meteorologické podmínky atd.

3.8 Zpracování dat dálkového průzkumu Země

Metody zpracování dat dálkového průzkumu Země je nutné v první řadě klasifikovat na základě datových typů. Analogová data reprezentují ty nejstarší soubory, které byly pomocí dálkového průzkumu Země vytvářeny. Vzhledem k jejich množství a historické výpovědní hodnotě jsme nuceni je považovat za jeden z nejkvalitnějších a nejcennějších datových zdrojů vůbec. Převládající metodou zpracování tohoto typu dat je fotogrammetrická technika obkreslování či překreslování. Tyto metody mají však spíše historický význam vzhledem k v dnešní době snadné digitalizaci jakýchkoliv analogových zdrojových dat a jejich následného zpracování pomocí moderní technologie.

Termín digitální data dálkového průzkumu Země zahrnuje široké spektrum rozdílných datových souborů, jejichž zpracování je odvozeno od typu daného datového celku. Proto dálkový průzkum Země operuje s širokou řadou méně či více složitých technologických procesů. Mezi ně zahrnujeme čtyři základní typy operací:

1. Rektifikace a restaurace dat – tento okruh lze brát víceméně jako předzpracovatelský, při němž probíhají práce na prvotních úpravách snímků jako je modifikace geometrického zobrazení, doostření, kalibrace či odstranění šumu. Hlavní cílem této fáze je opravit snímek takovým způsobem, aby bylo možné následně jej vkládat do mapových podkladů.

Zobrazení snímku odráží chyby vzniklé při jeho vzniku v důsledku změn výšky, polohy a rychlosti nosiče, zakřivení Země a výškové diference terénu. Vědomě vznikající chyby, jež se vyskytují s určitou pravidelností, lze označit jako systematické. Nedostatky, na jejichž vznik nemá člověk žádný vliv a jejich výskyt lze hodnotit jako ojedinělé, označujeme jako náhodné a na jejich výskyt narazíme především u dat šikmého snímkování družice SPOT, leteckých a radarových snímků (u systémů neobsahujících výškové informace v datových souborech). Náhodné chyby nelze odstranit běžnými metodami georeferenčních úprav. Pro přesnou transformaci do map musí být použit ortogonalizační

algoritmus například pomocí digitálního modelu terénu (Halounová – Pavelka 2005, 138-141).

Systematické chyby dat jsou takové, které vznikají u systémů mapujících jak polohopisné, tak i výškopisné údaje jednotlivých bodů měření (skenery, spektrometry). Tím pádem jsme v tomto případě oproštěni od nutné ortogonalizace a pro eliminaci chybných údajů stačí aplikace tzv. georeferenční korekce pomocí vlíčovacích bodů. Ta pracuje na bázi výpočtu koeficientů dvou souřadnicových rovnic, z nichž jedna představuje zobrazovaná data a druhá geometricky přesnou mapu (georeferenční podklad). Výpočet je realizován prostřednictvím transformačních funkcí, nejčastěji v podobě polynomických rovnic pro souřadnice X, Y. Po dokončení transformačního procesu dochází k procesu převzorkování. V principu tento krok znamená fakt, že informace z matice digitálních hodnot původního souboru jsou přenášeny do souboru korigovaného a definuje se stupnice šedi dle hodnot jednotlivých pixelů. Tento princip přenosu datových informací pracuje ve dvou možných přenosových sférách. Buď jsou pixely georeferencované vizualizace a původního obrázku identické a dochází pouze k převzetí digitálních hodnot pixelů, nebo dochází k výpočtu nové pixelové hodnoty dle jistých norem. Výpočetní principy mohou být dvojího typu – princip nejbližšího souseda a bilineární interpolace (Halounová – Pavelka 2005, 139-140).

Do okruhu restaurace datový výstupů řadíme radiometrické opravy chybných parametrů. Radiometrické korekce jsou založeny na základě kalibračních výpočtů používaných přístrojů, opravy geometrických distorzí způsobených nestabilitou leteckého nosiče či v důsledku rozdílných vlivů atmosféry.

2. Zvýraznění obrazu – spočívá v úpravě kontrastních parametrů snímku do takové podoby, abychom dosáhli vyšší vizuální diferenciací mezi jednotlivými prvky obrazu a tím získali vizuálně kvalitnější a „čitelnější“ snímek. Využití například Prewittova či Sobelova

filtru primárně užívaných pro detekci hran (Halounová – Pavelka 2005, 138). Odlišný způsob zvýrazňování obrazu je užití tzv. pansharpeningu. Prostorové rozlišení družicových snímků závisí na mnoha výše popsaných charakterových aspektech. Jedním z nich je také typologie barevného spektra. Obecně známou problematikou je fakt výrazně nižší kvality (až 4krát) rozlišení multispektrálních družicových snímků od panchromatických. Oproti tomu snímky, které jsou vizualizovány v barevném spektru, je daleko snazší analyzovat a interpretovat. Abychom byli schopni tato omezení eliminovat, využijeme právě aplikaci procesu pansharpeningu, který kombinuje oba typy dat. Výsledným produktem jsou multispektrální data s rozlišením odpovídajícím původnímu rozlišení panchromatických snímků. Nejnovější algoritmy pansharpeningu jsou schopny tvorby takových výstupů, které jsou z hlediska škály barevného spektra a radiometrie obrazu zcela plnohodnotným informačním zdrojem (Zhang 2002a, 2002b; Gojda – John 2009, 480).

3. Klasifikace - může probíhat ve dvou rovinách. Prvním a nejběžnějším způsobem je vizuální analýza a následná detekce objevených objektů a struktur. Druhá technika je založena na plně automatizovaných principech detekce objektů.

4. Kombinace dat – je prováděna na principu spojování dosažených výsledků a výstupů s dalšími podkladovými zdroji pro analyzované geografické území (geologické, půdní, topografické mapové zdroje) s cílem získání kompletního výsledného výstupu v podobě tematických map (Halounová – Pavelka 2005, 138).

3.9 Využití dálkového průzkumu Země

Dálkový průzkum Země již od počátku svého vzniku poskytuje nepřehledné množství informací mnoha vědeckým disciplínám. V dnešní době, stále se zvyšujícího rozvoje komerční sféry v oblasti využití dílčích technologií dálkového průzkumu Země, je možné s výslednými daty nejen pracovat, ale také ovlivňovat parametry zakázek jejich vzniku. Tím lze

opravdu efektivně využít tyto metody v rozsáhlém spektru jak technického, tak i dalšího odvětví. Mezi hlavní obory využívající data dálkového průzkumu Země náleží především:

- Geologie - zjišťování nalezišť nerostných surovin, strukturní geologie, mapování sedimentů, mapování geologických jednotek.
- Hydrologie - mapování mokřadů, sledování vlhkosti půd, monitoring zalednění, povodně, dynamika ledovců, mapování odvodňovacích pánví a vymezení povodí.
- Lesnictví - zjišťování stavu vegetace, lesní požáry, přirozená obnova lesních porostů, mapování odlesnění.
- Kartografie – tvorba digitálních elevačních modelů, topografické a tematické mapování, planimetrie.
- Zemědělství - mapování zemědělských plodin, sledování zdravotního stavu plodin, odhady výnosů, sledování půdních charakteristik.
- Land-use a Land-cover - základní mapování pro GIS, dynamika městského osídlení, územní plánování, monitoring přírodních katastrof – povodně, tornáda, vulkanická činnost, ochrana přírodních zdrojů. Projekt CORINE Landcover – vytvoření jednotné databáze využití a pokryvnosti země pro státy zapojené do projektu. Využívá materiálů dálkového průzkumu Země (LANDSAT, SPOT). Hlavním cílem je vytvoření jednotné legendy zastoupení jednotlivých tříd databáze v měřítku 1:100 000, 1:50000, 1:25000.
- Oceánografie - mořské proudy, hloubka oceánů, teplota vody, výskyt planktonu, kvalita vody, mapování znečištění, navigace, stanovení pobřežní čáry, mapování pobřežní vegetace.

- Meteorologie – výzkum atmosféry, rozložení oblačnosti, měření atmosférického ozonu, monitoring vodních par, aerosolů, stopových prvků, tlaku a teploty v atmosféře.

- Historie - Projekt MURBANDY (Monitoring of Urban Dynamics) je primárně zaměřen na využití dat satelitního snímkování Země pro vyhodnocení rozvojových změn evropských měst na základě analýzy historických a současných družicových či leteckých snímků (Lavallo – Demicheli – Kasanko – Tuchini – Niederhuber - McCormick N 2001). Hlavní problémy, kterými se tento projekt zabývá, lze vymezit jako výzkum land – use vybraných evropských měst v minulosti a současnosti, dále pak porozumění procesům ovlivňujícím vývoj a jejich vliv na životní prostředí, vytvoření prediktivních modelů pro předpokládaný další vývoj. Součástí projektu je také dílčí studie, tematicky orientovaná velice podobně jako projekt CORINE Landcover. Jedná se o výzkumný program MOLAND (Monitoring Land Cover/Use Dynamics). Hlavní cíle tohoto programu doplňují výstupy projektu MURBANDY a náleží k nim tvorba a správa databází informací pro jednotlivá města, která jsou předmětem výzkumu, a dále analýza využití krajiny v širším regionálním charakteru z aspektu inovace vývoje prostorové analýzy a produkce pokrokových výzkumných strategií (Lavallo et al. 2011).

- Archeologie atd.

3.9.1 Archeologie

V současné době masivního industriálního rozvoje mnoha zemí společně s rozšiřující se infrastrukturou, stavební činností atd. je problematika ochrany památkového a archeologického dědictví stále aktuálnější. S tímto faktem narůstá potřeba vytvoření efektivního ochranného systému, jehož jednotlivé složky budou tvořeny deskriptivními soubory variabilních oborů interpretujících jednotlivé lokality či objekty historického charakteru. Dálkový průzkum Země nabízí prostřednictvím využití jeho individuálních technik informace, které lze velice efektivně

zúžitkovat při produkci památkově ochranných systémů. Abychom byli schopni takovýto systém vytvořit, je nutné v první řadě získat potřebné informace. V archeologické sféře jsou hlavní zdroje v oblasti dálkového průzkumu Země čerpány ze čtyř hlavních technologických oblastí. Jedná se o družicové snímkování, ortofotomapy (druhotně vytvořené na bázi měřičských fotogrammetrických snímků), letecké laserové skenování a šikmé snímkování.

3.9.1.1 Družicové snímkování

Využití družicových dat v archeologii je známé teprve po dobu cca 40 let. První počátky využití družicových dat v archeologii zastupují ojedinělé studie 70. - 80. let 20. století, zpravidla amerických výzkumných projektů, adaptovaných na projekty zemí celého světa. Teprve s nástupem 90. let zaznamenáváme nárůst využívání družicových dat v celoevropském měřítku archeologických výzkumných projektů.

Tato fáze je důsledkem odtajnění družicových dat pořizovaných formou klasických fotografických komor (sytém CORONA). V roce 1995 byl tento program částečně zpřístupněn a odtajněn pro využití ve veřejné sféře. Od této doby je zpřístupněno cca 900 000 satelitních snímků zemí celého světa. Veškerý datový fond je uložen v centrálním archivu US National Archives and Records Administration (NARA) s hlavním sídlem ve Washingtonu DC. V tomto archivu jsou také soustředěny snímky pořizované ruským systémem KH – 7–9 (Gojda – John, 2009, 473-474; Cowley et. al 2010, 1-6). Systém CORONA fungoval na bázi snímkování terénu klasickými fotografickými komorami s prvotním rozlišením snímku okolo 12 m. V nejmladší fázi fungování systému CORONA dosahovala přesnost rozlišení 1,8 m a zároveň docházelo k postupné inovaci techniky pořizování dat, tím pádem se závěrečná fáze snímkování orientovala na styl stereoskopické produkce dat (fáze KH - 4B) (Philip – Donoghue – Beck – Galiatsatos 2002, 108-118; Fowler – Fowler 2005; Casana – Cothren 2009, 732-749; Gojda – John 2009, 474-476; Šmejda 2009, 54-55). Po zpřístupnění tohoto bezkonkurenčně největšího fondu satelitních

dat Země se zrodila celá řada archeologických projektů využívající družicové snímky jako jeden ze stabilních zdrojových komplexů.

Systémy jako CORONA či ruský systém KVR-1000 náleží do skupiny snímků s nejnižším rozlišením (okolo 1-3 m u panchromatických snímků). První systémy kvalitnějšího rozlišení, které byly využívány za účelem archeologické analýzy, představují snímky pořizované družicí LANDSAT a SPOT (Ebert-Lyons 1978; Cox 1992). Ty byly zároveň vůbec prvními typy družicových snímků, jejichž analýzy byly předmětem archeologických studií. Obecně lze tyto systémy zařadit do oblasti digitálních senzorů pracujících v rozmezí středního/vysokého rozlišení (20 - 30 m u multispektrálních a 10 - 15 m u panchromatických snímků). Americký civilní systém LANDSAT je obecně nejvíce užívaným programem v rámci dálkového průzkumu Země, ovšem pro archeologii je vzhledem k jejímu rozsahovému rozlišení použitelný pouze v podobě podkladových vrstev pro studium komplexních rozsáhlých krajinných oblastí a sledování přírodních podmínek často významně působících na formační procesy v krajině a přetváření archeologických pramenů. Částečně zpřístupněné snímky lze nalézt na internetovém portále USGS Earth Explore (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Nástup nového století znamenal pro dálkový průzkum Země v oboru satelitního snímkování zásadní převrat. Integrace soukromé sféry pořizování a poskytování dat znamená přelom ve vývoji aplikace družicových dat v archeologii. Současné snímky nejvyššího možného rozlišení jsou poskytovány ve formě komerčních produktů tří hlavních systémů a společností. IKONOS – byl prvním komerčním satelitem (1999), jehož snímkové rozlišení panchromatických výstupů se pohybovalo kolem 1 m a multispektrální do 4 m. Následoval systém Quickbird náležící společnosti Digital Globe, jehož výstupy v podobě panchromatických a multispektrálních snímků o velikosti 16,5 x 16,5 km dosahují rozlišení 0,6 m – 2,44 m. Oba tyto systémy byly od počátku svého uvedení na trh předmětem zájmu celé řady archeologických projektů, problematickou složkou se však stala cena jejich pořízení.

Nejnovější satelitní systém komerční sféry – Geo Eye, který se vyznačuje aktuálně nejvyšším možným rozlišením, pracuje pod správou stejnojmenné americké firmy. Nejvyšší možné rozlišení panchromatických dat se pohybuje v hodnotách okolo 0,41 m a multispektrálních 1,65 m (ovšem pro komerční využití firma neposkytuje data s rozlišením pod 0,5 m). Takováto data vysokého rozlišení nabízejí možnosti zpracování snímků až do měřítka 1:5000, čímž se dostáváme na identické hodnoty měřítek snímků letecké fotogrammetrie (**Tab. XII. – XV.**) (Fowler 2010, 99-106).

3.9.1.2 Radary

Další možnost nabízí oblast radarových systémů. Nejefektivnějším současným radarovým systémem je německý program TerraSAR - X, který pracuje se dvěma typy radarových satelitů TerraSAR-X a TANDEM - X. Tento satelit umožňuje pořizovat radarová data s prostorovým rozlišením až 1 metr. Systém je schopen pracovat ve variabilním spektru rozlišení od 1 po 18,5 metru (1 m / 3 m / 18,5 m). Vysoké rozlišení pro specifické cílové oblasti, střední rozlišení pro velkoplošné pokrytí. Velkým pozitivem je nezávislost na meteorologických podmínkách. Použití TerraSAR - X v kombinaci s TANDEM - X nabízí inovativní využití radarových družicových dat v topografickém mapování, land-use analýzy a mapování krajinného pokryvu, při tvorbě digitálních modelů povrchu (DSM), digitální model terénu (DTM) atd.

V oblasti open source přístupu k radarovým zdrojovým datům je možnost využít internetových stránek USGS EarthExplorer. Zde je umístěna kolekce amerického družicového radarového systému Shuttle Radar Imaging – SIR (Fowler – Darling 1998, 19 – 24).

Obecně vzato využití družicových dat dálkového průzkumu Země v archeologii obnáší rozsáhlé limity. Satelitní systémy nižších a středních tříd rozlišení nemají z hlediska využitelnosti v detailní analýze a prospekci krajiny absolutně žádný potenciál. Tyto systémy lze efektivně využít pro sledování morfologických změn reliéfu krajiny, sledování distribuce

vodních sítí, land-use krajiny, polní systémy atp. Prostředí, které je maximálně vyhovující pro tyto typy družicového snímkování, představují rozsáhlé vyprahlé oblasti bez vyššího zastoupení vegetačního pokryvu - především oblasti Blízkého východu (Challis et al. 2002 -2004, 139-153; Fowler – Fowler 2005, 257-264). Satelitní systémy vysokého rozlišení (0,4 – 1 m u panchromatických a 1, 65 – 4 m u RGB snímků) disponují z hlediska využitelnosti v archeologii pozitivními možnostmi integrace datových souborů mezi efektivně analyzovatelné a hodnotitelné podklady.

3.9.1.2.1 Příklady projektů

Jako příklad uvádím jeden z nejrozsáhlejších archeologických projektů, jehož kontinuita aktivit trvá dodnes. Jedná se o projekt Settlement and Landscape Development in the Homs Region, Syria (SHR), orientovaný na prostředí aridních ploch Předního východu. Výzkum detekce, klasifikace a interpretace památek syrského prostředí (především závěrečné fáze doby železné) pracuje na základě analýzy a vyhodnocování družicových dat systému CORONA, IKONOS a LANSATSAT (Beck – Philip – Abdulkarim – Donoghue 2007, 161 - 175). Oblast jihozápadní Asie a severní Afriky (Blízký východ) je z hlediska efektivity využitelnosti družicových dat bezvýhradně nejvhodnější a nejlépe analyzovatelnou zónou. V důsledku převažujícího typu krajiny bez vegetačního pokryvu jsou družicové snímky nejvhodnějším zdrojem pro vyhledávání objektů především pomocí půdních a stínových příznaků. To je také hlavním důvodem tak rozsáhlého využívání satelitních fondů této světové oblasti (Kennedy 1998, 553 - 561; Kennedy 2002, 33 - 48; Ur 2003, 102 - 115).

Družicový snímkový systém CORONA nachází v archeologické sféře i další širší využití jako podkladový mapový systém pro skicování, tzv. překreslování z ruky archeologických objektů zachycených na jednotlivých družicových snímcích. Tento způsob je jedním z nejstarších a nejjobecněji využívaných rektifikačních praktik v archeologii (více Šmejda 2009, 77-78). Slouží především k zorientování se v terénu, prvotnímu

zachycení jednotlivých možných antropogenních zásahů, komplexnímu vyhodnocení širšího krajinného celku. Tato základní analýza je nadále doplňována a konfrontována s daty přidružených výzkumných technik (letecké snímky, současné mapové portály, historické mapy atd.). V případech některých zemí, jejichž situace z hlediska možností využití kvalitních mapových podkladových celků pro účely archeologické analýzy nebyla příhodná (nízká kvalita map, zpřístupněnost mapových souborů), byla v době zveřejnění družicových snímků CORONA objevena účinná metoda jak tuto limitaci obejít. Stala se jí právě metoda skicování z volné ruky lokalit odhalených na podkladě analýzy družicových dat. Příkladem za všechny je aplikace této techniky v prostředí rumunského výzkumu římské lokality Mincia (kraj Hunedoara, Rumunsko) (Oltean 2002, 224-233).

V současnosti jsou datové soubory satelitních snímků ekvivalentním zdrojem informací, jako jsou šikmé a kolmé letecké snímky v archeologii dálkového průzkumu Země využívané již po několik desítek let jakožto hlavní zdrojová data. Začlenění výstupů moderních družicových systémů výrazně obohacuje sféru kombinačních a verifikačních metod dálkového průzkumu Země (zejména v oblasti mapovací a dokumentační, tvorby digitálních elevačních modelů pro rozšiřující analýzy, historické výpovědní hodnoty datových celků). Jak ukazují výsledky nedávných archeologických studií využitelnosti satelitních snímků systému QuickBird v jižní Itálii (výzkum polykulturní lokality Monte Irsi, nejstarší nálezy pocházejí z paleolitu, kontinuita sídlení přetrvává až do období středověku, kde je doloženo přítomností zaniklé středověké vesnice z 15. století a relikty klášterního komplexu Iure Vetere násilně destruovaného v roce 1370), je tento způsob mapování krajiny rozšiřující variantou k standardněji používané metodě leteckého snímkování, z níž tento archeologický projekt vycházel. Hlavním cílem výzkumu bylo pokud možno co nejpřesnější zmapování dané oblasti za účelem lokalizace dispozice zástavby původního klášterního areálu, z něhož byly do současnosti zachovány relikty kostela v podobě nadzemních zbytků

původního zdiva. Po prvotní klasifikaci a zmapování daného území na podkladě leteckých snímků a geofyzikálním průzkumu byl uskutečněn archeologický výzkum odkryvem vybraných oblastí. Výsledky, které tato fáze výzkumu přinesla, výrazně přispěly archeologickému vyhodnocení struktur úzce souvisejících se stavbou kostela. K bližší lokalizaci samotného kláštera však nebyly zjištěny žádné údaje, které by tuto otázku byly schopny řešit. Jako výchozí řešení se nabízelo využití satelitních dat vysokého rozlišení a jejich analýza za účelem detekce možných antropogenních objektů v oblasti širšího územního vymezení. Datové soubory použité v tomto projektu byly kombinací panchromatických (kvalitnější rozlišení) snímků a snímků multispektrálních systému QuickBird. Po následném vizuálním průzkumu dat a aplikacích filtračních a vizualizačních algoritmů (Sobelův, Prewittův hranový filtr) byly detekovány objekty, typologicky a chronologicky interpretovatelné jako možné entity odrážející přítomnost středověké sídelní fáze včetně systémů obraného a komunikačního charakteru. Tyto výsledky budou v následných výzkumných praktikách sloužit jako výchozí pramenná základna a budou předmětem verifikace pomocí dalších archeologických metod (Lasaponara – Masini 2006, 3607-3614; Lasaponara – Masini 2007b, 214-221).

Výpovědní hodnota dat letecké prospekce podléhá mnoha faktorům (typ a stav vegetace, půdní podmínky, intenzita slunečního svitu a postavení Slunce, citlivost kamery atd.) ovlivňujícím především viditelnost jednotlivých objektů i celých komplexů a tím prakticky znemožňuje jejich plnohodnotné interpretační vyhodnocení. Aplikací družicových dat jsme část těchto limitujících faktorů eliminovali. Satelitní senzory produkují informace v podobě snímků různých vlnových délek, jež jsou schopny citlivěji reflektovat aktuální stav vegetačního pokryvu, stejně tak jako půdní skladbu (Lasaponara – Masini 2006, 3604 - 3614; Lasaponara – Masini 2007a; Lasaponara – Masini 2007b, 214 - 215). Tento fakt, společně s možností využití vyššího počtu satelitních snímků konkrétní oblasti generovaných s pravidelnými odstupy v průběhu všech ročních

období i denních dob, nabízí v mnoha směrech lepší podmínky pro detekci vyššího počtu potenciálních archeologických lokalit a jejich přesnější interpretaci a dokumentaci.

Využití dat družicového snímkování v českém prostředí. Vzhledem k faktu postupně se rozvíjejícího vstupu dálkového průzkumu Země do oblasti české archeologie není žádný div, že satelitní snímkování nebylo dosud s výjimkou několika jednotlivých projektů rozsáhleji využito. Nejstarší studie využívající družicová data v rámci výzkumných projektů Čech nejsou zaměřeny přímo na oblasti naší země, ale na území severní Afriky, konkrétně oblast Egypta, lokalitu Abusír. V tomto případě se však jedná o využití analýzy satelitních snímků v pouštních, tedy velice příhodných podmínkách pro tento typ dat. Výzkum pod vedením Českého egyptologického ústavu ve spolupráci s Laboratoří geoinformatiky Univerzity J.E.Purkyně v Ústí nad Labem již od svého zahájení (rok 2001) aktivně využívá datové zdroje systému QuickBird (Bárta – Brůna – Křivánek 2003).

Tematicky odlišný, avšak z hlediska geografické morfologie podobný projekt, prezentuje výzkum mezopotamského města Arbíl nacházejícího se v dnešním hlavním městě Kurdského autonomního regionu v severním Iráku. Hlavní zaměření mezinárodního výzkumného týmu je od počátku prvních etap projektu z roku 2006 orientováno na historický vývoj citadely v Arbílu z hlediska sledování sídelní kontinuity, vývojových změn, významu a funkce tohoto sídlištního areálu, jež je aktivně využíváno již nejméně 7000 let. Kombinací mnoha typů archeologických metod, které se v průběhu několika výzkumných sezon vystřídaly (geofyzikální průzkum, pozemní laserové skenování, fotogrammetrie, povrchové sběry, geodetické zaměření, doplňkové sondáže malého rozsahu atd.), byly získány prvotní informace mapující historickou zástavbu citadely (značně destruovanou a ohrožovanou v důsledku zvyšujících se počtu stavebních aktivit), technologickou a chronologickou variabilitu keramického zboží a jeho distribuci. Výchozí podklad pro produkci plánů archeologicky a architektonicky zkoumaného

prostoru tvořily satelitní snímky vysokého rozlišení ze systému QuickBird. Polohopisný obsah těchto snímků byl následně vektorizován, doplněn o údaje získané geodetickým zaměřením bodového pole v prostoru citadely, leteckými i pozemními šikmými dokumentačními fotografiemi (po aplikaci fotogrammetrických transformací). Výsledky tohoto postupu je možné sledovat na internetových stránkách (<http://lfgm.fsv.cvut.cz/citadel/>) věnovaných Arbílské citadele (plány, 3D prospekce, archeologická a architektonická databáze objektů), vytvořených pod záštitou Českého vysokého učení technického v Praze (Nováček 2007, 135-145; Nováček a kol. 2008, 259-302).

Nejnovějším a ve své podstatě jediným projektem archeologického zaměření, který se zabývá zhodnocením využitelnosti družicových dat v prostorové archeologii, je projekt M. Gojdy a J. Johna z roku 2009, kde se oba vědečtí pracovníci zabývají otázkou efektivity aplikace analýzy dat satelitních systémů pro charakter české krajiny za účelem identifikace archeologických lokalit a historického výzkumu krajinných celků. Jedná se o první systematicky vedenou studii kombinující analytické techniky zpracování šikmých leteckých snímků z nízko letícího letadla a družicových snímků vysokého rozlišení nejnovějších operačních systémů (Gojda – John 2009, 467-492).

Pro tento projekt byly vybrány čtyři oblasti české krajiny: část údolí Chomutovky, vybrané lokality Podřipska, Kolínska a Tereziánské kotliny. Důvodem této selekce byla možnost využití rozsáhlého datového souboru šikmých fotografií těchto lokalit, pořizovaných konstantně po dobu několika let. Jako vstupní data družicového charakteru byla použita kombinace panchromatických a multispektrálních snímků systémů IKONOS a QuickBird. Hlavním cílem celé studie je kritické zhodnocení komparace využitelnosti družicových dat a prospekčních leteckých šikmých snímků v prostředí české krajiny. Na základě podrobné vizuální prospekce jednotlivých družicových snímků s použitím celé řady analytických postupů (pansharpening, aplikace vizualizačních filtrů, výpočty vegetačních indexů atd.), v jejichž důsledku procházely jednotlivé

vizualizační výstupy kvalitativní modifikací, byla vyhotovena databáze a následně měřítkový plán objektů detekovaných na těchto snímcích. Při následném porovnání dosažených výsledků s archivními snímky letecké prospekce bylo zjištěno několik struktur, interpretujících dílčí analytické procesy. Z hlediska hodnocení archeologického využití družicových snímků autoři poukazují na nepopiratelný aspekt vysoce efektivního užití této kategorie dálkového průzkumu Země pro komplexní sledování transformačních procesů v krajině v rozmezí rozsáhlejších krajinných transektů. Senzitivita (variabilní v důsledku různorodého prostorového rozlišení snímků) družicových dat je v tomto smyslu využita pro prospekci a mapování zaniklých prostorově rozsáhlých lineárních objektů (vodoteče, cesty, fortifikace, polní systémy atp.) a tím se naskýtá možnost získat pojetí nejen o vývojových změnách krajiny, ale také možnost sledování prostorových relací objektů, lokalizace potenciálních archeologických lokalit a tvorby predikčních map (Gojda – John 2009, 486-490).

Z hlediska konfrontace leteckých a družicových snímků nejsou výsledky jednoznačné. Na několika lokalitách byly zaznamenány objekty, leteckou prospekci dosud neidentifikované (lokality Sokoleč, Všestudy, Velemyšleves, Údlice, Bílence, Březno - Střezov) (Gojda – John 2009, 484-486). Oproti tomu značná část lokalit objevených leteckou archeologií byla na družicových snímcích zaznamenána buď pouze jako nepatrné, nejasné objekty, nebo byla zcela neviditelná. Samozřejmě důležitý limitující faktor v této situaci představuje fakt pouze omezeného množství družicových podkladů (data pocházela z rozptylu maximálně 3 snímkovacích dnů = 3 snímky na analyzovaný region), z nichž ne všechny byly pořizovány za optimálních podmínek z hlediska meteorologického a vhodného období (z hlediska stupně zralosti plodin či sklizně). Pokud bychom chtěli objektivně hodnotit viditelnost jednotlivých archeologických situací na základě analýzy družicových dat, domnívám se, že vhodnou metodikou by mělo být výchozí seskupení širšího celku podkladových snímků daného území, poté tyto následně podrobit systematické analýze

a prospekci. Samozřejmě významnou roli zde hraje finanční náročnost získání takového souboru.

K nesporným výhodám družicových dat patří možnost získání metrických a prostorových údajů jednotlivých objektů na základě ortorektifikovaného snímku. Letecké fotografie pořizované z ruky je oproti tomu nutné podrobit dosti náročné, ne vždy úspěšné, rektifikační a georeferenční transformaci.

Výše popsáný projekt je v rámci české archeologie projektem pionýrským a tím pádem je i zatím největší studií využití družicových dat v archeologii. Jeho prioritním cílem je zhodnocení využitelnosti družicových dat jakožto ekvivalentních zdrojů poznání české krajiny a její prospekce. Tato studie nabízí ucelený přehled problematiky družicových dat v archeologické sféře, variabilitu přístupů zpracování, vyhodnocení a interpretaci získaných poznatků. Zhodnocením využití družicových dat v archeologii a konfrontací s leteckými snímky se v nedávné době zabýval také L. Šmejda (Šmejda 2009).

3.9.1.3 Letecké laserové skenování

V evropském prostředí (především v západní, jižní a střední Evropě) je využití lidarové technologie v archeologii již plně etablovanou metodou. Tato nedestruktivní metoda byla aplikována již v mnoha projektech evropského měřítká a v současnosti vznikají metodologické studie zabývající se přímo možnostmi jejího zefektivnění při uplatňování v terénní archeologické praxi v závislosti na individuálním typu výzkumů a zkoumaných památek. V další části bude poskytnut stručný přehled o využití leteckého laserového snímkování v archeologii v různých zemích.

K jednomu z největších projektů se řadí výzkum keltského oppida Hunnering z oblasti severního Sárška (2 -1. st. př. n. l.), při němž byla díky laserovému skenovacímu postupu detekována kompletní půdorysná struktura římské chrámové stavby, jež byla dříve na základě fragmentárních údajů mylně považována za strukturu profánního

charakteru (Müller et al. 2008). K dalším projektům náleží výzkum pravěkého hradiště Welshbury Hill, Gloucester (doba bronzová), při němž byl díky lidarů odhalen, prozkoumán a precizně zaměřen nejen areál samotného hradiště, ale celé zázemí včetně nově objevených polních systémů (Devereux et al. 2005, 648-660).

V oblasti rakouského regionu západních Alp byla v roce 2006 uskutečněna testovací analýza efektivit využití lidarů v zalesněném a hornatém prostředí v závislosti na ročním období a výšce vegetačního pokryvu na ploše 128 ha (Hollaus - Wagner 2007, 22-30). Ve stejném roce zahájila vídeňská Technická univerzita ve spolupráci s Katedrou pravěku a raného středověku ve Vídni rozsáhlý čtyřletý projekt zaměřený na otestování efektivit laserového skeneru v zalesněných oblastech kolem řeky Leitha (cca 30 km od Vídně). Celková rozloha nasnímaného území dosáhla 700 km², zájmové území je tvořeno 10 kilometrovým transektem říčního koryta. Primárním zaměřením tohoto projektu je komparace nedestruktivních metod v daném regionu a zhodnocení míry jejich využitelnosti a komplementarity. Závěr, ke kterému badatelé dospěli, staví metodu laserového skeneru do pozice jedné z nejefektivnějších nedestruktivních metod a nástrojů detekce archeologických struktur a jejich dokumentace (Doneus – Briese 2006, 155-162).

V posledním desetiletí získalo několik evropských národních agentur lidarová data pro různé monitorovací účely spojené především s otázkami životního prostředí. Dostupnost, kterou tyto datové celky nabízejí, byla v mnoha zemích využita také pro účely archeologických výzkumů. Přehled zde prezentovaných projektů není zaměřen na jednotlivé metodologické přístupy, ale orientuje se na komparaci přístupů zpracování lidarových dat, míru zkušenosti a výsledky, kterých bylo dosaženo.

Jedna z prvních studií hodnotících možnosti leteckého laserového skenování v archeologii byla publikována v roce 2004 B. Sittlerem (Sittler

2004). Vstupní data tohoto projektu byla získána v letech 2002-2004 a následně z nich byl vytvořen digitální výškový model. Projekt, jehož součástí byl i výzkum B. Sittlera, byl koncipován jako součást rozsáhlé studie situované na oblast Bádenska – Württemberska. Jako hlavní region archeologického zájmu byl vybrán prostor zalesněné oblasti v okolí Rastattu včetně analýzy písčité a suché ploché terasy u řeky Rýn. Vizuální analýza umožnila detekci odrazů starší středověké krajiny včetně reliktních valů a plužinových struktur. Kromě toho pomocí 3D Analyst rozšíření ArcView 3.2 byly provedené kvantitativní rozbory daného území a objevených objektů za účelem zjištění jejich metrických aspektů jako je plocha, objem, délka a šířka valů stejně tak jako drsnost povrchu a aspekty zvlnění terénu. Na základě těchto úspěšných analýz v květnu roku 2009 Státní úřad pro Kulturní dědictví Bádenska-Württemberska zahájil nový tříletý projekt. V jeho rámci R. Hesse (2010) vyvinul a implementoval nový nástroj pro archeologický průzkum: Local Relief Model (LRM) (Hesse 2010) (Masini et al. 2010).

V roce 1996 byl v Nizozemí zahájen projekt „Aktuální datová základna výšek Nizozemska“, který vycházel z datových zdrojů leteckého laserového skenování. Údaje byly shromažďovány v letech 1996 - 2004. Databáze se skládá z interpolovaných měření výškových údajů pro celé území Nizozemska. D. Humme (Humme et al. 2006) použil část tohoto souboru ke studiu sídelních reliktních doby bronzové a 2500 let starých polních systému (tzv. celtic fields) v blízkosti Doorwerth (východní část Nizozemska). Hlavním přínosem tohoto projektu bylo navržení nové filtrační metody rozsáhlých topografických celků (Masini et al. 2010).

V roce 1999 nechala Agentura pro životní prostředí Velké Británie vypracovat lidarový průzkum pro monitorování říčních a pobřežních oblastí Anglie a Walesu. Na základě tohoto projektu byly datové výstupy uvolněny také pro využití v oblasti archeologie. Díky tomu byl britský archeolog Holden (Holden et al. 2002) schopen v rámci svého výzkumu situovaného do oblasti Newton Kyme (západní Yorkshire) rozpoznat a zaznamenat stopy fortifikačních objektů římské pevnosti, jejíž přítomnost

nebyla do té doby nikterak známa. Výškové parametry této lokality se pohybují v rozmezí menším než jeden metr (vzhledem k lokalizaci v aktivně zemědělsky využívané oblasti), proto nebyla prezence této římské pevnosti lokalizována ani na leteckých snímcích frekventovaně mapujících tuto oblast. Výsledky této studie vedly k následné rychlé implementaci lidarové techniky do prostředí britské prostorové archeologie (Bewley et al 2005; Crutchley 2006 aj.) (Masini et al. 2010).

V Irsku, v rámci programu Discovery, byly v roce 2007 získány lidarové podklady prostřednictvím laserového systému FLI-MAP 400. V současné době bylo již publikováno několik studií zabývajících se lidarovými daty v archeologii, jejichž vstupní materiál byl získán z datové základny tohoto projektu (Masini et al. 2010).

Z belgického prostředí je třeba zmínit práci I. Werboucka (Werbrouck et al. 2009) orientovanou na interdisciplinární přístup ke studiu krajiny a historii osídlení v prostředí severního Ghentu (Flandry). Tato studie měla za primární úkol vytvořit "čistý" topografický povrch krajiny, který byl následně podroben výzkumu archeologických badatelů. Další představitel belgické archeologie C. Stal (Stal et al. 2010) se zaměřil na výzkum pozůstatků zákopových linií první světové války v okolí Mount Kemmel, ve Flandrech (Masini et al. 2010).

Hlavními představiteli rakouské archeologie zabývajícími se využitím dat leteckého laserového skenování jsou bezesporu M. Doneus či N. Pfeifer. Jako příkladová studie může sloužit projekt výzkumu hradiště Schwarzenbach – Burg pocházející z doby železné. Tento projekt byl zaměřen především na zhodnocení aplikace kombinačních analytických přístupů zastoupených leteckým laserovým skenováním a vertikálními leteckými fotografiemi (Doneus – Neubauer 2008).

Další evropské státy, které v posledních letech aktivně využívají data letecké laserové technologie pro účely hodnocení potenciálu tohoto typu dat v archeologii, případně se orientují na oblast vývoje nových inovativních postupů jejich zpracování, zastupují státy jako Itálie,

Slovinsko, Norsko (Mlekuž- Budja- Ogrinc 2006; Risbøl et al. 2006; Oštir 2007; Trier – Larsen – Solberg 2009; Coluzzi et al.; Lasaponara et al. 2010; Masini et al. 2010; Kokalj et al. 2011a; Kokalj et al. 2011b; Petrovic – Podobnikar 2011).

3.9.1.4 Letecké snímkování

V této oblasti dálkového průzkumu Země se ocitáme v prostoru dvojího pojetí leteckých zdrojových dat. Zprv se jedná o snímky pořizované z nízko letících letadel pomocí ručního snímkování a zadruhé o výstupy leteckého vertikálního snímkování krajiny. Oba tyto přístupy již našly své plně etablované místo v archeologickém vědním oboru.

Datové soubory letecké prospekce představují obrovský potenciál v oblasti výzkumu krajiny a prostoru ve smyslu snahy o pochopení a průniku do lidského myšlení našich předků. Letecká archeologie nám poskytuje možnost zkoumat a zaobírat se nejen jednotlivými událostmi, ale především zkoumat prostor z pohledu archeologických struktur, jež vznikají a transformují se v důsledku antropogenní činnosti. Možnost analýzy rozsáhlých krajinných transektů udala zcela nový směr v oboru prostorové archeologie.

Individuální aplikace této metody však přináší jistá omezení a úskalí v podobě obtížné interpretace dané situace. Z tohoto důvodu je vhodné výstupy letecké archeologie konfrontovat s dalšími metodami umožňujícími validovat a zpřesňovat interpretační teorie. Zejména v současné době možností využití stále dostupnějších technologií (letecké laserové skenování, širší možnosti v oblasti geofyzikálních metod - georadary, moderní přístrojové vybavení atd.). Z nejnovějších publikací reflektujících tento přístup v rámci českého prostředí uvádím monografii M. Gojdy, M. Trefného a kolektivu autorů, jež je vyústěním dlouholetého projektu analýzy oblasti Podřipska z hlediska analýzy archeologického a historického bohatství tohoto regionu na rozhraní středních a severních Čech. Obsahem této publikace je komplexní přístup ke zpracování vymezeného území prostřednictvím aplikace široké škály jednotlivých

nedestruktivních metod (šikmé i vertikální letecké snímky, geofyzikální prospekce, povrchové sběry, historická rešerše, paleobotanické analýzy, architektonický průzkum) v několika případech doplněných o terénní archeologický výzkum metodou odkryvu (Gojda – Trefný a kol. 2011). Tento přístup interdisciplinární kooperace lze považovat za modelový příklad vhodně zvoleného analytického přístupu.

3.9.2 Zdroje dat dálkového průzkumu Země v České republice

Dálkový průzkum Země a jeho užívání nemá v České republice příliš dlouhého trvání. Okolnosti, kterými byla naše republika omezována v určitých sférách vývoje vědních oborů do roku 1989, vedly k poměrně nízkému a pomalému vzestupu rozvoje jednotlivých oborů dálkového průzkumu Země. Především pak z důvodu politických a předepsaných zákonů vojenského utajování záznamů. V současnosti naopak zaznamenáváme masivní rozvoj v této oblasti. S tím také souvisí stále se zvyšující počet využitelných zdrojových datových systémů a souborů odlišných sfér dálkového průzkumu Země.

3.9.2.1 Archiv leteckých snímků Archeologického ústavu Akademie věd v České republice

Nejkomplexnější datový archiv šikmých leteckých fotografií využitelný pro archeologické a historické účely je majetkem Archeologického ústavu Akademie věd České republiky. V současné době obsahuje několik tisíc jednotlivých fotografických záznamů jak archeologických lokalit, tak i architektonických památek a dokumentačních snímků krajiny. Archiv je od svého počátku založení průběžně doplňován o snímky získané během každé sezóny letecké prospekční aktivity. Hlavní polohové zaměření je situováno do oblasti středních a severních Čech (mimo jiné z důvodu primární analýzy této oblasti v projektu ALRNB z počátku 90. let 20. století, jehož součástí bylo využití letecké prospekce za účelem detekce archeologických objektů a jejich následná verifikace) (Gojda 1993, 131-133; Gojda 2008, 409-417).

Tento datový archiv by se v brzké době měl stát předmětem komplexního zpracování do digitální podoby a tím nabízet interní informace pro další metodické postupy.

3.9.2.2 Archiv leteckých snímků Ústavu archeologické památkové péče severozápadních Čech v Mostě

S nižším početním zastoupením snímků, avšak významově neméně důležitý, je archiv šikmých leteckých fotografií, který je uložen pod správou Ústavu archeologické památkové péče severozápadních Čech v Mostě. Od počátku dob svého vzniku (rok 1992) do současnosti bylo v jeho útrobách uloženo několik tisíc snímků krajiny převážně situovaných do regionu severozápadních a severních Čech. Do roku 2007 bylo pomocí letecké prospekce objeveno 590 archeologických lokalit. V posledních letech se hlavní autor této kolekce Z. Smrž orientoval na problematiku vrcholně středověkých – novověkých liniových a liniově uzavřených opevňovacích systémů. Hlavní směr byl orientován na mapování a typologickou analýzu fortifikačních systémů napoleonských válek, jež utvářejí pravidelnou síť podél řeky Ohře (Smrž 1999, 517-531; Smrž – Hlušík 2007, 713-746).

3.9.2.3 Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad v Dobrušce

Zdroje kolmých leteckých fotografií využitelných pro územní České republiky tvoří několik tuzemských i zahraničních zdrojů. Z hlediska českých poskytovatelů dat se jedná především o největší archiv historických kolmých leteckých snímků pořizovaných pro vojenské účely již od roku 1936. Tento archiv je již od roku 1951 spravován Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem ve východočeské Dobrušce. V roce 1936 bylo v této obci zřízeno posádkové velitelství a v roce 1938 byla vybudována rozsáhlá kasárna Jana Gayera, která v dnešní době plní funkci hlavního působiště geografického úřadu. V poválečných letech dochází na krátký čas k opuštění kasáren vojskem,

ale na počátku 50. let dochází k definitivnímu vymezení hlavní funkce kasáren jakožto součásti Vojenského kartografického ústavu. První název geografické posádkové instituce zněl 1. Vojenský kartografický ústav, od roku 1952 se název mění na 2. Vojenský zeměpisný ústav Dobruška. Současný titul: Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad (VGHÚŘ) přichází v platnost až od roku 2003 (Břoušek 2011, 1-12).

Mezi první úkoly, jimiž se úřad v letech 1952-1953 zabýval, náleží transformace československých geodetických základů z S-JTSK (v této době platí pouze za lokální souřadnicový systém) do tehdy aktuálního Souřadnicového systému 1952 (S-52) a dokončování prací na zhuštění základní trigonometrické sítě. Souřadnicový systém S-JTSK a výškový systém Baltský výškový systém po vyrovnání (Bpv) byly zavedeny v Československé republice (ČSR) teprve v roce 1958 (Břoušek 2011, 1-20).

Další významnou činností vojenského úřadu se stalo zabezpečení armádních požadavků na letecké snímkování. V předválečném a poválečném období existovaly letecké fotografie pouze v malém rozsahu s hlavním využitím v kartografické sféře, kde fungovaly jakožto podkladové vrstvy. Od roku 1947-1956 zaznamenáváme masivní nástup tvorby systematického snímkování téměř celého území republiky (70,1%) za účelem produkce nového topografického mapování v měřítku 1:25 000. Paralelně s ním bylo aktivováno rozsáhlé geodetické zaměřování vlíčovacích bodů pro potřeby fotogrammetrického zpracování leteckých fotografií.

V šedesátých letech představuje letecké fotogrammetrické snímkování již plnohodnotně etablovanou metodu poznamenanou dynamickým vědeckotechnickým rozvojem. S nástupem počítačové techniky a nových geodetických a fotogrammetrických přístrojů přichází také etapa postupné digitalizace dosavadních kartografických materiálů, nárůst fondu fotogrammetrických snímků (až 30 000 ročně), ověřování informačního a měřického využití snímků snímaných na barevný,

spektrozónální a infračervený letecký film. V roce 1968 byl zakoupen přístroj Stereotrigomat, jehož součástí byl i diferenciální překreslovač leteckých snímků. Od roku 1957 – 1968 vystřídaly mapování krajiny v měřítku 1:2500 podrobnější topografické kartografické výstupy v měřítkovém rozlišení 1:10000. Souběžně s tímto procesem probíhalo i postupné zpřesňování bodů trigonometrické sítě stavbou měřických věží se zvýšeným stanovištěm ve výšce 35 metrů a více. Snímkování krajiny v této době probíhalo v měřítkovém spektru 1:12000 – 1:30 000. Praktické uplatnění leteckých snímků bylo situováno také do dalších oblastí - tvorba lesních a důlních map, jednotné železniční mapy aj. (Břoušek 2011, 21-44).

Zavedené funkční standardy úřadu byly tak, jako v mnoha jiných případech, narušeny událostmi roku 1968. V jejich důsledku přistoupilo tehdejší vedení na nový utajovací systém geodetických, kartografických a snímkových podkladů. Toto utajení a striktně vojenské a státní účelové využívání dat bylo zastaveno až po roce 1989 (Břoušek 2011, 45-65).

V současné době úřad v Dobrušce stále pracuje na zkvalitňování topografické sítě Čech (od roku 2000 probíhá 5. velkoplošné snímkování krajiny České republiky v měřítku 1:25 000) za využití nejmodernějších technologií a metod od leteckého snímkování a tvorby digitálních modelů terénu po aktuální projekt Tvorby nového výškopisu na území české republiky za pomoci dat leteckého laserového skenování (Brázdil 2010; Břoušek 2011). Samotné snímkování krajiny v současnosti již obstarávají komerční firmy civilní sféry (Geodis Brno).

Jednotlivé kartografické výstupy úřadu v Dobrušce jsou k dispozici na mapovém serveru, který byl založen na počátku nového tisíciletí – Internetový zobrazovač geografických armádních dat (IZGARD) pro Českou republiku. K dispozici jsou zde mapové podklady měřítek 1:25 000, 1:100 000, rastrové ekvivalenty map a ortofotosnímků. Internetová adresa: <http://izgard.cenia.cz/>. Podrobnější popis tohoto mapového portálu viz L. Šmejda 2009 (Šmejda 2009, 69-70).

Archiv leteckých měřičských snímků uložený v této instituci představuje nejcennější zdroj kolmých leteckých snímků v České republice z hlediska technického, kulturního a vědeckého využití. Jsou zde převážně zastoupeny černobílé fotografie. Součástí archivu jsou také barevné, inverzní, spektrozónální a šikmé snímky. Nejčastějším formátem jednotlivých snímků je 23 x 23 cm v měřítku 1:25 000. V roce 2003 přešel úřad na techniku snímání výhradně na barevný negativní film a od roku 2010 je snímkování prováděno digitální technologií. Průměrná výška letu pro toto snímkování je kolem 4000 metrů. Evidence jednotlivých snímků podléhá přísným pravidlům z hlediska zařazení do archivačních a vyhledávacích systémů a stanovení jejich fotografických a fotogrammetrických kvalit. Součástí archivu je také fotolaboratoř. Ta slouží na jedné straně pro distribuci leteckých snímků do komerční sféry zákazníků, kdy jsou vyráběny kontaktní kopie, zvětšeniny diapozitivy, duplikátní negativy, digitální kopie atd. Druhá významná funkce této laboratoře se týká správy a údržby archivního fondu fotografií. Primárním cílem posledních let bylo převedení nejstarších fotografií uchovávaných na hořlavém papíře do digitální nehořlavé podoby a zabránit tak jejich dalšímu možnému mechanickému či chemickému poškození (Břoušek 2011, 120-131).

K výše uvedeným zdrojovým soustavám náleží bezesporu obsahově nejrozsáhlejší celosvětové archivy leteckých a družicových dat. Jedním z nich je britský archiv The Aerial Reconnaissance Archives (TARA) a druhý představuje americký soubor National Archives and Records Administration (NARA). Oba tyto archivy čítají přes 20 milionů leteckých snímků z větší části pořízených v rozsahu let 1940-1960, přičemž celkové chronologické rozpětí je vymezeno roky 1935 a 1989. Spojujícím prvkem obou souborů je fakt nejvyššího početního zastoupení snímků z období druhé světové války a následných let. Je až s podivem, jak málo archeologů tyto archivační soubory využívá při své práci. Pravděpodobně zde hraje roli nutná fyzická analýza a fyzické vyhledávání jednotlivých snímků žádaného území v katalogových systémech. To je v

dnešní době internetových portálů a trendů získávání maximálních časových úspor poněkud „stareomódní“ (Raczkowski 2004, 9-11; Cowley 2011, 11).

National Archives and Records Administration – obsahuje téměř 6 1?00 000 snímků pořizovaných mezi lety 1935 - 1965. Tyto snímky jsou z hlediska procentuálního zastoupení koncentrovány do několika oblastí. Asi 30 % tvoří snímky vizualizující krajinu Spojených států amerických, 40 % reprezentuje celosvětový fond fotografií, 20% snímky pořizované německou Luftwaffe a zbytek je rozdělen mezi výstupy družicových systémů CORONA, KH- 7 a KH – 9 a snímky pořizované vysoko letícími prospekčními snímači v období šedesátých let. Oproti kolekci britského archivu nejsou tyto snímky nikterak přístupné prostřednictvím digitálního rozhraní a je nutné jejich objednání prostřednictvím přímé komunikace s úřadem.

The Aerial Reconnaissance Archives (TARA) je rozsáhlý soubor leteckých fotografií především z oblasti severní, západní a východní Evropy. Vzhledem k neúplnému zpracování veškerých snímků není možné jejich finální počet přesně vyjádřit. Současný stav se pohybuje okolo 15 000 000 leteckých fotografií časově vymezených lety 1939 - 1989. Z hlediska podrobnějšího geografického vymezení, nejvyšší početní zastoupení reprezentují snímky západní Evropy (cca 5, 5 milionů), asi 150 000 snímků zastupují fotografie Středomoří, přes 1 milion snímků pochází z fondu německé Luftwaffe (oblasti východní Evropy a Ruska), zbytek snímků (přes 10 milionů) tvoří kolekce šikmých a kolmých fotografií z celého světa nasnímaných prostřednictvím jednotek RAF a spojeneckými vojsky. Tento soubor tvoří pouze část původního rozsahu válečné a poválečné fotodokumentace. Značná část původního souboru byla po válce destruována (Cowley 2011, 11-12). Tato kolekce byla ještě před několika lety umístěna v britském univerzitním městě Keele, kde však nebyly příznivé podmínky pro uchovávání a zpracování tak rozsáhlého a především cenného archivu historických záznamů. Proto byl po více než 45 letech celý archiv převezen do skotského Edinburgu, kde v

současnosti stále probíhají práce na jeho zpracování ve smyslu evidence, katalogizace jednotlivých snímků a jejich zpřístupnění pro vědecké účely (Raczkowski 2004, 9-11). V dnešní době je část tohoto fondu zpřístupněna prostřednictvím digitálního internetového rozhraní, ale jedná se pouze o nepatrný zlomek celé kolekce (cca 8000 snímků). Česká republika je na tomto portále zastoupena několika jednotlivými snímky regionu východních Čech a jižní Moravy, v budoucnu by však měl tento fond stále narůstat a poskytovat cenné zdroje informací o historii naší krajiny. URL adresa tohoto portálu je: <http://aerial.rcahms.gov.uk/>. Problém, který provázel tento světově největší soubor - velice pomalé a dlouhodobé trvání zpracování do podoby využitelného zdroje pro vědecké účely, se stává (s převodem snímkové kolekce a inovativních způsobů práce s fotografiemi) řešitelným.

3.9.2.4 Internetové mapové portály České republiky

K nejrozšířenějším možnostem základní prospekční analýzy krajiny náleží průzkum nejsnáze dostupných vizualizačních systémů. Ty v tomto případě reprezentují mapové portály, které lze prozkoumávat za účelem objevení potenciálních příznaků přítomnosti archeologických lokalit. Podrobný přehled mapových portálů české republiky publikoval v roce 2007 a 2009 L. Šmejda, nebudu je tedy nijak podrobně rozebírat. Připojím pouze informace o změnách provázející tyto internetové mapové portály v průběhu posledních let. Stále nejužívanějším mapovým portálem v České republice jsou bezesporu Mapy. cz (www.mapy.cz), jehož data tvoří vizualizační výstupy již zmiňované tuzemské firmy Geodis Brno. Sledování viditelnosti archeologických lokalit objevených pomocí šikmého snímkování a uložených v Archivu leteckých snímků Archeologického ústavu v Praze na jednotlivých mapových portálech bylo předmětem výzkumu, jehož výsledky byly publikovány v roce 2010. Finální srovnání prokázalo poměrně vysoké procento viditelnosti jednotlivých lokalit na mapových serverech a tím potvrzuje fakt efektivního zařazení těchto typů dat mezi možné prospekční zdroje (Gojda 2010, 69-76). Tento portál v současnosti nabízí možnost výběru ze šesti mapových podkladů (2

topografické, 3 ortofotomapy, 1 historická). Takovýchto webových portálů využitelných pro vizuální prospekci je celá řada. Obdobné možnosti nabízí také například webové rozhraní googlemaps (maps.google.cz) či menší Amapy (amapy.centrum.cz), Mapy Idnes (<http://mapy.idnes.cz/>).

Samostatnou sekci internetových mapových služeb tvoří webový portál Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE). Jedná se o portál založený iniciativou Evropské komise s hlavním cílem koncentrovat mapové zdroje evropských zemí do jednoho společenství, nabízet sdílení datových souborů, kombinaci prostorových dat jednotlivých úrovní státní správy, snazší vyhledávání dostupných mapových portálů dané země, využití jednotlivých složek pro konkrétní účely (ochrana životního prostředí, mapování, sledování využití krajiny, infrastruktury atp.).

V rámci tohoto webového prostředí je soustředěna celá řada mapových podkladových vrstev variabilních kategorií státní správy. Ty lze rozdělit do dvou hlavních kategorií: mapy tematické a mapy uživatelské. Z hlediska početního zastoupení dominují tematické mapy s 21 mapovými soubory orientované na reflexi stavu infrastruktury v České republice. Do roku 2011 bylo možno nalézt tyto mapové vrstvy pod záštitou České agentury životního prostředí. Uživatelské mapy v tomto případě symbolizují výstupy konkrétních projektů dílčích sekcí státní správy jako je výstup programu CORINE Land Cover, letecká dopravní síť, strategické hlukové mapy, integrovaný registr znečišťování a geologická mapa České republiky.

Veškeré výše uvedené mapové systémy lze nejen vizuálně prohlížet na mapovém portále INSPIRE, ale prostřednictvím internetové služby WMS je lze integrovat do jakéhokoliv programu geografických informačních systémů, který tuto funkci podporuje (ArcGIS). WMS – Web Map Service byla vytvořena za účelem možného sdílení dat geografických informačních systémů v prostředí internetu. Tento program pracuje na bázi zpřístupnění rastrových datových souborů, které zobrazují jednotlivé

tematické mapové vrstvy a jsou georeferencovány v určitém souřadnicovém systému. Tyto geografické podklady jsou do konkrétního programu implementovány pomocí internetové URL adresy, která odkazuje na daný soubor mapových vrstev. Pro mapové systémy geoportálu INSPIRE je tato URL adresa: <http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>.

Mapový server Kontaminovaná místa je jednou z nejnovějších studií Ministerstva životního prostředí. 1. etapa tohoto projektu (2009 – 2012) – Národní inventarizace kontaminovaných míst, je orientována na vyhledávání a mapování zaniklých stop, signalizujících možnou přítomnost kontaminovaného prostoru krajiny. Nejčastěji takováto místa lze objevit prostřednictvím historických pramenů. Proto bylo v počátku zahájení projektu rozhodnuto o zařazení a zpracování historické ortofotomapy, na jejímž podkladě budou potenciální prostory zamoření lokalizovány. Cílem celého projektu je komplexní zajištění metodik pro vlastní inventarizaci, která bude produktem druhé etapy (2013 - 2015)

([http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPMSG0E9EQP/\\$FILE/tema_ortofotomapa.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPMSG0E9EQP/$FILE/tema_ortofotomapa.pdf), 25.4.2012).

Hlavní důvod integrace tohoto projektu mezi datové zdroje dálkového průzkumu Země jsou podkladové mapy, jež projekt Kontaminace využívá. Jedním z primárních zdrojů je nově vytvořená mapa ortorektifikovaných leteckých snímků, zprostředkovaných Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem (VGHMÚř) Dobruška. Převážně se jedná o snímky z prvního celoplošného leteckého snímkování z 50. let 20. st. (a pro několik vybraných územních celků také z let 1937-1938). Tyto snímky zpracovala společnost GEODIS BRNO, spol. s r.o., která rovněž dodala i současnou ortofotomapu a podkladovou vrstvu datování snímků ([http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPMSG0E9EQP/\\$FILE/tema_ortofotomapa.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPMSG0E9EQP/$FILE/tema_ortofotomapa.pdf)).

Vygenerovaná historický ortofotomapový podklad představuje z hlediska historického významu jeden z nejzásadnějších zdrojů informací

o české krajině poválečného období. Vzhledem k volnému zpřístupnění tohoto dějinného pramene (<http://kontaminace.cenia.cz>) v digitální podobě, získává česká archeologie další z velmi důležitých zdrojových a informačních systémů.

Identickou možnost nahlížení do mapových podkladů a jejich připojení pomocí WMS služby nabízí od konce roku 2011 také Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK). Základní připojovací URL adresa je: <http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>. Celkový počet mapových podkladů, které je možno připojit, je 14. Jednotlivé mapové soubory obsahují mapové podklady katastrálních map, ortofotomap, topografických map v měřítku 1:10 000, 1:50 000, klady mapových listů aj.

Výčet využitelných mapových zdrojů by nebyl kompletní bez uvedení jednoho z nejužívanějších internetových portálů posledních let – aplikace Google Earth. Tento virtuální glóbus, původně vytvořený firmou Keyhole Inc., byl v roce 2004 zakoupen portálem Google. Program vychází z využití satelitních snímků, např. družicového systému Landsat, avšak převážná většina satelitních snímků pochází z družicového systému WorldView – 2 a WorldView – 3 prostřednictvím komerční firmy DigitalGlobe . V případě integrace nejvýkonnějších satelitních systému lze zaznamenat náhodnou přítomnost snímků současného nejmodernějšího družicového systému QuickBird. Tyto snímky jsou převážně využívány při vizualizaci vysokého prostorového rozlišení nejznámějších světových památek (Fowler 2004, 118 – 134; Fowler 2010, 107). V případě České republiky je hlavním dodavatelem snímků pro oblast českého území firma Geodis Brno.

Aplikace Google Earth nabízí z hlediska možnosti prospekce krajiny a evidence lokalit rozsáhlé možnosti. Limitním se v tomto případě však stává přesnost. Ta se může lišit až do 10 metrů (lokálně) od skutečnosti, v důsledku odchylky vzniklé nepřesným georeferencováním zdrojových dat. Otázkou je, jakým způsobem a pro jaké účely chceme data Google Earth použít. Pokud se omezíme pouze na prospekci a základní evidenci lokalit,

je tento zdrojový datový systém plně dostačující. Překážkou se stává ve chvíli, kdy chceme snímky Google Earth požívat jakožto podkladovou kartografickou vrstvu, či jednotlivé výřezy jako barevnou podkladovou vrstvu, případně pro výpočetní techniky vzdálenostních atributů objektů. V tomto případě je nutné datové podklady Google Earth georeferencovat, a tím eliminovat polohopisné odchylky. Jako georeferenční body nám mohou sloužit např. geodetická trigonometrická síť daného území, zaměřené objekty v terénu aj. (Scollar 1978, 71 – 87; Beck 2006; Palmer - Scollar 2008).

Podobnou aplikaci jako Google Earth vytvořilo i NASA (Nautical and Space Administration). Svůj digitální globus, který je tak jako Google Earth open source, nazývá WorldWind. WorldWind se od Google Earth liší v několika zásadních principech. Především zprostředkování možností výběr jednotlivých tematických vrstev USGS (United States Geological Survey) či Landsat 7. Jako viditelnou vrstvu používá vždy pouze jeden zdroj, tím je vytvořena bežešvá a komplexní vizualizace pokryvu zemského povrchu. Spuštěním prostředí Scientific Visualization Studio lze pozorovat a analyzovat vizualizace vývojových trendů přírodních a humánních jevů na světě (odlesňování, vypařování vody atp.). Oproti dynamičtějšímu Google Earth však WorldWind nedisponuje českým rozhraním programu a ve výsledku porovnání kvality poskytovaných dat z hlediska jejich rozlišení velice výrazně zaostává.

3.9.2.5 Zdroje družicových snímků

Družicové snímky lze v dnešní době považovat již za zcela stabilizované obchodní zboží. Nabídka družicových snímků provozovateli jednotlivých systémů je rozdělena do dvou sekcí. První nabídku představují snímky archivní, které jsou uloženy v databázi satelitních snímků dané firmy. Tyto snímky lze pořídit za výrazně nižší cenu než snímky aktuální. Vystává zde ovšem riziko výběru takového kompletu fotografií, které příliš nesplňují vhodné kvalitativní formy pro archeologickou analýzu. Problematická může být především přítomnost

nevhodných meteorologických podmínek při pořizování dat. Snímky jsou často překryty oblačností, případně pocházejí z ročního období zcela nevhodného pro detekci archeologických památek. Druhou skupinu družicových dat zastupují snímky, které jsou pořizovány účelově dle zakázky objednavatele. Tato služba zcela nepochybně reprezentuje ve všech směrech praktičtější schopnost efektivního využití, ale narážíme zde na nepoměrně vyšší finanční náklady pořizování dat.

Konkurenční zdroj komerční nabídky satelitních snímků představují internetové portály, jejichž prostřednictvím se lze k družicovým datům snadno dostat. Mimo všeobecně známé aplikace Google Earth či WorldWind je hlavním zdrojem historických a archivních satelitních snímků systémů CORONA, Landsat, SRTM, SIR-C prohlížeč Americké geologické služby USGS Earth Explorer. Prostřednictvím tohoto rozhraní lze získávat datové soubory jednoho z nejkvalitnějších historických satelitních systémů CORONA (1959-1972). Rozlišení snímků se pohybuje v rozmezí od 12 metrů až po fotografie z kamerových systémů KH-4 a KH-7, jejichž rozlišení dosahuje až 1, 8 metru. Systém CORONA byl na základě rozhodnutí amerického prezidenta odtajněn v roce 1995 a v současnosti je k dispozici cca 900 000 snímků (Fowler 2010 107-108).

Z hlediska poskytovatelských služeb pořizování dat se v současné době plně rozvinula nabídka zakázkové tvorby výstupů dálkového průzkumu Země na objednávku. V České republice zastupuje tuto kategorii především firma Geodis Brno, jejíž specializovaná činnost se orientuje na celé spektrum služeb od geodézie a fotogrammetrie, přes dokumentační a šikmé snímkování krajiny a nemovitých památek po laserové skenování jak v podobě možného využití pozemního laseru, tak od nedávné doby disponuje také plnohodnotným vybavením pro letecké laserové skenování. Samozřejmou součástí nabídky jsou také družicová a radarová data. Mimo této společnosti se na nabídku zprostředkování zakázek nákupu satelitních a radarových snímků specializují i další tuzemské společnosti jako je ARCDATA Praha nebo Gisat. Všechny tyto

společnosti nabízí datové systémy nejmodernějších a nejaktuálnějších družicových dat celosvětových systémů.

3.9.2.6 Zdroje dat leteckého laserového skenování

Letecké laserové skenování, jakožto jedna z nejmladších technologií využívaných v archeologii i dalších vědeckých kategoriích, je stále novou nestandardní metodou a tím spíše je velice obtížné hodnotit ji z hlediska zdrojových datových systémů. V rámci našeho území bylo možné získat data leteckého laserového skenování pouze prostřednictvím smluvní objednávky dat v soukromé sféře. Tato jediná možnost je v současnosti již částečně rozšířena o eventualitu získání datových souborů prostřednictvím organizací státního sektoru. V roce 2008 proběhlo zahájení přípravných prací pro projekt, jehož hlavním cílem byla inovace mapování výškopisu území České republiky s hlavním využitím dat leteckého laserového skenování. Zahájení vlastního projektu proběhlo v roce 2009, kdy bylo započato skenování tzv. středního pásma České republiky. Projekt je realizován v rámci Dohody o spolupráci při tvorbě digitálních databází výškopisu území České republiky mezi Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním, Ministerstvem zemědělství České republiky a Ministerstvem obrany České republiky. Samotné snímkování krajiny České republiky bylo koncipováno do tří základních fází, které byly vymezeny časovým intervalem. V současné době probíhají již finální skenovací práce ve východní části českého území. Termín komplexního dokončení skenovacích prací je naplánován na rok 2012 (Brázdil 2010).

S touto aktivitou pořizování dat probíhá paralelně jejich zpracování. Hlavní cílové produkty budou reprezentovat tři základní vygenerované modelové datové základny:

1. Digitální model reliéfu České republiky 4. generace (DMR 4G), jehož primárním úkolem je zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru. Základní polohová determinace datového souboru je koncipována do pravidelné sítě bodů (GRID - 5x5metrů) o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje

nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. V současnosti je vytvořen DMR 4G z prostorového vymezení území západní a střední části České republiky (cca 67,8 % území ČR). Termín dokončení je plánován na rok 2012, v následujících letech bude probíhat průběžná aktualizace produktu (**Tab. XV**).

2. Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G), jehož primárním úkolem je zobrazení přirozeného nebo lidskou činnostmi upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru. Základní polohová determinace datového souboru je koncipována do nepravidelné trojúhelníkovité sítě (TIN) o souřadnicích X, Y, H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. V současnosti je vytvořen DMR 5G z prostorového vymezení kolem 16 000 km² (cca 19,1 % území ČR). Termín dokončení je plánován na rok 2015, v následujících letech bude probíhat průběžná aktualizace produktu.

3. Digitální model povrchu České republiky 1. generace (DMP 1G) prezentuje zobrazení území včetně zástavby a vegetačního pokryvu ve formě nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohrazené (lesy a další prvky rostlinného pokryvu). Předpokládaný termín dokončení je plánován na rok 2015 s následnou průběžnou aktualizací produktu.

Typologické vymezení zpracování dat tvorby digitálních modelů terénu probíhá v závislosti na typu kvality výsledného produktu. U obou digitálních modelů terénu byla použita základní tzv. robustní filtrace dat. Jejím hlavním záměrem je separace bodů posledního pulsu (dopad laserového paprsku na terén, vegetaci, zástavbu) a zároveň identifikovat chybná měření vzniklá odrazem laserového pulsu od objektů ve vzduchu (letící pták, složky leteckého provozu atp.). K tomuto procesu jsou použity

filtrační techniky automatického matematického algoritmu počítačového softwaru SCOP ++, verze 5.4 společnosti INPHO GmbH. Výsledným výstupem jsou samostatné soubory dat (kategorie), které jsou diferencované dle dopadu paprsku na jednotlivé složky nadzemní části terénu - vrcholky vegetačního pokryvu, vlastní terén, objekty na zemském povrchu (budovy, skály) (Brázdil 2010 a 2012b).

Tento postup (bez následných rozšiřujících metodických úprav) je aplikován při produkci terénního modelu 4. generace pro získání základního modelu filtrovaných mračen bodů laserového skenování v podobě pravidelného gridu. Principiálně byl zvolen postup vytvoření pravidelné sítě čtverců 5x5 m pro celé analyzované území a v každém čtverci byl zvolen pravděpodobný uzlový bod reliéfu jako bod s nejnižší výškou. Výsledný produkt je tvořen množinou nerovnoměrně rozložených uzlových bodů reliéfu, které formují generalizovaný model terénního reliéfu. V následném kroku je tento model podroben interaktivní vizuální analýze za účelem detekce nepřirozených anomálií reliéfu ve smyslu chybně filtrovaných bodů a kontrole „prázdných“ oblastí v modelu zformovaných v místech vodních ploch či zástavby (Brázdil 2012a).

V případě tvorby dat digitálního modelu terénu 5. generace je žádoucí preciznější zpracování a eliminace chyb. Proto jsou výsledné datové soubory robustní filtrace podrobeny přesnější vizuální kontrole dat, jejímž primárním záměrem je eliminovat chybná místa předchozí filtrace, tzn. lokalizace a přeřazení chybně kategoricky zařazených bodů. Pro tuto akci je využíván software DT Master firmy INPHO GmbH. Výsledným produktem této fáze úpravy dat jsou individuální soubory výškových bodů, kategoricky správně interpretované z hlediska jejich původu (body reprezentující vegetační pokryv, zástavbu, výškové překážky) (Brázdil 2012a; 2012b).

Výsledné datové modely jsou v prvotní podobě generovány v souřadnicovém systému WGS – 84. Pro civilní distribuci jsou však transformovány do českého souřadnicového systému S-JTSK ve

výškovém retenčním systému Bpv. Data digitálního modelu 4. i 5. generace jsou datové georeferencované soubory distribuované v podobě textového formátu o základní podobě souřadnicového záznamu x, y, v?, uložených v jednotkách odpovídajících kladu mapových listů Státní mapy 1:5000 (SM 5). Soubory jsou dále na médiích ukládány v adresářích (složkách) po větších celcích pokrývajících listy Státní mapy 1:50 000 (SM 50) (Brázdil 2012a; 2012b). Z hlediska kartografického má tento projekt významný přínos pro zásadní zvýšení podrobnosti a přesnosti výškopisných dat území České republiky a pro významné rozšíření možností jejich využití.

Tento projekt je sám o sobě prvním rozsáhlým využitím letecké laserové snímací technologie na území Čech. Z hlediska hodnocení jeho využitelnosti v rámci archeologie poskytuje do budoucna zcela jednoznačně jeden z nejdůležitějších zdrojů informací. Předpokladem je, že tento soubor by se mohl stát standardizovaným výchozím podkladem archeologických výzkumů či archeologických dohledů. Měl by sloužit jako prvotní orientační podklad zájmového území z hlediska jeho prospekce, detekce případných objektů, ověření viditelnosti a přítomnosti dosud známých archeologických lokalit atd. Velkou výhodou práce s takovýmto zdrojem informací o terénu rozsáhlých krajinných celků spatřuji v možnostech podrobnějšího plánování archeologických výzkumů a především v ochraně archeologického dědictví v důsledku snadné prospekce území a evidence potenciálních dokladů antropogenních činností. Zároveň jsme schopni díky poměrně snadnému přístupu k datům pracovat na zkvalitňování obecnějších polohopisných informací jednotlivých lokalit, které jsou mnohdy lokalizovány pouze orientačně či s přesností na několik metrů.

Společně s výše popsányými datovými vlastnostmi a výčtem možného využití v archeologii vyvstává poměrně dosti aktuální otázka, již je kvalita a efektivita využití jednotlivých datových tříd pro účely archeologických analýz. Z tohoto pohledu se musíme zabývat faktickou problematikou kvalitativních aspektů datových řad. Samozřejmě záměrně

zde opomenou hodnotit kategorii digitálního modelu povrchu (DMP 1G) z důvodu přítomného nefiltrovaného vegetačního pokryvu znemožňujícího analýzu terénu. Můžeme tedy pracovat v podstatě se dvěma skupinami podkladových vrstev. Jednak s výstupy modelu DMR 4G, který je sice filtrován, ale pouze hrubým způsobem, tím pádem obsahuje dosti zásadní chybné údaje zkreslující správné interpretační zařazení bodů. V důsledku toho je daleko náročnější orientovat se daném prostoru, a správně rozlišovat možné terénní deformace signalizující přítomnost objektů. Model DMR 5G byl oproti tomu podroben (kromě hrubé filtrace) také ručním systematickým zpracováním dat za účelem eliminace chybných údajů. Takováto data je z hlediska následné efektivní využitelnosti nutno klasifikovat jako jednoznačně vhodnější, především pak v oblastech náročnějšího terénu jako jsou hornaté oblasti, skalní solitéry, údolní nivy potoků a řek, lomy atd. DMR 4G může sloužit jako výborný podklad v pojetí postupného zpracování a mapování areálů, jejichž geomorfologické vlastnosti jsou víceméně konstantní a výškové rozdíly nejsou nijak markantní. Pro komplikovanější terén je vhodnější využití dat DMR 5G a to zejména z hlediska primární interpretace a detekce jednotlivých entit.

Další faktor ovlivňující efektivitu využití představují parametrické aspekty pořizování dat. V tomto případě byly datové soubory primárně vytvářeny pro účely tvorby nového, přesnějšího výškopisu České republiky. V důsledku této skutečnosti jsme nuceni akceptovat fakt, že data pocházející z tohoto projektu jsou z hlediska parametrů snímání limitující pro účely podrobného průzkumu krajiny a zachycení terénních anomálií menších rozměrů. Podrobné technické údaje jsou obsahem Technické zprávy umístěné v přílohové části práce. Projekt tvorby nového výškopisu České republiky skýtá z hlediska přístupu ke komplexu datových souborů zcela jedinečnou příležitost získat výstupy leteckého laserového skenování za finančně dostupných podmínek.

Poněkud odlišný přístup k nabytí dat leteckého laserového skenování poskytuje komerční sféra. V posledních letech jsme svědky dosti masivního nárůstu firem nabízejících realizaci a zpracování dat

leteckého laserového skenování (Baltsavias 1999, 164 – 198). V oblasti celosvětové nabídky v současnosti nalezneme již stovky firem. Ve sféře evropského prostředí se početní zastoupení pohybuje okolo 30 – 40 společností, které disponují vlastním skenovacím aparátem a jsou schopny jak samotné skenování realizovat, tak i vyhodnotit a zpracovat výstupní data. Převážná většina z nich pochází z anglosaského prostředí (Velká Británie) a německy mluvících zemí (Rakousko, Německo, Švýcarsko - cca 40%). Zbylé společnosti se z hlediska regionální determinace nalézají v oblastech jižní, západní a severní Evropy. Východní Evropu zastupuje pouze ruská instituce Geokosmos (<http://www.geokosmos.com>) a slovinsko-rakouská firma Flycom (<http://www.flycom.si/index.php/en>). V rámci České republiky donedávna neexistovala žádná soukromá společnost, která by letecké laserové skenování měla v nabídce svých služeb. Proto byly pro dílčí projekty využívány společnosti zahraniční. V roce 2009 dochází k zakoupení systému leteckého laserového skenování brněnskou firmou Geodis Brno s.r.o., která je dodnes jedinou společností disponující touto technologií v Česku. V současné době tvoří její vybavení dvě laserová zařízení špičkové kvality: Leica ALS 50-II a Riegl LMS Q680i (**Tab. III**). Ty jsou konstantně umístěny na letových nosičích CESSNA 206 Stationar a Beech Super King Air 200. Pomocí této technologie bylo mimo jiné zrealizováno snímkování krajiny České republiky pro projekt Tvorby nového výškopisu ČR popisovaného výše. Získání dat prostřednictvím dalších tuzemských firem je možné, avšak za předpokladu využití daných společností pouze jakožto zprostředkovatele pořízení dat.

Z hlediska hodnocení frekvence užívání dat leteckého laserového skenování v rámci archeologických projektů v České republice musíme brát v potaz fakt dlouhodobé absence jakýchkoliv možností získání takovýchto podkladových celků zejména z důvodů vysoké finanční náročnosti a vysokých nároků na technické vybavení schopné zpracovat velkoobjemové datové sady. První systematický projekt na toto téma byl realizován v roce 2010 Katedrou Archeologie Západočeské univerzity v

Plzni jakožto grantový projekt GAP405/10/0454 *Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LIDAR)* financovaný fondy Grantové agentury České republiky. Hlavním cílem této dvouleté studie bylo zhodnocení potenciálu a efektivity využití leteckého laserového skenování v české archeologii a zhodnocení informačního zisku, který je tato technologie schopná nabídnout. V rámci tohoto projektu byly využity dvě komerční společnosti za účelem získání a primárního zpracování dat. V prvním roce byla oslovena německá firma s dlouholetou tradicí v oblasti dálkového průzkumu Země Milan Geoservice GmbH, která se ujala realizace první etapy snímkování vybraných polygonů českého území. Ve druhém roce byly využity služby výše zmiňované firmy Geodis Brno. Celkový rozsah snímkaného území se pohyboval okolo 120 km² a byl rozdělen do 14 dílčích polygonů. Vybrané transekty představovaly předem zvolené konkrétní situace odrážející variabilní typologické spektrum archeologických lokalit jak pravěkých a středověkých, tak i novověkých:

Lokality období pravěku (3 500 000 př. n. l. – 5 - 6. století n. l.):

- keltské hradiště na Tříkřížovém vrchu (okr. Litoměřice)
- mohylové pohřebiště doby bronzové Hemerského polesí situovaného v blízkosti řeky Smutná (okr. Tábor, okr. Písek)
- laténské ohrazení Kučeř – Obrovy hroby (okr. Písek)
- laténská výšinná opevněná aglomerace Vladař u Žlutic (okr. Karlovy Vary)
- středobronzové mohylové pohřebiště Štáhlavy – Hájek (okr. Rokycany)
- pravěké ohrazení u Ctiněvsi (okr. Litoměřice)

Lokality období středověku (6. století n. l. – 16. století n. l.)

- zaniklá středověká vesnice Sloupek (okr. Rokycany)
- zaniklá středověká vesnice Kaliště (okr. Rokycany)
- hradní soustavy Kdyňského regionu
- zaniklé středověké vesnice regionu Černokostelecka

- slovanské hradiště Březina (okr. Rokycany)

Lokality období novověku (16. století – současnost)

- polní opevnění druhé poloviny 18. století u Habrovan (okr. Ústí nad Labem)
- novověké relikty předsunutého opevňovacího systému Tereziánské pevnosti u Třeboutic (okr. Litoměřice)
- vesnice Hely (Nassendorf) zaniklá po roce 1945 (okr. Krásná Lípa)

Většina lokalit se nachází v zalesněných oblastech velice těžko mapovatelných pomocí klasických postupů archeologické metody (terénní prospekce). Nejúčinnější technikou se v těchto případech jevila aplikace leteckého laserového skenování, které je schopno vegetací pronikat a poskytovat tak informace o terénu ukrytém pod ní. Parametry snímání byly v obou případech velice podobné a v důsledku jejich nastavení byly získány výsledné digitální modely s rozlišením 1 metr. Hustota laserových pulsů se pohybovala v hodnotách od 1 – 4 bodů/ m². V případě lokality Hemerského polesí byly parametry snímání záměrně nastaveny pro dvojí podobu: jednak pro klasické snímání s hustotou bodů pohybujících se mezi 2-3 body/ m², jednak pro snímání části této lokality s hustotou 10bodů/m². Výsledky tohoto dvojího pojetí snímání odráží míru hodnocení kvality výstupních dat a jejich efektivitu využití pro archeologický průzkum.

Prvotní výsledky tohoto grantového projektu byly již částečně zveřejněny v podobě několika dílčích studií v českých archeologických periodikách a v současnosti je připravována rozsáhlá monografie, jež by měla prezentovat nejen výsledky tohoto grantu, ale také výstupy několika dílčích studií orientovaných na problematiku leteckého laserového skenování v české archeologii (Gojda, M. – John, J. – Starková, L. 2011).

4 OBTÍŽNĚ INTERPRETOVATELNÁ DATA

Název tématu této disertační práce: „Verifikace obtížně interpretovatelných dat leteckého průzkumu“ je v určitém smyslu výzvou v oblasti výběru vhodného metodického postupu. Toto téma zahrnuje široký rámec možného přístupu a pojetí.

Tento termín považuji z několika důvodů za poněkud nejasně determinující. Abychom se mohli pokusit definovat obtížně interpretovatelná data, musíme nejprve vymežit a definovat jaká data je možno interpretovat bez obtíží. Jak je známo, interpretační fáze projektů nadchází jakožto závěrečný krok produkce výstupů, v podobě souhrnu dosažených výsledků. Ve smyslu snahy definovat nejasně interpretovatelná data je nutné pracovat také s pojetím interpretace jakožto praktiky, probíhající již ve fázi prospekční terénní aktivity. V tomto případě prospekci, snímkování a primární interpretaci provádí sám badatel.

Z tohoto důvodu je žádoucí tyto dvě základní interpretační fáze od sebe odlišit. Ve své práci budu užívat dvojí terminologicky odlišné označení. Termín *primární interpretace* je asociován s interpretační formou vyhodnocování situace již v průběhu sběru dat při letecké prospekci. Tento termín také zahrnuje prvotní vyhodnocení situace v rámci analýzy rastrových výstupů dálkového průzkumu Země, především v oblasti detekce objektů a jejich základní kategorizace. Časový horizont produkce závěrečných výstupů a zhodnocení syntetické etapy definuji jako *interpretaci finální*.

Toto prvotní rozlišení poskytuje základy pro bližší vymezení obtížnosti správného vyhodnocení datové základny. Primární interpretační postup v terénu je závislý na celé řadě činitelů, determinujících jeho kvalitu. Jeden z nejpodstatnějších představuje zkušenost badatele (jak při terénní prospekci, tak v prvotním vyhodnocování výsledků automatizovaného sběru dat).

Aspektů, jež vytvářejí faktory ovlivňující interpretační možnosti a efektivitu jak primární, tak finální interpretace je celá řada. K základním náleží meteorologické podmínky snímkování, viditelnost objektů, formační procesy, přírodní prostředí, členitost terénu, princip a nastavené parametry snímkování, kvalita výstupů, metoda zpracování dat a především konfrontace a validace výsledků pomocí dalších metod.

Za obtížně interpretovatelná data lze v zásadě považovat veškeré výsledky primární interpretace získané nejen leteckou prospekcí, ale také dalšími metodami dálkového průzkumu Země. Abychom dosáhli správného výsledku, a spolehlivých interpretačních formulací je nutné vytvořit jistý teoretický model zpracování dat a nadále jej testovat. Testování probíhá v několika úrovních již od samého počátku zpracování vstupních dat po mapování a digitalizaci detekovaných objektů a jejich verifikaci. Model, jenž bude předmětem této disertační práce, je navržen a vytvořen dle konkrétních kritérií formy vstupních datových celků.

Jako vstupní data této studie jsou v titulu uvedena data leteckého průzkumu. Vzhledem k faktu současného trendu masivní integrace letecké archeologie (spolu s dalšími technologiemi) do jednotné kategorie dálkového průzkumu Země, dovoluji si tuto pramennou základnu rozšířit o další datové celky, pocházející ze souboru těchto technologií.

5 VERIFIKAČNÍ METODY

Metody dálkového průzkumu Země mohou být v obecné rovině považovány za nástroj, který je schopen zaznamenávat veškeré aspekty historického prostředí krajiny (především díky možnosti prospekce rozsáhlých krajinných celků v krátkém časovém úseku, dokumentace terénu pod vegetačním pokryvem, poměrně snadného mapování objektů, tvorby podrobných plánů daných situací atd.), a tím jsou považovány za autonomní plnohodnotný prostředek krajinné prospekce. Takovéto tvrzení je nepochybně v mnoha směrech zavádějící, a v následujících kapitolách se budu snažit jej argumentačně vyvrátit. Účel, k němuž dálkový průzkum Země slouží, je především tvorba dvojrozměrných i trojrozměrných

modelů zemského povrchu, fungujících jako podkladové vrstvy po následnou analýzu a identifikaci historických prvků (jež vykazují určitou formu povrchového topografického projevu). Takováto definice podléhá celé řadě faktorů, které významně ovlivňují výslednou interpretační kvalitu dat.

Přestože jsou v současné době metody dálkového průzkumu Země považovány za jednu z nejprogresivnějších technologií, nelze je brát jako samostatně aplikovatelné. Naopak jsme nuceni k jejich neustálé konfrontaci s dalšími technikami a metodami. V tomto smyslu se může zdát, že by aplikace jednotlivých technik dálkového průzkumu Země a jejich komparace mohla být považována za jistou formu redundantního přístupu získávání informací, ale vzhledem ke zcela jedinečnému přístupu zpracování dat a možnostem využití této technologie u širokého záběru typů archeologických lokalit nabízí údaje, jež naopak významně doplňují a dotvářejí komplexní zhodnocení archeologických situací.

Za verifikační metody dat dálkového průzkumu Země lze považovat jak techniky odlišných archeologických postupů, tak i metody přidružených vědeckých oborů, které je možno využít k získání širšího spektra interpretačních produktů. Zároveň jako ověřovací vědecké postupy mohou sloužit i jednotlivé technologie dálkového průzkumu Země mezi sebou.

V následujících kapitolách budou představeny standardní základní verifikační praktiky, stejně tak jako inovativní postupy v české archeologické sféře.

5.1 Heuristická část verifikačního postupu

Za tuto fázi považuji aplikaci takových postupů, které nepracují na podkladě datové základny ve smyslu technických digitálních dat. Jedná se o metody založené na analýze a konfrontaci humanitních pramenů.

5.2 Praktické verifikační metody

Termín praktické verifikační metody značí postupy, jejichž výchozí pramennou základnu tvoří soubory digitálních datových komplexů, s nimiž lze nadále pracovat prostřednictvím aplikovaných technologických postupů (databázové soubory, geografické informační systémy, statistické analýzy, atd.).

5.3 Historické prameny

Za historické prameny jsou považovány takové zdroje informací, které (v důsledku jejich uchování) nám v současnosti mohou podávat informace o věcech a stavech minulých. Za tyto prameny lze označit vše, co bylo vytvořeno prostřednictvím lidského působení. Jejich hlavním přínosem je možnost jejich využití jakožto verifikačního pramene k historickým událostem (platí i pro archeologii).

Zdrojů historických pramenů je několik druhů. Mohou být v podobě jak psané, tak i nepsané (artefakty, ekofakty, kosterní pozůstatky, audiovizuální), ikonografické, orální či etnografické (folklór).

Písemné prameny

Písemné prameny představují jeden ze základních a primárních zdrojů verifikačních dat. Kategorizací tohoto typu informací je několik druhů. V této práci se v přehledu budu držet základního výčtu.

- Prameny úřední - jsou institucionálního původu a lze je dále kategorizovat dle jejich funkčního vymezení:

- normativní prameny: zákoníky (jedním z nejvýznamnějších dokladů zákoníku vydaného panovníkem je Horní zákoník Václava II. pro Kutnou Horu)

- diplomatické prameny: listiny (v českém prostředí od poloviny 12. století, první listiny vydány Vratislavem II., v první fázi byly listiny vytvářeny jednotlivci, od druhé poloviny 13. století nalezneme již listiny měst), listy (z období 10. – 12. století jsou známy pouze ojedinělé záznamy korespondenčních aktivit, ve století 13. se již tento způsob komunikace rozvíjí a je známa celá řada pravých i fiktivních listů z této doby), akta.

- správní a hospodářské prameny: úřední knihy (jedná se o prameny mimořádného významu, jejichž využití nalezneme ve sférách politických a správních, sociálního života a myšlení a kulturních, v počátcích vzniku tohoto typu písemného záznamu byly úřední knihy ryze soukromou záležitostí úředních kanceláří, od poloviny 13. století lze zaznamenat také přítomnost úředních knih veřejných), účty, soupisy půdy, berní rejstříky, desky zemské, urbáře atd.

• Prameny soukromé – představují soukromé písemné výstupy v podobě osobní korespondence, privátních deníků a písemných pozůstalostí.

• **Narativní prameny**

- Historiografie (dějepisectví): kroniky, anály a letopisy.
- Hagiografické texty: legendy.
- Krásná literatura: romány, básnické sbírky, fiktivní literatura.
- Cestopisná literatura.

Z prostředí klášterního a kapitulního známe listiny, vytvářené především pro liturgickou paměť (např. kalendáře, soupisy jmen, hodností zemřelých členů klášterní komuny, evidence světců atd.) (Kutnar – Marek 1997, 19 – 129; Semotanová 2002, 28 - 38; Bláhová 2009, 508 – 529, 640 - 645).

Orální prameny

Do této skupiny historických pramenů řadíme jak výstupy tradičních kategorií, jako jsou ústní lidová slovesnost či mytologie, tak i výstupy získané metodickým přístupem orální historie (Kutnar – Marek 1997, 19 – 129; Semotanová 2002, 28 - 38; Bláhová 2009, 508 – 529, 640 - 645).

Ikonoografické prameny – kartografické podklady, nákresy, veduty, obrazy atd.

(Kutnar – Marek 1997, 19 – 129; Semotanová 2002, 28 - 38; Bláhová 2009, 508 – 529, 640 - 645).

5.4 Archivy archeologických akcí a publikační fondy

Základem jakékoliv heuristické fáze projektu je vytvoření souboru tematicky adekvátního fondu publikačních výstupů. Mezi zdrojová informační data patří dále systémy, jež jsou přístupné prostřednictvím digitálních technologií. Výhodou tohoto typu informací je jejich kompaktnost a snadná dostupnost. Databázové systémy archeologického zaměření, jež mají celostátní a oficiální status, jsou v České republice dvojího typu. Zaprvé se jedná o systém evidující území s archeologickými nálezy - **Státní archeologický seznam České republiky (SAS ČR)**. Jeho hlavní správní jednotkou je Národní památkový ústav – ústřední pracoviště. Možný přístup do tohoto systému je jak z veřejné sféry (omezený), tak i profesní (plnohodnotný). Jeho vytváření probíhalo v letech 1995 – 2003 pod vedením Lenky Krušinové. Hlavní cíle tohoto projektu jsou orientovány na vytvoření jednotného informačního systému (využitelného všemi institucionálními jednotkami archeologického oboru), produkci digitální mapy území a archeologických nálezů v České republice, která by dané databázové údaje zpodobnila v prostorovém rozlišení. Konkrétní záznamy archeologických situací jsou zaznamenávány do podkladové mapy 1:10000. V současné době je již zpracováno téměř 100 % celého území Čech a Moravy.

Území s archeologickými nálezy jsou rozděleny do 4 tříd:

1. UAN I – území s pozitivně prokázaným a dále bezpečně předpokládaným výskytem archeologických nálezů

2. UAN II – území, na němž dosud nebyl pozitivně prokázán výskyt archeologických nálezů, ale určité indicie mu nasvědčují; pravděpodobnost výskytu archeologických nálezů je 51–100%

3. UAN III – území, na němž dosud nebyl rozpoznán a pozitivně prokázán výskyt archeologických nálezů a prozatím tomu nenasvědčují žádné indicie, ale předmětné území mohlo být osídleno či jinak využito člověkem, a proto existuje 50% pravděpodobnost výskytu archeologických nálezů. Jde o veškeré ostatní území státu mimo UAN I, II a IV

4. UAN IV – území, na němž není reálná pravděpodobnost výskytu archeologických nálezů. Jde o veškerá vytěžená území, kde byly odtěženy vrstvy a uloženiny čtvrtohorního stáří (Krušinová a kol. 2003).

Archeologická databáze Čech (ADČ) je databázovým produktem Archeologického ústavu Akademie věd České republiky v Praze, v.v.i. Tato instituce zajišťuje také jeho správu a aktualizace. Jedná se o centrální evidenční systém archeologických nálezů a výzkumů v prostoru Čech. Základní vstupní jednotkou, dle které je vlastní databáze modifikována je Zpráva o archeologické akci, které jsou vytvářeny autory terénních výzkumů. V současné době se počet záznamů pohybuje mezi 75000 – 80000 převážně novodobých archeologických akcí. Starší záznamy (starší než druhá polovina 80. let) archivu Archeologického ústavu jsou průběžně revidovány a postupně doplňovány. Mapové podklady tohoto projektu jsou identického měřítká jako podklady SAS 1:10000. Jednotlivé záznamy jsou ukládány ve variabilním rozmezí přesnosti prostorové identifikace, vyjádřenou jednotkou PIAN. Základní podoba tohoto databázového systému byl vytvořena již v roce 1992 a od této chvíle prošela několika modifikacemi až do současné verze Archiv 3.0 (Kuna 1997, 105 – 109; Kuna – Křivánková 2006).

Tyto dva systémy zastupují kapacitně nejrozsáhlejší databázové systémy v české archeologii. Bezesporu se setkáme s celou řadou dalších, rozsahově menších souborů buď lokálního či institucionálního charakteru. Ty se samozřejmě stávají také předmětem zájmu badatele jakožto komparační a informační zdrojový materiál.

5.5 Historické mapy a historická geografie

Interdisciplinární obor, zabývající se sledováním proměny geografického prostoru v čase se nazývá historická geografie. Jeho využití nalezneme v široce rozsáhlém spektru od geografie, přes historické, sociální, politologické vědní obory po oblast přírodovědnou, ekologii a mnoho dalších.

Charakteristika tohoto oboru může být definována jako disciplína, dotýkající se otázek vztahu Země a člověka, přírodních a společenských věd a zároveň hledáním vzájemných vztahů mezi pojetím prostorových vlastností krajiny a působením času (Semotanová 2002a, 11). Hlavním cílem tohoto oboru je zhodnocení aktuálních i minulých stavů geografického prostoru, společně se sledováním jeho změn a vývoje. Významnou kategorií představuje výzkum aspektů, jež byly v minulosti příčinami změn v krajinném prostoru, a důsledků, které svým působením zapříčinily. Snahou historické geografie je úsilí o reverzní rekonstrukci v současnosti již zaniklých typů krajiny, na jejichž modifikaci se v minulosti negativně či pozitivně podílel lidský faktor (Semotanová 2002a, 12).

Soubor metod historické geografie zasahuje do celé řady různých oborů. Především se však jedná o historii (vývoj a transformace krajiny v minulosti na základě písemných pramenů), kartografii, geografii a dalších oborů, jež bezprostředně souvisí s poznáváním minulosti a prostorovými analýzami Země (dálkový průzkum Země, geologie, hydrologie, botanika, archeologie aj.) (Semotanová 2002a, 63-64).

K hlavním představitelům současné historické geografie českého prostředí patří členové Komise pro historickou geografii Historického ústavu Akademie věd ČR, kterou tvoří E. Semotanová, J. Žemlička a R. Šimůnek. Dále to jsou J. Schulz, M. Trapl (Kabinet regionálních dějin, Katedra historie, Filozofická fakulta Palackého univerzity v Olomouci) či M. Bičík a L. Jeleček (Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze).

Za jedny ze zakladatelských prací historické geografie jsou považovány monografie právě E. Semotanové, která se mimo metodologického a teoretického vymezení věnuje také publikaci atlasů českých dějin (Semotanová 2001; 2002a; 2002b). Především tvorba atlasových publikačních výstupů poskytuje cenné zdroje informací, využitelných v oblasti verifikačních metod.

5.5.1 Kartografické prameny

Jako jeden z hlavních pramenů historické geografie slouží historická kartografická díla. Tento fakt je společným prvkem také v souvislosti s metodickým ověřováním archeologických situací v terénu. Proto je právě tento zdroj jedním ze základních verifikačních materiálů, využívaných v dálkovém průzkumu Země.

Jako základní kartografická díla jsou nejčastěji využívány výstupy historického mapování převážně 15. – 19. století, ale také století 20. (Semotanová 2002a, 37; 2002b). V archeologické oblasti jsou tato nejmladší kartografická díla využívána především v prostředí prostorové archeologie a v nově se rozvíjející oblasti archeologického výzkumu moderních dějin.

Nejvýznamnější kartografické prameny pro území Čech představuje bezesporu Müllerova mapa Čech a Moravy, soubory rukopisných map pro větší územní celky, kartografické výstupy I., II. a III. vojenského mapování a císařské otisky stabilního katastru. Z mapových podkladů mladšího

horizontu se jedná především o celostátní mapová mnoholistová díla (Semotanová 2002a, 39 – 48). V digitalizované podobě nalezneme nejen například celou řadu aktuálních topografických a leteckých mapových podkladů aktuálního stavu (konec 20. / počátek 21. století – současnost) na mapových portálech jako Mapy.cz, Google Maps či Google Earth, ale jsou k dispozici již další digitalizované kartografické zdroje pocházející z moderního období. Jako příklad uvádím produkt českého úřadu zeměměřického – Topografickou mapu Čech z roku 1952 (archivnimapy.cuzk.cz), jež je velice cenným informačním zdrojem především pro obory, zabývající se poválečným stavem české země (Semotanová 2002a, 39 – 48).

5.5.2 Historická kartografická díla

Müllerova mapa Čech a Moravy – jedná se o soubor kartografických prací Jana Kryštofa Müllera, jež vznikaly jako produkt objednávky rakouské monarchie na zmapování prostoru Čech a Moravy dle vojenských, správních a hospodářských požadavků. Obsahem byl podrobný topografický popis včetně vymezení zemědělských usedlostí, zaniklých osad, mlýnů, důlní činnosti, hutí, skláren atp. Měřítkové parametry byly rozdílné pro území Čech – 1:132000 a Moravy – 1:180000.

I. vojenské mapování – tzv. „josefské“ (1764 – 1767), mapové soubory nahrazovaly předcházející vojenské mapové dílo, čímž byla Müllerova mapa Čech. Nové kartografické celky disponovaly přesnějšími a podrobnějšími vlastnostmi. Měřítko těchto mapových plánů bylo dvojnásobné - 1:28800 a 1:14000.

II. vojenské mapování – tzv. „Františkovo“ (1806 – 1869), v průběhu tohoto mapování byla budována trigonometrická katastrální síť, sloužící jak pro mapování Státního katastru, tak i pro striktně vojenské účely. Měřítkové parametry byly také v tomto případě, stejně tak jako u mapování josefského nastaveny na hodnotu 1:28800.

Stabilní katastr – pochází z první poloviny 19. století (1826 – 1843), hlavním účelem jeho vytvoření bylo získání přesného měřického podkladu pro stanovení pozemkové daně. Měřický aparát tohoto systému sloužil v pozdější době jako základní vymezení katastrálních map České republiky. Měřítko mapových listů tohoto systému byla 1:2880, 1:440 a 1:720.

III. vojenské mapování – (1874 – 1880), jeho vznik byl podmíněn nedostačujícími parametry mapování předchozího, především pro vojenské účely. Jeho podkladem se staly katastrální mapy a oproti druhému vojenskému mapování jsou topografické údaje doplněny a vylepšeny o znázornění výškopisu pomocí vrstevnic a kót. Měřítko mapových podkladů přiřazené tomuto mapování bylo dvojí - 1:200000 (černobílé mapy) a 1:75000 (kolorované výstupy).

Obrovským přínosem výše uvedených mapových podkladů je také fakt, že jsou v dnešní době dostupné také v digitalizované podobě. Tím se stávají opravdu plnohodnotným zdrojem informací analytického potenciálu (komparace objektů, typologické a funkční zařazení, analýza polohopisných vlastností a morfologických aspektů). Jako volně dostupné jsou v současné době distribuovány mapy II. a III. vojenského mapování, se zbylými kartografickými díly lze pracovat pouze v prostředí specializovaných prohlížečů Českého úřadu zeměměřického.

5.5.2.1 Mapové produkty současnosti a letecké archivy

V dnešní době každodenního využívání internetových mapových serverů je tento zdroj informací jedním z nejnázemně aplikovatelných. Proto jej považují za jednu z nejvýraznějších ověřovacích a konfrontačních metod současnosti. Stejně tak je tomu v případě archivů leteckých snímků. Také tento zdroj je neopominutelným pramenem prostorové archeologie. Přehled dostupných zdrojů internetových mapových portálů a archivů leteckých snímků je obsažen v samostatné kapitole této disertační práce.

5.6 Povrchové sběry

Prvořadým úsilím interpretační fáze projektu je definovat danou lokalitu z hlediska funkční determinace. Tento přístup není možné naplnit bez primární kategorizace dané lokality v pojetí chronologického zařazení. Abychom tohoto dosáhli, je nutné využít metody, poskytující datovací prostředky. Jednou z těchto metod je povrchový sběr. K dalším otázkám, které mohou být prostřednictvím této metody řešeny, náleží ověřování přítomnosti komponent v daném prostoru, hodnocení intenzity aktivit v daném areálu, analýza prostorových vztahů a míra transformačních procesů v závislosti na typu lokality atd. (Vencel 1995, 11 – 57; Kuna 2004, 305).

Povrchové sběry lze zařadit do kategorie tzv. **málo destruktivních metod**. Tato činnost hledá a analyzuje stopy aktivity člověka (osídlení) pomocí archeologických artefaktů a jejich fragmentů, jež jsou rozptýlené na povrchu terénu. Záznamy získané prostřednictvím povrchových sběrů jsou v dalších fázích předmětem podrobnější deskripce a analýzy (Kuna 2004, 305).

Veškeré pozitivní charakteristiky této metody musí však být brány s určitou rezervou. Je celá řada negativních faktorů, které způsobují zkreslení či obtížnou interpretaci sběrových dat. K nejpodstatnějším náleží transformační procesy, kterými movité artefakty prošly předtím, než byly přemístěny do terénního pokryvu a na jeho povrch (Kuna 2004, 305). K základním formačním procesům, jež ovlivňují formální a prostorové vlastnosti faktů patří především erozní a akumulační procesy, vlastnosti artefaktů, objektů a areálů, typy půdního pokryvu a vliv podnebí, moderní zemědělská činnost, lidský faktor atd. Důsledky, které tyto procesy vyvolávají, důrazně ovlivňují výpovědní hodnotu a zkreslují interpretační výstupy (Kuna 1994; Vencel 1995; Kuna 2004, 308 – 324).

Na výsledku efektivity a objektivnosti povrchových sběrů má významný podíl také volba metody. Základní rozdělení je zastoupeno dvěma kategoriemi – syntetické a analytické povrchové sběry. Podrobným

definováním a hlubším propracováním se zabýval M. Kuna (Kuna 1994) zejména prostřednictvím využití sběrových dat projektu ALRB (Kuna 2004, 324 – 334).

Historický vývoj uplatnění metody povrchových sběrů v rámci české archeologie je nutné hodnotit poměrně kriticky. Vzhledem k poměrně pozdnímu počátku využívání sběrové techniky v archeologii (nejprve v oblasti středověké archeologie – 70. léta 20. století) docházelo v předchozích letech k významné ztrátě a zániku rozsáhlého fondu archeologického materiálu v důsledku změn zemědělských technik (Kuna 2004, 307). Etablování povrchových sběrů do archeologie pravěké, bylo především důsledkem snahy o analýzu archeologického dědictví ohrožených regionů (Mostecko), v rámci projektů 80. let 20. století byl hlavním zájmem severočeských archeologů analytický výzkum v prostorových jednotkách mikroregionů. Tento přístup byl v dalších letech rozvinut a jeho hlavní terénní technikou se staly povrchové sběry (Smrž 1987, 601 – 621). Hlavní řešené otázky byly situovány do sféry analýzy velikosti pravěkých komunit, hustota osídlení, dynamické proměny sídelních areálů, vztah komunit k přírodnímu prostředí atd. (Kuna 1997, 173 – 194; Kuna 2004, 307 – 308). Významným příspěvkem přispěl do této problematiky také E. Neustupný, který již v roce 1986 publikoval studii, týkající se teorie sídelních areálů pro pravěké období. Tato práce byla výrazným inspirativním dílem pro budoucí výzkumy, především svým inovativním přístupem charakteristiky sídelních areálů, jejich prostorového vymezení a především dynamikou a stabilitou jednotlivých areálů na základě archeologických nálezů (Neustupný 1986, 226 – 234; Neustupný 1994, 248 – 258).

V současnosti je metoda povrchových sběrů již plnohodnotnou a aktivně využívanou metodou v archeologii. Hlavní podíl na tomto faktu mají především projekty 90. let 20. století, předně orientované na sledování vztahů mezi osídlením a krajinou, na zkoumání kontinuity a diskontinuity osídlení, strukturu osídlení, dispoziční uspořádání areálů aktivit atd., u nichž povrchové sběry hrály významnou roli – projekt

Ancient Landscape Reconstruction in Bohemia (ALRB; 1991 - 1995), projekt Loděnice (1993 – 1995) (Kuna et al. 1993, 110 – 130; Neustupný – Venclová 1996, 713 – 724).

Archeologické výzkumy současnosti, jejichž součástí byly ve větší míře povrchové sběry, zastupuje projekt Archeologie krajiny Podřipska (2006 - 2010). V rámci tohoto projektu byly povrchové sběry uskutečněny ve dvou hlavních etapách (Janíček – Novák – Trefný 2007; Janíček – Trefný 2010). Výsledky byly publikovány v monografii, jež je komplexním výstupem celého projektu (Gojda – Trefný a kol. 2011, 80 – 98). Jedním z cílů byla v tomto případě analýza vytipovaných geomorfologických objektů a určení jejich vztahu k antropogenním sídelním aktivitám. Druhou sféru představovala oblast verifikace dat letecké prospekce (lokality Ctiněves). Model zvolené metody povrchových sběrů představovala aplikace analytického typu sběrů. Výsledky, jichž bylo dosaženo, nebyly však schopny objektivně prokázat či potvrdit žádné struktury, jež by mohly být analogickými charakteristikami obou metodických přístupů. Tento fakt je nepochybně z velké míry důsledkem negativních transformačních faktorů, které se podílejí na vysoké obtížnosti interpretace jak povrchových dat, tak i na následné konfrontaci s datovými výstupy letecké prospekce. Nicméně metoda analytických povrchových sběrů při efektivně nastavených parametrech (volba polygonu, typu sběrové techniky, hustoty sítě atd.) je schopna poskytovat zásadní informace, které letecká prospekce postrádá, a to je chronologická determinace lokality. V každém případě je nutné získané informace kriticky hodnotit a brát v potaz možné interpretační odchylky, způsobené rozsáhlým množstvím přírodních i antropogenních vlivů.

5.7 Geofyzikální metody

Náleží k základním a velice rozšířeným verifikačním metodám.

Geofyzikální průzkum pod zemským povrchem je realizován prostřednictvím měření, analýzy a interpretace fyzikálních polí na

povrchu. Geofyzikální metody, uplatňované v archeologii náleží do oblasti tzv. aplikované geofyziky. Aplikovaná geofyzika představuje kategorii podpovrchových průzkumů, která je nedestruktivního charakteru (Křivánek 2004, 117; Tirpák 2010, 5 – 6).

Aplikovaná geofyzika je vědecká disciplína, která se zabývá studiem fyzikálních polí Země, jejich projevů ve vztahu ke geologickým vlastnostem Země a procesům, které jsou spjaty s vývojem zemského tělesa. Aplikovanou geofyziku v archeologii můžeme v dnešní době považovat za samostatně se rozvíjející odvětví, které je také označováno termínem archeogeofyzika (Křivánek 2004, 117; Tirpák 2010, 6 - 7).

Kategorizace základních geofyzikálních metod je založeno na vymezení podstaty zkoumaných polí (Křivánek 2004, 120 – 126; Tirpák 2010, 5):

- gravimetrické - měření tíhového pole Země
- magnetické - měření magnetického pole Země
- geoelektrické - měření elektrických a elektromagnetických polí
- seismické - měření rychlosti šíření elastických vln v různém horninovém prostředí
- radionuklidové - měření radioaktivity hornin a životního prostředí
- geotermometrické - měření teplotního pole Země a tepelného toku
- karotáži metody (měření ve vrtech)

Geofyzikální průzkum je prvním krokem pro potvrzení existence archeologických objektů, určení jejich přesné polohy a rozměrů, rozsahu, směru apod. Na základě těchto skutečností lze pak mnohem efektivněji přistoupit k terénnímu výzkumu či zpřesňovat interpretační výstupy (Křivánek 2004, 117).

Pro potřeby archeologie je průzkum realizován na povrchu země s cílem prospekce či detekce archeologických objektů. Předpokladem efektivity aplikace geofyzikálních metod podmíněn faktem lišících se fyzikálních vlastností jednotlivých archeologických objektů (např. základy stavebních konstrukcí, výplně jam ap.) od okolního horninového prostředí, a aby tento rozdíl byl měřitelný geofyzikální přístrojem. Za takové vlastnosti jsou považovány kategorie jako například elektrická vodivost, hustota, magnetismus, pružnost, teplota a radioaktivita (Tirpák 2010, 4).

Pro účely získání co nejkvalitnějších výsledků je zpravidla kombinováno několik měření odlišných fyzikálních polí zkoumaného prostředí, pro lepší vyhodnocení a kontrolu dosažených výsledků. Vzájemnou korelací výsledků z dílčích metod lze získat komplexnější představu o vlastnostech zkoumaného území a přítomnosti či absenci záznamů antropogenní činnosti (Kvamme 2003, 435 – 441).

Projekty realizace geofyzikálního průzkumu zpravidla představují tyto kategorie (Tirpák 2010, 21):

a) rekognoskační - je realizována na archeologicky neprozkoumaných lokalitách.

b) vyhledávací - jejím úkolem je zpřesnění celkové polohy, průběhu a velikostí antropogenních struktur ve zkoumaném území.

c) podrobnostní – zpřesňování dosažených výsledků aplikací více měřičských metod.

d) kontrolní - průzkum dna archeologických sond, ověřuje, zda nejsou pod povrchem žádné další archeologické objekty.

e) měření fyzikálních vlastností - jejím úkolem je měření fyzikálních parametrů přímo na odkrytých archeologických strukturách a odběr vzorků pro laboratorní měření fyzikálních parametrů.

V archeologii patří k nejčastěji užívaným metodám techniky magnetické a geoelektrické.

Magnetické metody

Magnetické metody představují jednu z nejefektivnějších metod aplikované geofyziky zkoumající přirozené geofyzikální pole, a zabývající se sledováním magnetického pole Země a jeho regionálními a lokálními poruchami (Kvamme 2003, 441; Křivánek 2004, 122).

Za příznivých podmínek jsou záznamy magnetometrických měření schopny odhalit široký okruh archeologických objektů, například: sídlištní komponenty (jámy, zemnice, chaty, kúlové jamky), liniové objekty (příkopy, ohrazení, valy, žlaby, cesty) a teplotně namáhané objekty (hrnčířské pece, vypálené mazanice, spáleniště). Dále pak hrobové jámy, žárové hroby a mohyly, v prostředí výrobních objektů hutní pece, sekundární odpad po výrobě železa, skla, keramiky, kultovní objekty a depoty (Tirpák 2010, 36).

Geoelektrické metody

Geoelektrické metody se zabývají výzkumem stacionárního elektrického pole Země a oblastí nestacionárních elektromagnetických polí. Předmětem měření elektrického odporu na povrchu zkoumaného terénu je určit rozložení zdánlivého elektrického odporu v horninovém prostředí pod povrchem, na základě tohoto principu lze odhadnout prostorové rozložení odporu skutečného (Kvamme 2003, 441 – 442; Tirpák 2010, 55).

Tyto metody jsou z hlediska využití v archeologii nejvhodnějšími prostředky pro vyhledávání objektů s kamennou konstrukcí (základy staveb, valy, mohylové kamenné věnce atd.), při průzkumu určitých typů zahloubených objektů (jámy, příkopy) a dutých či vytěžených prostor (hrobky, dutiny, exploatační útvary atd.) (Křivánek 2004, 122).

V českém prostředí se geofyzikálními analýzami v archeologii zabývá především R. Křivánek, který se této problematice věnuje již od počátku 90. let. Za dobu svého působení publikoval celou řadu významných děl, orientovaných na komplexní zhodnocení geofyzikálních metod v archeologii a především studií dílčích archeologických projektů využívající v průběhu svého trvání tyto metodické praktiky (Křivánek 1996; 2004; 2008; 2009; 2011 a další).

5.8 Povrchový průzkum reliéfu

Z hlediska zpracování a interpretace dat dálkového průzkumu Země se nelze vyhnout povrchovému průzkumu reliéfu. Především v případě využití dat leteckého laserového skenování dochází k tak masivnímu interpretačnímu šumu a zkreslení již ve fázi primárního vyhodnocení dat, že jsme téměř v každém případě potenciálního pozitivního záznamu nuceni ověřit si naši prvotní interpretaci s dalšími informačními zdroji. Terénní povrchový průzkum reliéfu představuje verifikační postup, který zpravidla následuje heuristickou fázi analýzy dostupných zdrojů a technik.

Lze jej charakterizovat jako výzkum antropogenních tvarů reliéfu, které představují zásahy činnosti člověka a lidské chování v minulosti (Kuna 2004, 237). V klasickém pojetí bývá tento výzkum doplněn také o praktiky prostorového zaznamenávání jednotlivých reliktních pomocí tachymetrických metod. V tom případě lze hovořit o aplikaci tzv. geodeticko – topografickém průzkum (Smetánka – Klápště 1979, 614 - 628; 1981, 416 - 458). Počátky rozvoje vizuální prospekce lze hledat v poválečném období, zejména v prostředí nově vznikající koncepce oboru středověké archeologie.

Jedním z prvních archeologů, formujících teoretickou základnu byl Z. Smetánka, který vizuální prospekci terénu využíval obzvláště při archeologických výzkumech zaniklých středověkých osad (Svídna, Vyžlovka) (Smetánka 1969, 618 – 625; Smetánka – Klápště 1981, 416 -

458; Smetánka 1988). Neméně významným dalším představitelem je E. Černý, který se zabýval především mapováním zaniklých středověkých vesnic a jejich zázemím v podobě reliktních plužin v prostoru Dražanské vrchoviny (Černý 1973; 1993). Další oblastí, jejímž prostřednictvím dostal povrchový průzkum reliktních konkrétnější podobu, je montánní archeologie. Za hlavního představitele a průkopníka tohoto směru je dodnes považován J. Kudrnáč (Kuna -Tomášek 2004, 240). V nedávné době se tomuto tématu věnoval také K. Nováček působící na plzeňské katedře archeologie (Nováček 1993, 7-11).

Průzkum antropogenních tvarů reliéfu je praktikován především v prostředí, které nelze analyzovat prostřednictvím jiné nedestruktivní metody (povrchový sběr). Z tohoto důvodu je aplikován nejčastěji v prostředí uzavřených, zalesněných či zatravněných přírodních oblastí, u kterých nejsou objekty hrubě či pozvolna destruovány zemědělskou činností, tím pádem jsme schopni detekovat je pouhým vizuálním kontaktem.

Otázkou zůstává, jak velký podíl celkového počtu skutečných reliktních rozmístěných v prostoru jsme schopni zachytit pomocí vizuální terénní prospekce v konfrontaci s moderními prospekčními metodami.

5.8.1 Typologie objektů

Stejně tak jako v případě letecké archeologie, je i v této metodě velice obtížné vytvářet jakoukoliv morfologii objektů povrchového průzkumu. I v této situaci hraje velice významnou roli subjektivismus a empirie prospektora.

Při průzkumu terénu není hlavním cílem pouhá detekce objektů, ale také analýza jejich přesné morfologie, prostorového kontextu, povrchového vzhledu, metrických parametrů, povrchových nálezů atd. (Kuna - Tomášek 2004, 241 – 242). Do nedávné doby byly tyto analýzy limitovány možnostmi terénního prospektora a kvalitou vybavení. V

dnešní době pomocí praktik dálkového průzkumu Země jsme schopni analyzovat terén daleko efektivněji a podrobněji včetně výrazného zkvalitnění analýzy metrických a polohopisných analýz. Letecké laserové skenování poskytuje (především díky jeho schopnosti pronikat skrz vegetaci) obrovský potenciál právě v této oblasti nedestruktivních archeologických metod.

Základní typologie objektů, odvozená z terénního průzkumu tak v budoucnu může být rozšiřována o nové informace, usnadňující určení jejich funkčního či symbolického smyslu, a tím pochopení širší vazby sídelního prostoru v krajině (Neustupný 2003b, 291 – 295).

Jednu z prvních typologií reliéfních tvarů vytvořili Z. Smetánka a J. Klápště, jakožto jeden z výstupů jejich projektu geodeticko – topografického průzkumu zaniklých středověkých osad. Tato typologie, odvozená z antropogenní geomorfologie představuje příklad vytvoření typologické řady prostřednictvím analytických postupů, v obecném směru velmi obtížně použitelných v rámci vizuální prospekce (Smetánka – Klápště 1979, 614 – 628; 1981, 416 - 458). Analytický postup lze využít za předpokladu vytvoření např. formalizovaného popisu jednotlivých objektů (Kuna - Tomášek 2004, 242), eventuálně vytvořením databáze metrických a morfologických dispozic objektů buď z dat geodetického zaměřování, případně leteckého či pozemního laserového skenování. S takovými daty lze pracovat následně v prostředí počítačových softwarů (v tomto případě u formalizovaných metod a geografických informačních systémů). M. Kuna tuto typologii rozvedl a vytvořil komplexní grafický přehled hlavních druhů objektů a areálů, detekovaných prostřednictvím prospekce reliéfních tvarů (Kuna 2004 - Tomášek, 241).

Charakteristikou typologie individuálních kategorií archeologických situací se zabývala celá řada specialistů. Schémata půdorysné determinace středověkých vesnic a jejich plužin E. Černý (Černý 1973), typologií objektů montánní archeologie K. Nováček (Nováček 1993), z novověkých záležitostí lze uvést typologii komplexů obléhacích táborů a

fortifikačních barokních systémů od P. Meduny (Meduna - Černá 1991; 1994) aj.

5.8.2 Dynamické procesy v krajině

Negativní faktory, jenž se výrazně podílejí na zvyšování obtížnosti typologické a morfologické klasifikace, a tím také interpretace, představují dynamické prvky a procesy reliéfu. Z archeologického hlediska nejdůležitější období pro sledování dynamiky povrchu krajiny je holocén (mezolit – novověk). Současný povrch terénu krajiny je výsledek dlouhodobých transformačních procesů, které více či méně ovlivnily a ovlivňují stav dochovanosti archeologických pramenů.

Základní skupinu formačních procesů představují erozní aktivity. Ty lze determinovat dle kritérií prostředí (svahová, říční), způsobu (větrná, vodní, mechanická a chemická), podle typu erodovaného materiálu (půda, horniny) (Dreslerová 2004, 31 – 46). Druhou skupinu dynamických aktivit terénu tvoří změny půdních povrchů – akumulace (říčních teras), pedoturbace a rekultivace (Dreslerová 2004, 31-48).

Archeologické transformační procesy svým působením značně ovlivňují zachování a poznatelnost archeologických pramenů. Tento fakt je nutné mít na zřeteli, pokud přistupujeme k interpretačnímu vyhodnocování.

„Smysluplná interpretace archeologických pramenů záleží na naší schopnosti porozumět geologickým procesům transformujícím archeologický záznam. Rozpoznání role těchto faktorů při formování archeologické památky pomáhá vytvořit strategii efektivního výzkumu lokalit i kritické zhodnocení staršího nálezového fondu.“ (Dreslerová 2004, 48).

5.9 Archeologický výzkum odkryvem

Terénní archeologický výzkum provedený tradičním způsobem (exkavací) náleží do skupiny tzv. destruktivních praktik archeologické metody. Obvykle bývá velice nákladnou záležitostí, a to v závislosti na jeho rozsahu. Může být aplikován jako komplexní odkryv (plošný odkryv) daného území či pouze jeho vybraných částí (sondáže). Metod archeologických exkavačních postupů je několik druhů.

Hlavním cílem této archeologické metody je získání informací o předem definovaných tematických a účelových aspektech výzkumu. Jeho průběhu zpravidla předchází několik předexkavačních analýz, na jejichž základě je vytvořena strategie výzkumu.

V případě projektů této práce je terénní exkavační výzkum využit jakožto jedné z verifikačních metod. Vlastní výzkum odkryvem nebyl součástí metodického postupu autorského projektu.

5.10 Analytické datovací metody přírodovědného charakteru

Přírodní vědy jakožto interpretační a datovací techniky mají své místo v archeologii po několik desítek let. Již v 60. letech 20. století pracoval E. Opravil (zakladatel české archeobotaniky) s rozborem uhlíků (Beneš 2008, 76) a v 70. letech se poprvé podařilo uskutečnit propojení aplikace metod palynologie a analýzy uhlíků v rámci výzkumu středověké vesnice Pfaffenschlag (Nekuda 1975). S nástupem 80. let registrujeme plnou integraci archeobotanických metod do archeologie (Beneš 2008, 76). Asi nejvýraznějším příkladem z této doby je výzkum Komořanského jezera E. Neustupného, který se společně s V. Jankovskou komplexně zpracoval a interpretoval starší nálezy s využitím kombinace archeologických a environmentálních postupů (palynologie) (Neustupný 1985, Dreslerová 2008).

K nejnovějším datovacím metodám, využívaných v archeologii náleží optická luminiscence (viz <http://scienceworld.cz/fyzika/opticka->

luminiscence-a-archeologicky-vyzkum-ve-tme-1922), pracující na podobné bázi jako metoda termoluminiscence, jejíž využití nalezneme především v oblasti určování stáří keramických fragmentů (Daříčková – Popela 1996, 135-138).

Mezi další datovací a interpretační metody, které pracují na bázi tzv. archeobotanických metod, náleží např. antrakologická analýza, založená na rozboru převážně makroskopických zbytků dřev (uhlíků) mikroskopickými metodami dendrologie, díky nimž jsme poměrně přesně schopni odhalit lokální zastoupení stromového patra zaniklé vegetace na konkrétní zkoumané lokalitě (prehistorického či mladšího stáří) (Beneš 2008, 75-92). Součástí antrakologie je také xylotomická analýza, pracující jak s reliktami makrozbytků, které prošly transformací spálením, tak i s fragmenty nespálenými. Tyto metody reflektují celou řadu procesů, které jsme díky tomuto vědeckému postupu schopni zaznamenat – hospodaření s palivovým dřevem, vědomé zásahy do podoby lesa (prosvětlování pro pastvu dobytka), charakter a druh dřevěných konstrukcí, lokalizace sídelních areálů a vývoj krajiny na úrovni menších krajinných celků (v minulosti užívaného termínu mikroregion). Příklady výzkumů, v rámci nichž byly tyto metody využity: analýza profilu MK IV v Krumlovském lese, řivnáčské osídlení ve Vlíněvsi (okr. Mělník), neolitické lokality z Bylan (okr. Kutná Hora) (Beneš 2008, 75; Novák 2009, 43-44; Dobeš – Limburský – Kyselý – Novák – Šálková, T. 2011). Tento přehled zakončuje představení metod, v archeologii užívaných již celou řadu let. Palynologie – orientace na analýzu a historickou interpretaci pylových zrn, které nalézáme v půdních sedimentech lokalit a antropogenních objektech jako jsou například studna, jímka atd. Archeozoologie – analytická metoda, orientovaná na studium zbytků živočišného původu, vyskytujících se na archeologických lokalitách. Dendrochronologie – datační metoda, založená na principu porovnávání letokruhových řad ze vzorků, získaných archeologickým výzkumem s druhově totožnými dřevinami s již zjištěnou chronologickou křivkou. Fytolitová analýza - vyznačující se vysokou odolností SiO₂, vedoucí k jejich dlouhodobému

přetrvávání v půdě, podle jejich velikosti a tvaru jsme schopni určit taxonomickou příslušnost zbytků, získaných ze sedimentů archeologických výzkumů. Analýza druhového spektra rozsivek – indikační schopnost kvality vody (Beneš – Kašonovský – Majer 1998; <http://lape.prf.jcu.cz/specializace/paleo/>, 2.4.2012).

Tento výčet doplním o některé další geochemické analýzy využívané v archeologické sféře: fosfátové analýzy, analýzy kovů, lipidů či kyselosti půdy (Kuna 2004, 17).

5.11 Doplnkové metody

Pod pojmem doplňkové metody mám na mysli praktiky, jež mohou být nápomocny nejen při interpretačních postupech, ale především při snaze získat co nejkompletnější datovou základnu.

Mezi ně počítám pozemní fotogrammetrii a pozemní laserové skenování (zejména u výzkumů nadzemních reliktních a nemovitých památek) (srov. Tišerová et al. 2010). Možností poměrně nízkonákladového pořizování leteckých snímků je letecká fotografie z modelů. Jedná se o alternativní metodu snímání (případně video záznamů) krajiny pomocí dálkově řízených modelů letadla, vrtulníku či x-copteru, případně dálkově říditelné vzducholodě (K. Pavelka, ústní sdělení). Součástí základního vybavení modelu je digitální fotoaparát a přijímač/vysílač video obrazu z paluby modelu, kterým je dálkově připojen k počítači, a tím umožňuje fotografovi jej přesně navigovat na určená místa.

6 AUTORSKÝ PROJEKT

V následující části budou vymezeny vlastní parametry autorského projektu této disertační práce včetně definice kritérií výběru konkrétních metod a analyzovaných situací.

6.1 Výběr lokalit

V první fázi studia byly výchozí základnou dat pouze snímky letecké prospekce. V průběhu vývoje zpracování této disertační práce se mi naskytla příležitost získání a možnosti zpracování dat v České republice zcela inovativní techniky leteckého laserového skenování. Z prvotního popudu, založeného na mém počátečním přístupu k analýze tohoto typu dat a konkrétnímu vymezení datové základy názvem disertační práce jsem byla přesvědčena o tom, že techniku leteckého skenování a letecké prospekce prostřednictvím fotodokumentace je nutno od sebe striktně odlišovat a pracovat s těmito soubory separátně. Po pozdějším podrobnějším a dlouhodobějším postupu zpracovávání těchto dat, společně s možností průniku do oblasti evropského a světového pojetí dálkového průzkumu Země a sledování vývojového postupu v zahraničí jsem se rozhodla svůj postoj přehodnotit.

V evropském prostředí prostorové archeologie a dálkového průzkumu Země se ve velice krátkém časovém úseku začal projevoval nový postoj ke spojení tradičního přístupu letecké archeologie a nových technologií.

Po publikování prvotních výstupů rozsáhlejších pilotních projektů, jež byly zaměřeny na konkrétní aplikaci těchto nových technologických vědeckých postupů v archeologii (Devereux et al. 2005; Doneus – Brieše 2006; Crutchley 2008; Devereux et al. 2008; Doneus et al. 2008; Challis et al. 2008 atd.) jsme mohli zaznamenat jistou změnu v přístupu k pojetí letecké archeologie. Již se nejednalo o individuální metodu prospekce rozsáhlých krajinných celků ze vzduchu v krátkém čase, ale především o snahu vytvářet kompletní plány včetně polohopisných a výškopisných parametrů (digitální model terénu) ale nastoupila nová technika, umožňující totéž a zároveň poskytující možnosti podrobné prospekce krajiny zalesněných oblastí, což vyvolalo v archeologických kruzích obrovský ohlas.

Z tohoto důvodu bylo zákonitě přistoupeno k určité modifikaci letecké archeologie z postu samostatného vědního oboru k plné integraci (společně s dalšími technikami) do kategorie dálkového průzkumu Země. A to je také hlavním důvodem (společně s aspekty možného rozšíření typologie lokalit) mého rozhodnutí vycházet při zpracování dat jak z oblasti letecké prospekce, tak i dalších technik dálkového průzkumu Země.

6.1.1 Přírodní podmínky

Jedním ze základních faktorů, ovlivňujících výběr lokalit bylo jejich vymezení v rámci variabilního spektra geomorfologických parametrů. Důvodem volby tohoto kritéria byla snaha o objektivní zhodnocení kvality a efektivity verifikačních metod širšího spektra lokalit z hlediska jejich zasazení do geomorfologického typu krajiny. S tímto faktem souvisí také následná diferenciací lokalit dle chronologických aspektů, jež často výrazně korelují právě s konkrétními typy krajinných reliéfů a lze sledovat a ověřovat model archeologického pojetí vývojové transformace krajiny v závislosti na historických změnách v lidské společnosti.

Území České republiky z hlediska evropského standardu členění dle krajinných typů lze charakterizovat dvěma základními typy krajiny:

- **Semibocage** – polootevřená zemědělská krajina. Jedná se o krajinný typ převážně se vyskytující v oblastech s nadmořskou výškou kolem 500 m. Tento typ krajiny se nevyznačuje nijak vysokou úrodností půd, využití na těchto prostorách nalézá především pastevecká činnost či lesní hospodářství. Reliéf terénu bývá členitý, z hlediska vegetačního druhového zastoupení heterogenní a nepravidelně členěný. Sídlení struktura tohoto typu má nesourodý charakter, jednotlivé sídelní komplexy jsou náhodně rozptýlená. Osídlení je v zásadě středověkého původu. Z historického vývoje sídelní aktivity lze vysledovat častou diskontinuitu, vyvolanou náročnými podmínkami pro sídlení, které tento krajinný typ poskytuje (Němec – Pojer 2007, 58).

- **Central colective openfields** – krajina střeoevropských, scelených, otevřených polí. Tento typ představuje absolutně nejrozšířenější model krajinného pokryvu celého evropského kontinentu. Převládající nadmořská výška se pohybuje okolo 200 m. Tento typ krajiny je v českém prostředí výsledkem násilné kolektivizace zemědělství komunistickým poválečným režimem. Půdní typ této krajiny představuje úrodnou, minerální, hlubokou a dobře obdělávatelnou vrstvu. Terén je příhodný i pro práci s těžkou zemědělskou technikou a vytváří výhodné podmínky pro obilnářskou aktivitu. Lesní porost a louky se omezují na solitérní malé úseky (ostrůvky) v krajině, obklopené polními systémy a zástavbou. Také z tohoto důvodu se rapidně zvyšují vlivy transformačních procesů (vodních, větrných erozí). Tento typ krajiny zahrnuje také tzv. staré sídelní krajiny (pravěku a raného středověku) (Němec – Pojer 2007, 60).

Kategorizaci krajiny lze vymezit také prostřednictvím geomorfologických jednotek (Lipský 1998; Gojda 2000, 144-145),

- **krajiny údolních niv, nížiny** – rovinný reliéf, hustá síť vodních toků, úrodná půda (černozem, hnědozem), nadmořská výška: 200 – 350 metrů, plochý nebo jen mírně zvlněný reliéf terénu, příhodné teplotní a srážkové poměry, výskyt převážně na středních a dolních tocích velkých řek, nejhustější typ krajinného osídlení v pravěku a středověku.

- **krajiny sníženin** – pánví, kotlin, brázd – výsledek tektonických poklesů, rozhraní nížin/pahorkatin.

- **krajiny pahorkatin** – vnitřní výšková členitost je 30 – 150 m, kvalitní půdy, zemědělská činnost, členitější terén, nadmořská výška se pohybuje mezi 300 - 600 m, méně intenzivní pravěké osídlení než v nížinách.

- **vrchovinné krajiny** – vnitřní výšková členitost je 150 – 300 m, zvětralinový plášť s dobrou retencí (zadržováním) podzemních vod, teplé, mírně teplé a chladné klimatické oblasti, řidší osídlení, pastviny, lesní

porosty (zemědělské plochy ustupují), trvalejší osídlení až od středověku, nadmořská výška kolísá v hodnotách 600 - 700 m nad mořem (údolní dna a rozsáhlejší náhorní plošiny), 800 - 900 m nad mořem (vrcholové partie), překvapivě hojně využívaný prostor sídlení v pravěku (výšinná sídliště doby bronzové).

- **krajiny hornatin** – vnitřní výšková členitost 300 – 600 m, vyvinutá výšková vegetační stupňovitost, chladné podnebí, lesní typ kulturní krajiny, nadmořská výška: 900-1600 m, trvalejší osídlení v novověku (konec 17. a 18. století), sklárny, dehtárny, hornické aktivity, dřevařství, sezonní pastva.

případně dle využití krajiny (Lipský 1998):

- Přírodní krajiny
- Kulturní krajiny
 - Zemědělské
 - Lesohospodářské
 - Sídlní (urbanizované)
 - Vesnické
 - Průmyslové
 - Těžební
 - Vodohospodářské
 - Dopravní
 - Rekreační
 - Vojenské

Vymezení krajinných typů dle přírodních determinantů je úzce spojené s archeologickým přístupem pojetí krajiny jakožto souboru sídelních zón a areálů, které v průběhu minulosti procházely zásadními transformacemi. Tyto změny formovaly a vytvářely právě výše kategorizované krajinné modely. Hlavní snahou archeologie je tedy prostřednictvím archeologických nálezů a historických pramenů transformační proměny krajiny zachytit a interpretovat ve vztahu k

lidskému chování. Hlavním cílem je snaha o pochopení a nalezení základních faktorů (přírodních i antropogenních), jež byly příčinou demografických a sociologických změn v minulosti.

Z hlediska determinace krajinných typů, v závislosti na archeologické chronologii lze typologii selektovat do tří kulturně historických epoch. Zaprvé se jedná o **pravěké objekty a lokality**, jejichž prostorová lokalizace a následný výzkum umožňují rekonstruovat archetyp pravěké krajiny a sídelní struktury (nížinné a střední polohy vhodné pro zemědělskou činnost, blízká vzdálenost od vodních toků, lehké a středně těžké půdy na písčitém a sprašovém podloží) (Gojda 2000, 178 – 185). Druhou oblast představují lokality, jejichž funkce, formální vlastnosti, umístění v krajině a morfologie umožňují začlenit je do **oblasti středověku** (dosídlování území větších nadmořských výšek, variabilita půdorysného uspořádání osad a vytvoření základních typů dispozic vesnického prostředí, rozvoj staveb sakrálních a šlechtických správních sídel, intenzivní obhospodařování krajiny atd.) (Gojda 2000, 185 – 190). **Krajina novověku** zastupuje třetí kategorii vymezení krajinných typů (integrace sakrálních objektů a staveb do krajiny, obnova a přestavba církevních staveb, pokračující osídlování horských oblastí, zakládání řemeslných a výrobních osad a hutí, zvýšení těžby dřeva, původ podoby tzv. barokní krajiny). V rámci jednotlivých chronologických okruhů samozřejmě dochází ke snaze o co nejpodrobnější další vymezení v rámci lokálního, kulturního, funkčního a symbolického významu.

Abychom byli schopni rozlišovat a detekovat archeologické objekty od objektů přírodního původu, je seznámení se s rozdílným vymezením jednotlivých reliéfních tvarů (forem nadzemních reliktních, tak i reflexe v podobě indikačních příznaků) v závislosti na typologii geomorfologických vlastností krajiny nezbytným krokem. Při primárním interpretačním procesu dat dálkového průzkumu Země je snaha o vyčlenění archeologických lokalit a jejich předběžného chronologického zařazení hlavním cílem.

Vymezením jednotlivých krajinných geomorfologických kategorií ekvivalentních pro konkrétní kulturně historické etapy se zabývala celá řada odborníků. Jednou z publikací komplexního souhrnu této problematiky je Archeologie krajiny od M. Gojdy (Gojda 2000, 145 – 191), další zastupují publikace M. Lůwa a I. Míchala (Lów – Míchal, 267 – 449), J. Němce a F. Pojera (Němec – Pojer 2007), J. Sádla a kol. (Sádlo a kol. 2005), J. Beneše – D. Dreslerové a M. Kuny (Beneš – Dreslerová – Kuna 2003) a další.

6.2 Přehled lokalit

V předchozích kapitolách byly vymezeny aspekty selektivního způsobu lokalit, analyzovaných v rámci projektu této disertační práce. Při volbě datové základny byl můj výběr podmíněn především kritérii využití lokalit variabilních geomorfologických vlastností krajiny, zastoupení pokud možno co nejrozsáhlejšího spektra metod dálkového průzkumu Země a třetím kritériem výběrového řízení bylo chronologické zastoupení veškerých historicko - kulturních etap (pravěk, středověk, novověk).

Z hlediska lokalizačního rozmístění v prostoru Čech byly vybrány čtyři hlavní oblasti výzkumného záměru.

Region Podřipska - jedná se o oblast dlouhodobě zkoumaného území technikami letecké prospekce, širokého zastoupení verifikačních nedestruktivních technik, a v několika případech také archeologickým výzkumem odkryvem. Tento typ krajiny zastupuje ve výběrovém řízení geomorfologický charakter otevřené, zemědělsky využívané krajiny s nadmořskou výškou pohybující se okolo 200 – 300 m. Z pohledu archeologického bohatství, kterým tento kraj disponuje, se jedná o jeden z nejhustěji zastoupených regionů Čech.

Hlavní datovou základnou se v tomto případě staly šikmé snímky letecké prospekce, jejichž interpretační vyhodnocení bylo nadále

konfrontováno s verifikačními metodami oblasti dálkového průzkumu Země a přidružených metod.

Jednotlivé výzkumné akce, jež zde byly v průběhu posledních dvou desetiletí uskutečněny, činí z této oblasti ideálního aspiranta pro vyhodnocení efektivity jednotlivých metodických postupů ve vztahu k získanému interpretačnímu modelu.

V rámci tohoto rozsáhlého krajinného polygonu byly vybrány dvě pravěké lokality Straškov, poloha 1 (okr. Litoměřice) a Vražkov, poloha 1 (okr. Litoměřice). Na příkladu těchto dvou lokalit byla sledována a vyhodnocována efektivita jednotlivých analytických praktik a následné vytvoření návrhu možného modelového zpracování takovýchto typů lokalit za účelem získání co možná nejkompletnějších informačních údajů, vypovídajících o charakteru dané lokality.

Region Rokycanska – v tomto případě se moje pozornost zaměřila na zcela odlišný typ krajiny na rozdíl od předcházející oblasti. Oblast Rokycanska se stala předmětem zájmu archeologických výzkumů zaniklých enkláv středověkého sídelního prostoru. Tyto výzkumy byly aplikovány pod záštitou Katedry archeologie Západočeské univerzity v Plzni již od roku 2004. Doklady o středověkém osídlení se nachází v tomto regionu v oblastech, které působí jako určitý ochranný faktor pro tyto archeologické situace. Jedná se o prostředí hustě zalesněné, zemědělsky neobdělávané, s poměrně vysokou proměnlivou variabilitou reliéfu terénu. Nadmořská výška se v těchto oblastech pohybuje mezi 400 – 560 m.

V tomto případě byl zájem orientován na vyhodnocení georeliéfních typů pahorkatiny – vrchoviny. Tento typ terénu je z hlediska prospekce pomocí letecké archeologie téměř nemožný, avšak vzhledem k možnosti využití dat leteckého laserového skenování bylo možno tyto lokality zpracovat a následně vyhodnotit.

Volba konkrétních lokalit byla v tomto případě výrazně podmíněna dostupností dat (především leteckého laserového skenování). Z tohoto důvodu byly jako případové studie vybrány polygony zaniklé středověké vesnice Javor (okr. Rokycany) a Sloupek (okr. Rokycany).

Metody aplikované při výzkumných činnostech na těchto lokalitách se pohybují v oblastech nedestruktivní archeologie a v případě lokality Sloupek máme k dispozici prvotní výsledky aplikace terénního výzkumu odkryvem, situovaným do vnitřního dispozičního prostoru osady a zároveň do areálu vesnického zázemí.

Oblast Národního parku České Švýcarsko – třetí modelovou situací zájmové oblasti je typ krajiny, který lze charakterizovat jako hornatou a skalnatou, hustě zalesněnou oblast s velmi vysokou výškovou variabilitou.

Oblast Národního parku České Švýcarsko reprezentuje typický příklad pahorkatiny - vrchoviny. Nadmořská výška se v těchto místech pohybuje mezi 200 – 500 m. Z rozsahu hodnot nadmořské výšky je zřejmé, že se v tomto případě nacházíme v zóně s výrazně dynamickým profilem terénu. Tento fakt se také projevuje v odrazu sídelní aktivity tohoto regionu, kdy z naprosté většiny dochází k osidlování a expanzi sídlení až v období vrcholného středověku až novověku. Tento region je typickým zástupcem oblasti těžebního a výrobního charakteru (sklářny, dehtárny atd.).

Také v případě této oblasti byla výchozí pramennou základnou data leteckého laserového skenování, jež byla konfrontována s výsledky výzkumných aktivit autorky této disertační práce.

V tomto regionu bylo zvoleno několik příkladových lokalit. Neobsáhleji byla pozornost zaměřena na polygon zaniklé vesnice po roce 1945 Hely (okr. Krásná Lípa). Hlavním důvodem volby této lokality bylo rozsáhlé zastoupení objektů vrcholného středověku – novověku, čímž byla splněna podmínka zpracování příkladových situací celé chronologické sféry historie.

Obtížně interpretovatelné objekty - čtvrtou kategorií představují objekty, které byly v rámci analýzy archivu leteckých snímků Archeologického ústavu v Praze školitelem disertační práce vyčleněny jakožto typické příklady obtížně interpretovatelných dat. Tyto snímky zastupují oblasti, převážně situované do středočeské krajiny. Objekty, zachycené na těchto snímcích jsou z hlediska primární interpretace velice obtížně hodnotitelné, a tím pádem významné pro sféru verificačních praktik k dosažení finálního interpretačního výstupu. Tyto snímky mají především reprezentativní charakter typologie obtížně interpretovatelných dat. Z hlediska hodnocení jejich zpracovatelnosti a možného mapování daných situací představují spíše kategorii obtížně zpracovatelných dat leteckého průzkumu. Tento fakt bude podrobněji vysvětlen v příslušné kapitole.

6.3 Zdroje dat

Primárním datovým souborem zvoleným pro účely této práce jsou data letecké prospekce. V prvotním vymezení metodického postupu jsem svůj zájem orientovala na oblast dokumentačních výstupů prospekce krajiny z nízko letícího letadla.

6.3.1 Letecké snímky

Tyto datové kolekce pocházejí z archivu leteckých snímků Archeologického ústavu Akademie věd v Praze. Jejich autorem je školitel této disertační práce prof. M. Gojda. Datová základna, kterou archiv leteckých snímků Archeologického ústavu disponuje, mi poskytla dostatečně početný vzorek snímků, vhodných pro integraci do studijního tématu. Letecké snímky tohoto archivu pocházejí z různých období posledních dvaceti let. Praktika snímkování je v tomto případě založena na fotodokumentaci daných objektů „z ruky“ prospektora. Koncepce snímků zahrnuje jak fotografie zachycující detailní záběry konkrétních

objektů, tak i snímky respektující širší krajinné zázemí lokality. Tento fakt hrál významnou roli při zpracování leteckých snímků.

6.3.2 Letecké laserové skenování

Datový zdroj obdobného významu z hlediska využitelnosti v rámci této studie poskytl archiv souborů leteckého laserového skenování, vytvořený v rámci grantového projektu Katedry archeologie v Plzni. Data získaná v průběhu několika etap projektu pocházela ze tří různých zdrojových pramenů.

Oblast Národního parku České Švýcarsko byla nasnímána v rámci projektu Geoinformační síť pro přeshraniční region národních parků Česko – Saské Švýcarsko. Nositelem projektu se stala Katedra dálkového průzkumu Země, Ústav pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Země, Technická univerzita v Drážďanech. Hlavním cílem tohoto projektu bylo vytvoření jednotné digitální mapy celého území (jak českého, tak i německého) primárně pro účely ekologické, geologické, turismu, managementu území a dokumentace lesních porostů. Data byla nasnímána v dubnových dnech roku 2005 německou formou TopoSys GmbH Biberbach. Zpracování získaných bodových mračen probíhalo v prostředí Technické univerzity v Drážďanech, v prostředí programu SCOP++, který je vyvíjen firmou Inpho ve spolupráci s Technickou univerzitou ve Vídni.

Část datových souborů, pocházejících z tohoto projektu byly v roce 2009 zapůjčena pro studijní účely této disertační práce.

Druhým zdrojem dat leteckého laserového skenování byl soubor vytvořený během první etapy grantového projektu P405/10/0454: Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LIDAR). Tento projekt byl získán v soutěži Grantové agentury České republiky v roce 2009. Termín jeho průběhu byl vymezen roky 2010 – 2012. V současné době již bylo

publikováno několik solitérních výstupů (John 2011, 24-28; Starková 2011, 18-23; Gojda – John 2011, 17; Gojda – John – Starková 2011, 680-698; John 2012, 245-248 a Gojda 2012, v tisku).

V rámci tohoto projektu byly nasnímány vybrané polygony archeologického zájmu v rozsahu celého území České republiky. Výběr dat byl koncipován především pro účely výzkumných záměrů Katedry archeologie v Plzni. Volba polygonů se proto odvíjela od hlavních tematických zaměření projektových studií předních archeologů Západočeské univerzity. Výměra 58, 5 km² (1162 milionů bodů) byla nasnímkována v roce prvním a 67,7 km² v průběhu druhého roku projektu.

Skenování bylo zajištěno ze dvou různých zdrojů. V roce 2010 se jednalo o zahraniční firmu Milan Geoservice GmbH, sídlící ve Spolkové republice Německo a v roce 2011 byla oslovena tuzemská firma, jež nabídkou leteckého laserového skenování disponovala teprve krátce. Jedná se o brněnskou firmu Geodis Brno.

Obě tyto instituce poskytly data jak v „surové“, tak i filtrované a klasifikované podobě.

Data leteckého laserového skenování, použita jakožto verifikační metody u lokalit Vražkov a Straškov byla poskytnuta Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním jakožto výstupů aktuálně probíhajícího projektu Tvorby nového výškopisu České republiky. Datové celky jsou výstupy produktů tzv. digitálního modelu terénu 4. a 5. generace.

6.3.3 Geofyzikální prospekce

Data a výstupy v podobě obrazových záznamů jednotlivých měření a (v několika případech včetně rohových koordinátů výstupů) byla poskytnuta RNDr. Romanem Křivánkem z Archeologického ústavu Akademie věd v Praze.

6.3.4 Šikmé letecké snímky

V roce 2012 byl uskutečněn praktický workshop letecké archeologie a dálkového průzkumu Země pod záštitou Katedry archeologie a projektu Evropské unie ArcheoLandscapes v prostorách letiště Sazená. V průběhu tohoto workshopu byly nasnímkovány dvě archeologické lokality, na kterých byly umístěny geodeticky zaměřené vlícovací body, tak aby se na principech jednosnímkové či průsekové fotogrammetrie dal vytvořit fotoplán lokality. Snímky lokality Straškov, poloha 1 byly pořízeny v průběhu jednoho letového dne L. Starkovou a J. Čiberou. Výběr z tohoto fondu je součástí této disertační práce.

6.3.5 Podkladové mapy

Veškeré podkladové mapové vrstvy, použité v této práci byly získány prostřednictvím WMS služeb Geoportálu INSPIRE a Českého úřadu zeměměřického a katastrálního.

6.3.6 Historické snímky

Historické letecké snímky z roku 1953 - 1954, použité v případě lokality Hely a kapitole vymezené jako: Obtížně interpretovatelná data, byly v první fázi vizuálně analyzovány prostřednictvím Geoportálu CENIA Mapy kontaminovaných míst (www.kontaminace.cenia.cz). Následně byl snímek zakoupen z Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce.

Fotodokumentační snímky, data tachymetrického zaměřování, data pocházejí z aparatury GPS a terénní dokumentace pochází z aplikovaných metod autora vlastního výzkumu.

6.4 Metodický přístup

Snaha o vytvoření hodnotného metodického postupu, společně s volbou správných technik zpracování projektu disertační práce byla již od samého počátku, společně se selekcí datových podkladů, jednou z hlavních náplní a cílových oblastí mé práce.

Hlavním cílem tohoto projektu je snaha o vytvoření takového metodického postupu, jenž by představoval v budoucnu modelový vzor možného efektivního zpracování dat dálkového průzkumu Země a jejich interpretace pro účel (české) archeologie. Samotný princip tohoto modelu nespočívá pouze ve vlastním zpracování jednotlivých datových celků, ale především se zaměřuje na fázi tvorby datových souborů z pohledu kritického zhodnocení standardních a v některých případech již překonaných postupů.

Záměr, který tato disertační práce sleduje, je pojetí kompletního vyhodnocení (teoretického i praktického) vybraných praktik dálkového průzkumu Země od samotného počátečního stadia vzniku datové základny, přes analytické postupy až po vyhodnocení a následnou interpretaci. Právě prostřednictvím takového přístupu lze poté přistupovat ke srovnávání kvalitativních aspektů jednotlivých metod a vyhodnotit jejich potenciál, v tomto případě konfrontovaný s poměrem poskytované interpretační subvence.

Výchozí datový zdroj představují dvě nejmasivněji využívané techniky dálkového průzkumu Země – letecká prospekce a letecké laserové skenování. Tyto dvě techniky lze v současnosti považovat za archeologicky plnohodnotně využívané.

Letecká prospekce zastupuje „historickou“ techniku, jejíž tradice čítá téměř sto let od prvních aktivit tohoto druhu. Od počátku její implementace (v praktickém smyslu) do archeologie, znamenala zcela nový přístup k pojetí krajinného prostoru, možnostem vyhledávání a dokumentace archeologických lokalit a ochrany archeologického a

kulturního dědictví. Postupem času byla tato technika rozšiřována, inovována a také kriticky hodnocena (především v oblasti odmítavého postoje akceptovat ji jakožto samostatný obor).

Podobný ohlas, jaký vyvolala letecká archeologie v minulosti lze v dnešní době zaznamenat u technologie leteckého laserového skenování. Jeho nástup a rozšíření v archeologii je provázen obrovským pozitivním ohlasem. Z tohoto důvodu je součástí výstupů praktické sekce této práce také shrnutí, komparace a zhodnocení pozitivních i negativních faktorů těchto dvou vědeckých postupů.

Základní analýza dat čerpá právě z datových kolekcí těchto dvou technologií. Data jsou v první řadě zpracována do podoby ortorektifikovaných a georeferencovaných rastrových podkladů, jež jsou následně analyzovány ve smyslu detekce, mapování a primární interpretace objektů. Výstupem této fáze je mapová vrstva, obnášející veškeré údaje detekované v průběhu analytického postupu. Zároveň je vytvářena geodatabáze, obsahující veškeré kroky analytického postupu v podobě individuálních vrstev. Metodika tohoto procesu je individuální a závisí především na typu vstupních dat. Dalším krokem je verifikační fáze získaných informací. Verifikační metody, jež jsou aplikovány v rozsahu této práce, představují:

- geofyzikální analýzy
- revize publikačního fondu
- archivy
- historické mapy a plány
- historické letecké fotografie
- současné kartografické podklady
- revize starších archeologických výstupů
- geodeticko-topografický průzkum
- terénní prospekce antropogenních tvarů reliéfu a fotodokumentace
- vizualizační techniky.

V syntetické fázi jsou jednotlivé výsledky (ve smyslu početního zhodnocení detekovaných objektů a kvality informačních parametrů), získané individuálními technikami srovnány a vyhodnoceny.

Závěrečná část náleží interpretaci dosažených výsledků, testování teoretického modelu a jeho modifikace k dosažení plnohodnotného archeologického postupu s možností jeho následné aplikace a prezentace v širším spektru archeologické metody.

6.5 Softwarové vybavení

Nejčastější kategorií vstupních souborů projektu reprezentují data prostorová, pracující s primárně se souřadnicovými parametry. Využité šikmé letecké snímky v podobě rastrových obrázků byly v prvním kroku rektifikovány a georeferencovány na adekvátní kartografické podklady. Tím pádem jim byly přiřazeny souřadnicové atributy (dle vlíčovacích bodů). Datové sady leteckého laserového snímkování byly ve všech případech užití integrovány do projektu jako soubor souřadnic jednotlivých bodů skenování.

Tato fakta byla také významným faktorem při volbě softwarového vybavení, s jehož pomocí byly jednotlivé analýzy a postupy realizovány. V zásadě jednoznačné rozhodnutí bylo využití softwarového vybavení podporující geografické informační systémy.

Z tohoto důvodu byla také jako deskriptivní jednotka zvolena geodatabáze, obsahující veškeré analytické postupy a vygenerované plány k jednotlivým lokalitám.

Jako základní, „mateřský“ software, do jehož systému byly transformovány veškeré dílčí výstupy jednotlivých analytických fází, je použit jako zástupce geografických informačních systémů program ArcGis americké firmy ESRI, verze 10.0, licencovaný Katedrou archeologie Západočeské univerzity v Plzni (tato verze poskytuje oproti předchozím,

možnosti efektivnějšího využití v oblasti zpracování trojrozměrných typů dat, což byl jeden z rozhodujících aspektů volby tohoto programu).

Pro základní zpracování dat leteckého laserového skenování bylo užito několik individuálních softwarů, disponujících možnostmi práce s trojrozměrnými datovými kolekcemi (ENVI, Global Mapper, Quantum GIS, Altas DMT).

Pro zpracování části šikmých leteckých snímků ve smyslu rektifikace a georeferencování byl využit freewarový program Air Photo, verze 5.43, jehož autorem je Irwin Scollar. Tento software byl v plnohodnotné podobě do nedávné doby dostupný pouze ve zpoplatněné verzi. Od roku 2010 byl však tento software uvolněn do podoby open - source. AirPhoto je jedním z nejčastěji využívaných softwarů v oblasti letecké archeologie. Parametry jeho vzniku byly koncipovány přímo pro účely archeologie (Scollar 1998, 37 – 38; Scollar 2002, 166 – 172; Scollar et al. 2008, 11 - 18). Tento software našel významné uplatnění u snímků, jejichž verifikace probíhala mimo jiné prostřednictvím komparace s mapovými portály historických snímků (např. www.kontaminace.cenia.cz), které nelze připojit pomocí WMS či jiného rozhraní přímo do aplikací geografických informačních systémů. V takovémto případě program AirPhoto umožňuje vysoce efektivní manipulaci s celosvětovými internetovými mapovými prohlížeči a zároveň dává možnost velice snadno a získat žádoucí kartografické výseky. Zároveň tento software umožňuje okamžitou následnou rektifikaci těchto výřezů na fotoplán či jiný kartografický podklad.

Pro zpracování větší části šikmých snímků letecké prospekce z nízkého letícího letadla byl pro rektifikaci snímků použit program SIMphoto. Tento open - source program je svou koncepcí zaměřen na zpracování rastrových dat na základě jednosnímkové fotogrammetrie. Výsledný produkt v podobě fotoplánu je možné vytvořit pomocí minimálně 6 vlíčovacích bodů, případně zaměřením sítě délek (v tomto případě je sítí myšlen čtyřúhelník s jednou úhlopříčkou, přičemž úhlové parametry musí

být proti úhlopříčce v rozsahu 20° - 160°). Třetím případem je možnost transformovat snímek s rozměry, získanými samostatným určením vzdáleností k sobě kolmých. Součástí softwaru jsou také funkce pro odstranění distorze objektivu, vytvoření grafického měřítka atd. Výstupem jsou formáty obrázků v podobě TIFF, JPEG, případně tiskový formát PDF (<http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/simphoto/data/manual.pdf>, 3.5.2012).

Pro zpracování datové základny byly využity softwary Groma, Surfer, SVF Standalone version (EXE), version 1.1, SAGA GIS.

6.6 Databáze

Databázový systém této disertační práce byl vytvořen ve dvojí podobě.

Zprv se jedná o podobu klasického, rozsáhle využívaného databázového systému ve formátu MS Access. Tento formát systému umožňuje pracovat s obsaženými daty i za předpokladu absence jakéhokoliv softwaru geografických informačních systémů. Data obsažená v tomto typu osobní geodatabáze jsou vzhledem ke kapacitním limitům databáze uložena pouze ve formátu vektorových vrstev, zastupující dílčí objekty v podobě bodů, linií a polygonů.

Druhý deskriptivní systém představuje klasickou podobu souborového geodatabázového provedení. Tento typ geodatabáze poskytuje uživateli vyšší kapacitní prostor. Určitou formou jejího omezení je možnost prohlížení a zpracování obsažených dat pouze v prostředí geografických informačních systémů. Do této geodatabáze byly vloženy jak vektorová interpretační data, znázorňující výsledky autorčina mapování jednotlivých lokalit, tak i data rastrová. Ty zastupují soubory podkladových dat, využitých při dílčích mapovacích postupech a také vytvořené formáty zpracovaných dat leteckého laserového skenování. Formát uložení tohoto typu dat je Geotiff.

Struktura databáze je identická v obou použitých případech. Základní jednotkou je lokalita, k níž jsou vázány veškeré přidružené soubory, které se jí týkají. Záznamy, v jejichž názvu je obsažen symbol „LS“ jsou výstupy interpretačního mapování autorky tohoto projektu. Zbylé soubory interpretačního charakteru (použité v případě lokality Sloupek, Straškov a Javor) jsou vymezeny jménem autora jejich provedení v názvu souboru.

Veškeré záznamy jsou uloženy v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv.

6.7 Tvorba teoretického modelu

Tento projekt disertační práce je složen z několika kategorií vstupních dat, několika typů analytických metod a několika variant verifikačních metod. Abychom byli schopni se orientovat a logicky postupovat při zpracování, je nutné nejprve si zvolit metodický postup a především definovat deskriptivní systém a základní jednotky. V tomto případě bude představovat základní jednotku kategorie lokalita. Ta bude také základním pilířem (proměnnou) deskriptivního systému a geodatabáze.

V rámci jednotlivých lokalit dochází k jejich diferenciaci již na samém počátku analýzy v důsledku variabilní typologie tvorby datové základny. V tomto případě bude akceptováno kritérium datového typu dvou základních metodických postupů dálkového průzkumu Země – letecké prospekce a leteckého laserového skenování. Tato kategorizace akceptuje také další vymežující faktor jednotlivých lokalit, a tím je jejich lokalizační umístění vzhledem ke geomorfologickému typu krajiny. Vzorek lokalit, jejichž výskyt je situován do otevřených, zemědělsky intenzivně obdělávaných nížinných oblastí, je z pochopitelných důvodů (dostupnosti široké zdrojové datové báze) zastoupen kolekcí fotografií leteckého snímkování jakožto výchozí datovou základnou. Lokality, prezentující modelové situace sídelních aktivit v oblastech archeologicky obtížně

zkoumatelných zalesněných, výškově variabilních pahorkatin a vrchovin, vstupují do projektu v podobě dat leteckého laserového skenování.

Následujícím krokem je analytická fáze vstupních dat jednotlivých lokalit. V případě dat leteckého laserového skenování je prvním krokem vytvoření rastrového podkladu digitálního výškopisného modelu (formát GEOTIFF). Tento produkt představuje základní vstupní jednotku veškerých následných analytických praktik, kdy budou využity techniky různých vizualizačních algoritmů. Hlavním cílem analytické fáze je detekce možných archeologických lokalit, jejich digitalizace, zmapování a převedení do samostatných vrstev.

Vstupní data (šikmé snímky) letecké prospekce jsou sama o sobě již formátem obrazovým, avšak bez polohopisného vymezení a s výrazným geometrickým zkreslením. Z těchto důvodů je nutné nejprve tato data rektifikovat a georeferencovat, popř. eliminovat průběh distorzí objektivu. Teprve poté lze přistoupit k samotnému analytickému procesu. Ten spočívá v identickém postupu, s tím, který je použit u dat leteckého laserového skenování – vyhledávání objektů, jejich převedení do digitální podoby a vynesení do samostatných vrstev.

Dílčí výstupy těchto analytických postupů jsou ukládány do deskriptivního systému v podobě geodatabáze, jejíž základní jednotku reprezentuje lokalita.

Digitalizace objektů probíhá ve třech základních sférách. Jako základní nástroj jsou využity tři typy vertexové digitalizace – body (points), linie (lines) a polygony (polylines). Digitalizované objekty jsou následně ukládány ve vrstvách kopírujících tento typ trojdílné typologie. Dalším postupem je syntéza a vyhodnocení efektivity jednotlivých aplikovaných analytických metod.

V následném kroku je přistoupeno k aplikaci dílčích verifikačních metod a jejich komparaci s výsledky, získanými v první fázi projektu. Každé lokalitě je přiřazen individuální počet ověřovacích metod, v

závislosti na získaných datech a uplatněných terénních technikách. Následná fáze komparace informačního potenciálu dílčích interpretačních technik bude vyhodnocena v podobě závěrečného shrnutí této studie.

6.8 Výstupy

Typy výstupů této disertační práce bude tvořit několik kategorií. Jednoznačně nejzásadnějším výstupem bude textová část, koncipovaná do dvou hlavních sekcí teoretického zhodnocení a interpretace dané tematiky a následné praktické části, obsahující konkrétní příklady aplikovaných teoretických modelů.

Výstupem vlastního autorského projektu bude databázový deskriptivní systém v podobě geodatabáze, kooperující se softwary založenými na geografických informačních systémech. Předpokládaným softwarem pro budoucí prohlížení databáze a práce s ní je program ArcGIS firmy ESRI, jež je jedním z nejrozšířenějších softwarů geografických informačních systémů vůbec. Ze sféry open – source programů lze využít aplikace typu Quantum GIS, SAGA GIS či Grass GIS. Tyto nezpлатněné softwary pracují na stejné bázi jako software ArcGIS.

Veškerá data, obsažená v geodatabázi budou ukládána v podobě shapefilu (*.shp) pro data vektorová a GeoTIFF (*.tif, *.tiff) pro data rastrová.

Kolekce leteckých fotografií, využitých v rámci této disertační práce bude tvořit samostatnou složku v podobě fotografické databáze.

Typologii výstupů doplňují obrazové tabule, jež budou tvořit samostatný přílohový svazek disertační práce. Obrazové tabule budou z důvodu vyšších nároků na kvalitativní aspekty vkládány a tištěny ve formátu TIFF.

6.9 Analýza

6.9.1 Letecká prospekce

6.9.1.1 Šikmé snímkování

Základní pojmy:

- geometrická transformace
- vlíčovací body
- ortorektifikace

Hlavním cílem práce s leteckými snímky je získání informací, které jsou v nich obsaženy. Vizuálním průzkum je prvním krokem detekce objektů a jejich primární interpretace (předpokládané typologické a funkční zařazení). Abychom mohli s detekovanými objekty nadále pracovat v praktickém slova smyslu, je nutná jejich transformace do podoby digitálních dat. Tato data lze následně podrobit přímé konfrontaci s dalšími metodickými postupy (komparace s kartografickými podklady, výstupní datové soubory geofyzikální prospekce, povrchových sběrů, detektorů kovů, tachymetrického měření atd.), umožňujícími postupně vytvářet finální interpretační rešerše.

Šikmé snímky letecké prospekce z nízko letících letounů jsou bezpochyby jedním z nejdůležitějších zdrojů informací, ale také jedny z nejméně přesných mapovacích technik.

Prvním krokem analytického zpracování šikmých snímků je vytvoření dostatečně početně zastoupeného souboru fotografií konkrétního objektu či lokality. Vyšší početní zastoupení dává zpracovateli možnost selekce vhodných snímků pro digitalizaci, tzn. takových, u kterých se vyskytuje dostačující počet vlíčovacích bodů. Snímky, které reprezentují detailní záběry konkrétních objektů, lze využít také. Jejich rektifikace probíhá transformací do již vytvořeného fotoplánu z dříve použitých snímků a jako vlíčovací body mohou v tomto případě sloužit

detekovatelné identické body konkrétních objektů rektifikované detailní fotografie a vytvořeného fotoplánu (Scollar 2002, 166-169).

Následující fáze představuje transformaci šikmých snímků do roviny zvoleného mapového zobrazení (rektifikace).

Pro dokumentaci a zpracování šikmých leteckých snímků je zapotřebí vytvořit rektifikovaný fotoplán, zobrazující nasnímané objekty v půdorysném pohledu. Tvorba fotoplánu patří mezi základní úlohy jednosnímkové fotogrammetrie. Rektifikovaným fotoplánem rozumíme snímek lokality, který byl nasnímán s dostatečným počtem vlíčovacích bodů, díky nimž byl transformován v určitém měřítku do roviny zájmové oblasti. Jelikož se jedná o princip jednosnímkové fotogrammetrie, je důležité, aby zájmová oblast byla co nejbližší rovině a nebyla příliš výškově členitá (Smrž – Majer 1995, 108; Pavelka 2003).

„Základem jednosnímkových metod je vztah dvou rovin. Snímky vznikají středovým průmětem povrchu objektu na rovinu snímku, kdežto liniové mapy jsou ortogonálním průmětem povrchu. Jde tedy o to, jakými metodami bude snímek s centrální projekcí konvertován do podoby překresleného snímku s ortogonální projekcí.

Deformace (zkreslení) obrazu je způsobena několika vlivy, a to zejména:

- a) orientací osy záběru – nesplněním požadavku kolmosti na rovinu objektu (vznik perspektivy),
- b) centrálním promítáním – radiální posuny obrazu vlivem hloubkové členitosti objektu,
- c) kolísáním výšky letu,
- d) parametry přístrojů,
- e) variabilní výšky měřítka vlivem odlišné nadmořské výšky.

Mezi obecným snímkem a rovinou objektu, platí projektivní vztahy, jejichž matematickým vyjádřením je kolineární transformace. Pro její

řešení je potřeba pěti vlíčovacích bodů. Úpravou rovnic dostaneme jednodušší vyjádření definované pouze čtyřmi body. Je tedy nutno vždy mít na daném objektu geodeticky zaměřeny alespoň čtyři vlíčovací body. Pokud je to možné, měří se více bodů pro kontrolní účely.“ (http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/pedagogika/foda/dokumenty/S1_fotoplan_theorie.pdf, 25.4.2012).

Cílem geometrické transformace obrazu je přiřazení požadované souřadné soustavy každému obrazovému prvku ve snímku. Prvotní fází rektifikace je hledání relací mezi zdrojovou souřadnou soustavou původního nezpracovaného snímku a cílovou souřadnou soustavou. Tento vztah je vyjádřen prostřednictvím tzv. transformačních rovnic, k jejichž sestavení se nejčastěji využívá tzv. vlíčovacích bodů. Jsou to takové body, jejichž souřadnicové parametry jsou známy jak ve zdrojové, tak i cílové soustavě (Smrž – Majer 1995; Doneus 1996, 124 – 129; Pavelka 2003; Doubrava 2005).

Zpravidla se vystačí s jednoduchými geometrickými transformacemi, s minimálním počtem identických bodů. Transformace vyšších řádů nebo transformace s většími počty identických bodů připadají v úvahu až v případě transformace do jiného souřadnicového systému, nebo v případě transformace mapy na identické body polohopisu (Doubrava 2005, 23).

6.9.1.1.1 Typy transformací:

- podobnostní
- afinní
- kolineární
- polynomická druhého stupně
- polynomická třetího stupně

(Pavelka 2003; Doubrava 2005, 23 – 30).

V případě leteckých snímků, družicových snímků s vysokým rozlišením jako jsou snímky z družic IKONOS či QuickBird, či v případě

snímků zachycujících vertikálně výrazně členitý terén je ke geometrické transformaci zapotřebí také informace o výšce z každého obrazového prvku. Ta do procesu geometrické transformace vstupuje ve formě digitálního modelu terénu (DTM). Geometrická transformace snímku využívající DTM se označuje jako ortorektifikace.

6.9.1.1.2 Praktiky snímkování

Výběr snímkovací kamery šikmé letecké fotografie je zpravidla záležitostí vlastní volby dokumentátora. Technické parametry fotoaparátu významně ovlivňují výslednou přesnost. V důsledku následného zpracování je nutné pořizovat snímky v dostatečném rozlišení. Pokud to situace v okolí objektu dovoluje, snažíme se snímky pořizovat s osou záběru co nejkolmější k terénu, na kterém se objekt nachází (Smrž – Majer 1995; Doubrava 2005).

6.9.1.1.3 Praktická aplikace

Většina aplikací geografických informačních systémů nabízí tuto transformaci včetně zasazení fotoplánu do mapového podkladu – tzv. georeferencování. V oblasti rektifikace a georeferencování byly u šikmých leteckých snímků, pocházejících z archivu leteckých snímků použity freewarové programy AirPhoto a ArcGIS.

V rámci aplikace metody geodetického zaměření vlastních vlíčovacích bodů na lokalitě Straškov 1 byla pro potřeby této práce využita pouze freewarová aplikace SIMphoto, která umožňuje kontrolu nad jednotlivými odchylkami, od pozemně zaměřených vlíčovacích bodů a umožňuje eliminaci distorze použitého objektivu (<http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/simphoto/data/manual.pdf>, 3.6.2012).

Dalším krokem prací byla digitalizace jednotlivých objektů objevených na leteckých fotoplánech do podoby vektorových výstupů a následné porovnání s výsledky aplikovaných verifikačních metod. Pro tuto činnost byl zvolen software ArcGIS, ver. 10.0.

6.9.2 Letecké laserové skenování

Vstupní formát datových souborů laserového leteckého skenování, integrovaných do projektu byl použit ve většině případů v podobě textového matice souřadnicových hodnot jednotlivých bodů (*asc., *xyz.). Tyto datové sety zastupovaly již filtrované a klasifikované výstupy primárního zpracování surového bodového mračna. Dodaná data firmou Geodis již byla transformována do českého souřadnicového systému S – JTSK a výškového systému Bpv. Data distribuovaná německou firmou Milan Geoservice GmbH byla naopak uložena v systému UTM, a proto byl žádoucí jejich následný převod do systému českého. Datové celky byly poskytnuty jako dílčí jednotlivé soubory pohybující se v rozsahu jednotek – desítek megabytů. Pro možnost zpracování jednotlivých lokalit jako komplexů, bylo v první řadě nutné tyto soubory spojit v jeden celek. Tento krok byl uskutečněn v prostředí tabulkového procesoru Microsoft Excel.

V případě datových podkladů snímků leteckého laserového skenování oblasti Národního parku České Švýcarsko byla data poskytnuta již v podobě vyhotovených rastrových georeferencovaných dat (GeoTiff) digitálního modelu terénu a digitálního modelu povrchu.

Prvním krokem datových souborů textových formátů byla jejich transformace do nadále analyzovatelných a především čitelných formátů. Jasnou volbu proto představovaly výstupy do podoby rastrového digitálního elevačního modelu. Zvolený postup představoval variantu zpracování mračna do podoby nepravidelné trojúhelníkové sítě (TIN) a její následné transformace do rastrové podoby. Vytvořený digitální výškopisný model představuje základnu veškerých následných kroků zpracování.

Primární aplikace zpracování představuje vytvoření stínovaného digitálního modelu terénu. Tento model je v dalších fázích podroben aplikaci dalších analytických procesů v podobě vizualizačních algoritmů.

Významné kritérium, rozhodující o kvalitativních aspektech rastrových dat, je volba velikosti rozlišení, ve kterém budou rastry vygenerovány. Pokud zvolíme rozlišení příliš nízké, ztrácí výsledný obraz svou vizualizační (a tím také interpretační) kvalitu. Standardem bývá nastavení parametrů identického rozlišení, ve kterém byl terén skenován.

Aplikace vizualizačních algoritmů byla provedena v několika jednotlivých fázích, vzhledem k faktu dosavadní absence softwaru, který by obsahoval veškeré, dosud použitelné vizualizační techniky dat leteckého laserového skenování. Pro tyto účely byly využity softwary ArcGIS, Surfer, ENVI a SVF Standalone version (EXE). Výstupy dalších vizualizačních aplikací byly zpracovány v rámci studijní stáže na Státním úřadě památkové péče Regionálního prezidia Stuttgart v Esslingen am Neckar. V rámci této praxe mi byl také zpřístupněn software ENVI, který je za standardních okolností vysoce finančně náročný.

V následujícím kroku, po aplikaci vizualizačních algoritmů a vytvoření jednotlivých výstupů jsem přistoupila k fázi prospekce získaných výstupů a mapování detekovatelných objektů. Mapování probíhalo v postupu vytváření vektorizovaných výstupů identickým s tím, v který byl použit v případě zpracování leteckých snímků. Také tato data jsou součástí geodatabáze, selektována dle jednotlivých lokalit.

Nejvýraznější odchylkou tohoto typu dat od analýzy leteckých snímků představuje pojetí v přístupu ke konkrétním lokalitám. Významnou roli hraje v tomto případě aspekt míry prozkoumanosti daného území. V analyzovaném souboru nalezneme zastoupení lokalit, jež byly v minulosti zkoumány prostřednictvím odlišných archeologických metod (geodeticko – topografický průzkum, geofyzikální prospekce, destruktivní výzkum odkryvem atd.). Pro tyto lokality představuje aplikace leteckého laserového skenování již fázi verifikační. Proto je v tomto případě analytická fáze orientována na mapování takových objektů, detekovatelných na podkladech lidarových dat, jež dosud nebyly dostatečně zmapovány či se jejich lokalizace liší od v tomto směru

přesných podkladů laserového skenování (ZSV Javor, Sloupek). Charakter analytického přístupu se v těchto situacích přikláněl spíše k induktivnímu pojetí (Neustupný 2007, 165). Deduktivní přístup analýzy dat (Neustupný 2007, 166) zastupovaly lokality, u nichž data leteckého laserového skenování představovaly hlavní informační bázi, na jejímž základě byla lokalita analyzována a zmapována (Národní Park České Švýcarsko). Získané informace byly následně verifikovány dalšími metodami.

V obou případech datových celků letecké prospekce a leteckého laserového skenování byla analýza zaměřena také na posouzení efektivity jednotlivých metod z hlediska časových, finančních, kvalitativních a interpretačních aspektů. Konkrétní vyhodnocení jednotlivých metod v praktickém využití je součástí každé individuální případové studie (ve smyslu lokality).

Dle předpokladů primárního teoretického modelu by mělo být možné následnou syntetickou fází dosáhnout určitých interpretovatelných struktur, odrážející míru závislosti efektivity jednotlivých metod na konkrétních vlastnostech (přírodních, chronologických, typologických, prostorových atd.) zkoumaných lokalit.

6.10 Oblast Podřipska

Oblast archeologického zájmu je situována na rozhraní severočeského a středočeského regionu. Rozsáhlejší část oblasti náleží do ústeckého kraje, menší do středočeského. Geomorfologické zařazení Podřipska spadá pod oblasti Řipské tabule, sousedící s tabulí Hazmburskou a Terezínskou kotlinou. Dělicím mezníkem je v tomto případě řeka Ohře. Nadstavbovým geografickým celkem pro všechny tři oblasti je Dolnoohraská tabule, jež je součástí Středočeské tabule. Typickým rysem tohoto geomorfologického útvaru je rovinatý charakter, umožňující vysokou dohledovou vzdálenost. Nejvyšší horou Dolnooharské tabule je hora Říp (456 m.n.m.) (Gojda 2010, 12).

Zájmové území projektu Archeologie krajiny Podřipska (součást vědeckého programu Opomíjená archeologie (2005 - 2010) Katedry archeologie Západočeské univerzity v Plzni) lze vymezit jako kružnici o poloměru cca 11 km, jejímž středobodem je hora Říp. Hlavní cíle tohoto projektu se odvíjely od faktu podrobného mapování tohoto regionu již v dřívější době a možnosti využití širokého spektra archeologických metod, jimž v tomto případě vévodila a vévodí letecká prospekce z nízko letícího letadla. Letecké snímky tvořily výrazný podíl primárních vstupních dat celého projektu, na něž navázaly jednotlivé archeologické akce převážně nedestruktivního charakteru. Vznikl tak celek dat variabilních archeologických praktik, lokačně vázaný na jeden transekt.

V rámci územního rozsahu tohoto regionu se předmětem mého zájmu staly dvě lokality, jejichž existence byla zaznamenána pomocí letecké prospekce nízkou letícího letounu. Obě tyto lokality objevil a dokumentoval M. Gojda v průběhu 90. let 20. století. Volba těchto konkrétních lokalit byla vyústěním několika aspektů. Nejvýznamnější z nich je ten, jenž se týká prozkoumanosti dané lokality a počtu aplikovaných metod, které lze považovat za verifikační ve vztahu k letecké prospekci. Dalším aspektem je rozsáhlá kolekce leteckých snímků, které mohou být podrobeny výběru a komparaci z hlediska jejich využitelnosti pro tvorbu archeologických fotoplánů. Třetím faktorem, ovlivňujícím výběr daných lokalit byla možnost aplikace vlastní metody šikmého snímkování na vlícovací body, umístěné přímo na povrchu terénu v prostoru dané lokality. Tento princip již v roce 2011 aplikoval J. Čibera na stavební činnosti ohrožené lokalitě Hořín (okr. Mělník), objevené M. Gojdou (Čibera, rukopis článku). Pomocí této metody vznikl kompletní polohopisný plán celé lokality Hořín, která je tvořena systémem tří dělostřeleckých redut 18. – 19. století.

6.10.1 Straškov

Tato lokalita byla objevena 10. 7. 1992 leteckou prospekcí prostřednictvím vegetačních příznaků. Bylo zde zaznamenáno velké

množství bodových a několik liniových objektů. Od této doby byla lokalita podrobena iterativní letecké prospekci a dokumentaci. V důsledku tohoto počínání, byl získán fotografický záznam, který díky ideálním podmínkám snímkování krajiny odhalil celou řadu nově detekovaných objektů (pět nadzemních kúlových staveb, jednoho pravoúhlého ohrazení a již v minulosti Z. Smržem objevená tříkúlová dispozice uvnitř prostoru jednoho obdélníkového ohrazení), které v minulosti nebyly zaznamenány na žádném předchozím snímku. Série těchto snímků pochází z července roku 2008 a několik snímků bylo využito také v tomto projektu (Gojda 2011, 32 – 33).

Z hlediska prostorových a formálních aspektů lze tuto lokalitu považovat za jednu z mnoha plošně rozmístěných archeologických lokalit, situovaných jihozápadně od Řípu. Její umístění je situováno na výrazném písčitém terasovitém pahorku s viditelnou výraznou hranou na severní, západní a jižní straně. Lokalita se nachází na severovýchodním okraji obce Straškov – Vodochody a je obehána ze dvou stran (jižní a západní) místní vodotečí – potokem Čepel (Gojda 2011, 33).

6.10.1.1 Letecké snímky

První fází analytického zpracování lokality Straškov bylo vytvoření kolekce leteckých snímků a jejich transformace do interpretovatelného fotoplánu (který dosud nebyl vytvořen ze šikmých snímků, přestože mají největší informační potenciál).

Pro tvorbu fotoplánu lokality posloužily snímky z roku 2012 z již zmíněného archeologického workshopu v Sazené. Pro rektifikaci jednotlivých snímků a následné georeferencování s možností kontroly odchylek byly v prostoru samotné lokality vytvořeny vlíčovací body, které byly geodeticky zaměřeny. Vlíčovací body byly realizovány umělou signalizací představovanou papírovými čtvrtkami, rozmístěnými rovnoměrně po celé lokalitě, které byly následně zaměřeny pomocí totální stanice.

Pro eliminaci distorze objektivu byly pomocí zkušební verze fotogrammetrického softwaru PhotoModeler Scanner zjištěny kalibrační údaje, které byly implementovány do programu SIMphoto. Transformací snímku v této aplikaci byly opraveny chyby vzniklé radiální a tangenciální distorze, a rektifikovány na tachymetricky zaměřené vlíčovací body. Vzniklý fotoplán byl následně uložen do formátu tiff., jež byl následně georeferencován do výsledného produktu geotiff. Tím jsme získali kompletní georeferencovaný fotoplán lokality, který mohl být nadále zpracováván (**Tab. IXXX**).

Jako podkladový interpretační plán byl v tomto případě využit výstup zpracování identické lokality L. Šmejdou, který se zabýval vyhodnocením srovnání šikmých a kolmých leteckých snímků a jejich výpovědní hodnoty. Plán detekovaných objektů vertikálního snímkování mi byl L. Šmejdou poskytnut jakožto komparační materiál pro moji vlastní interpretaci, pocházející z analýzy šikmých leteckých snímků. Srovnáním výstupů obou projektů byla v rámci prostorově shodného vymezení území nalezena shoda u 245 objektů, totožně vymapovaných oběma postupy (polohová přesnost obou vektorizovaných výstupů mapování je v řádu decimetrů). Prostřednictvím aplikace výsledného digitalizovaného fotoplánu vytvořeného ze snímků roku 2012 byl počet lokalit navýšen o 115 nových záznamů. Tím se interpretační potenciál lokality zvyšuje o téměř 32% (z celkového počtu 360 záznamů) (**Tab. XXXI – XXXII**).

Typologické zařazení těchto nově objevených objektů je ve všech případech možné označit jako bodové objekty, zpravidla kruhového či oválného tvaru, ve většině případů situovaných do pravidelného uspořádání do 3 řad (pozorovatelných u minimálně 7 objektů) bez známek obvodového ohrazení. Z tohoto důvodu se lze domnívat a funkčně vymezit tyto objekty jako půdorysy nadzemních staveb. Zbylé objekty lze vyhodnotit jako bodové, nesourodně rozmístěné kumulace. Z těchto 7 nově objevených situací byly 4 ztotožněny s objekty, detekovanými v minulosti prostřednictvím leteckého snímku „ideálních podmínek“ z roku 2008, včetně atypického půdorysu nadzemní stavby,

situované na severovýchodním okraji lokality (srov. Gojda 2011, Obr. 3.13).

Metrické parametry se u nově objevených pravidelných objektů pohybují v identické rovině (14 – 15 x 8 – 9 m) s jednotnou orientací S – J (kromě atypické nadzemní stavby, jež je orientována Z - V). Z těchto faktů lze odvodit zařazení identifikovaných objektů jakožto archeologické odrazy jednoho časového horizontu. Následným srovnáním metrických a polohových vlastností s objekty objevenými analýzou kolmých snímků lze dosáhnout potvrzení této pravidelnosti, svědčící o přítomnosti určitých struktur v analyzovaném souboru. Komparace prokazuje zřejmé stejné vlastnosti v polohopisné orientaci (S - J). Metrická analýza byla aplikována u jediného prostorově vymezeného objektu. Jedná se o objekt situovaný v západní části lokality, dispozice obdélného ohrazení, vyplněného třemi řadami sloupových jamek (viz. Šmejda 2009, 33, Obr. 7.48; Gojda 2011, 33). Metrická analýza jeho proporcí (obvodové ohrazení - 18, 6 x 11, 4 m v největších partiích; vnitřní řady jam – 13, 5 x 7,4 m) odhaluje shodné rozměrové hodnoty půdorysu vnitřního uspořádání sloupových jam tohoto objektu, a objektů identické řadové dispozice (bez dokladů obvodového ohrazení) rozmístěných kolem. Také z tohoto důvodu je možné tyto dva typy řadit do chronologicky identického horizontu.

Výjimku celého souboru představují dvě obdélná ohrazení, orientovaná Z – V o rozměrech 8,4 x 5, 9 m a 8, 3 x 5, 4 m. Jejich funkční a chronologická determinace zůstává otázkou.

Získáním tohoto plánu a jeho mapováním dospíváme do fáze primární interpretace. Abychom však byly schopni tuto primární interpretaci rozvést až do fáze interpretační podoby finální, je nutné aplikovat další analytické metody.

Výchozí pramennou základnou představovaly výsledky z nedestruktivních archeologických metod, aplikovaných v průběhu minulých let.

6.10.1.2 Geofyzikální analýza

V roce 2002 byl aplikován magnetometrický průzkum cesiovým magnetometrem Smartmag Archeologického ústavu Praha, AV ČR, jehož výsledky byly výrazně ovlivněny vlivem orby a mělkým charakterem půdního pokryvu. Již v dřívějších letech (1992) bylo učiněno několik pokusů o měření jinými aparaturami, avšak bez valného úspěchu (Křivánek, ústní sdělení).

Přesto lze na výsledku magnetometrického měření sledovat poměrně výrazné anomálie, kopírující objekt pravoúhlého obdélného ohrazení, metricky zcela odpovídající fotoplánu.

6.10.1.3 Povrchové sběry

Povrchové sběry byly na této lokalitě uskutečněny v průběhu dvou sezón. První z nich byl uskutečněna v listopadu roku 1992, v březnu roku 1993 navazoval sběr druhý etapa druhá. Získaný materiál byl zastoupen z 87,8% fragmenty keramických artefaktů (36 ks) (Gojda 1996, 234). Zbylé množství (12,2%) zastupuje 5 kusů nalezené štípané industrie (zlomky čepelový úštěpů), datované do období mladšího / pozdního paleolitu – staršího neolitu (datace Sl. Venci) (Gojda 1996, 240). Způsob povrchových sběrů byl přizpůsoben primárním účelům průzkumu jak pro verifikaci koncentrací objektů letecké prospekce, tak i bezprostřední širší plochy dané lokality (ostrožna, terasa, vrcholová plocha vyvýšeniny atd.) (Gojda 1996, 224, Obr.1). Vyhodnocením získaných dat bylo možno lokalitu chronologicky zařadit do období středního eneolitu (k. řivnáčská) – starší doby bronzové (k. únětická). Tuto interpretaci je bezesporu nutné hodnotit v jistém smyslu kriticky, především v důsledku georeliéfního typu a formačních procesů, jež na tuto lokalitu působí.

6.10.1.4 Letecké laserové skenování

Aplikace výstupu leteckého laserového skenování v tomto případě neprokázalo dle očekávání žádnou přítomnost jednotlivých objektů,

zachycených pomocí letecké prospekce. Její přínos lze ovšem spatřit v možnosti výzkumu prostorových aspektů lokality, zejména ve sféře sledování georeliéfních výškových parametrů daného prostoru. Odvozením výškových přechodů hran, bylo zjištěno převýšení vrcholové partie vyvýšeniny od okolního terénu prostoru vesnice Straškov 5 – 10 m. To nepochybně výrazně ovlivňuje erozní procesy dané lokality, jimž jsou vydány napospas jak jednotlivé objekty, tak i přítomné archeologické artefakty. Data využitá pro analýzu leteckého laserového skenování byla získána z projektu Nového výškopisu České republiky zprostředkovaná Českým úřadem zeměměřickým a katastrálním v podobě datových výstupů digitálního modelu terénu 4. generace (DMR 4G) - mapový list Libochovice 0 – 5.

6.10.1.5 Typová analogie objektů

V roce 2008 - 2009 byly v průběhu záchranného exkavačního výzkumu silničního obchvatu Kolína objeveny tři objekty, identického půdorysu jako objekt typu obdélného ohrazení, s vnitřní strukturou třech sloupových řad. Kolínské nálezy bylo díky destruktivnímu typu archeologického výzkumu možno datovat do období bylanské kultury. Tato náhodná analogická shoda umožnila bližší možnou interpretaci objektů lokality Straškov 1 (Gojda 2011, 35).

6.10.1.6 Syntéza a interpretace

Výše uvedený přehled aplikovaných metod archeologického výzkumu poukazuje na fakt obtížné interpretovatelnosti dat leteckého průzkumu, bez nutné aplikace několika typů verifikačních metod. V tomto případě je finální interpretace o to náročnější, z důvodu chronologického vymezení lokality jako pravěké, tím pádem nelze aplikovat jakékoliv historické zdroje, jež je možno využít v případech analýzy středověkých či novověkých situací.

Syntézou zjištěných struktur lze lokalitu Straškov vyhodnotit jako polykulturní pravěkou lokalitu, jejíž chronologické vymezení sahá od doby

mladého eneolitu, přes dobu bronzovou po bylanskou kulturu starší doby železné. Toto vymezení již dříve definoval také M. Gojda, s využitím rozšířených příkladů analogických typů lokalit v blízkém okolí (Straškovsko – Račiněvský sídelní prostor).

Analýza leteckých snímků a vytvoření fotoplánu umožňuje chronologické interpretační vymezení aplikovat na další detekované objekty na bázi jejich metrické a polohové analýzy.

6.10.2 Vražkov

Druhá lokalita zastupující podřipský region je lokalita Vražkov, poloha 1. Jedná se polohu situovanou necelé 2 kilometry jihozápadním směrem od vrcholu hory Říp. Tato lokalita, objevená prostřednictvím porostových příznaků v rámci leteckého průzkumu oblasti Podřipska, zastupuje jeden z několika obdobných objektů, situovaných do okolí vesnice Vražkov (např. Vražkov, poloha 4) (Gojda 2011, 22).

Soliterní objekt představuje uzavřený oválný (až lichoběžníkovitý) útvar, orientovaný V – Z o maximálních rozměrech 26, 4 x 13, 1 m.

Výběr této lokality byl uskutečněn z důvodu možné komparace archeologických metod letecké prospekce, geofyzikálního průzkumu, povrchových sběrů a dat leteckého laserového skenování dvou kvalitativně rozdílných kategorií DMR 4G a DMR 5G.

6.10.2.1 Letecké snímky

Základní vstupní data v tomto případě představovaly šikmé snímky letecké prospekce. Po jejich rektifikaci a georeferencování prostřednictvím softwaru SIMPhoto byl vytvořen fotoplán dané situace. Na jeho základě byl objekt vektorizován a uložen v podobě samostatné vektorové vrstvy do geodatabáze.

Typologicky lze tento typ objektu zařadit do skupiny A.1.2. (dle Gojda 1997b). Objekt je viditelný na opakovaných leteckých snímcích

pořizovaných od 90. let. Tato kolekce mi poskytla datovou základnu, z níž byly vybrány snímky vhodné pro rektifikaci.

6.10.2.2 Povrchové sběry

Výsledky povrchových sběrů, aplikovaných na této lokalitě byly negativní ve smyslu absence jakýchkoliv nálezů pravěké či raně středověké keramiky (stejně tak jako v případě analogické lokality Vražkov 4) (Křivánek 2011, 44).

6.10.2.3 Geofyzikální analýza

V roce 2006 byl na lokalitě proveden geofyzikální výzkum za použití cesiového magnetometru Smartmag Archeologického ústavu Praha AV ČR, ve spolupráci s testováním magnetometru Navmag SM – 5, který vlastní Katedra archeologie Západočeské univerzity v Plzni (Křivánek 2007; 2008) (**Tab. XXXIII**).

Aplikace magnetometrického měření prokázala přítomnost jednoduchého liniového příkopového ohrazení ve tvaru oválu. Vnitřní prostor objektu nenesl žádné známky přítomnosti anomálií, značících další zahloubené útvary. Měření bylo částečně negativně ovlivňováno přítomnými neovulkanickými kameny rozmístěnými v štěrkopískové terase. I přes tyto vlivy, výsledky magnetometrického měření poskytují opravdu přesný a zřetelný obraz zahloubené situace (Křivánek 2007; 2008; 2011).

6.10.2.4 Letecké laserové skenování

Jak již bylo v úvodu této kapitoly naznačeno, hlavním záměrem této studie je komparace efektivity a výpovědní hodnoty jednotlivých nedestruktivních verifikačních technik. Důvodem výběru leteckého laserového skenování právě na této lokalitě je snaha o zjištění míry použitelnosti této standardně využívané metody v lesních biotopech v prostředí otevřené, zemědělsky aktivně využívané oblasti. Pro tyto účely mi byla poskytnuta data Českého úřadu zeměměřického a katastrálního v

podobě mapových listů (Mělník 9 – 4) digitálního modelu terénu 4. generace (DMR 4G) a digitálního modelu terénu 5. generace (DMR 5G).

Aplikace DMR 4G, stejně tak jako DMR 5G nevytvořila na první pohled žádné signifikantní znaky přítomnosti daného ohrazení. Zároveň byl viditelný rozdíl mezi DMR 4G a DMR 5G v rámci širšího terénního zázemí. DMR 4G (vzhledem k absenci podrobné ruční filtrace) je pro analýzu terénního reliéfu použitelná opravdu pouze v případech práce s rozsáhlými krajinnými celky a základní detekce opravdu výrazných terénních hran. Ani v tomto případě nelze však spoléhat na informace, viditelné na těchto výstupech (vždy se může jednat o neodfiltrovaná data, způsobující ruch snímku a nepravé reliéfní anomálie). Stínovaný model vygenerovaný z datového souboru DMR 5G lze naopak považovat za nepochybně dostatečnou pramennou základnu pro analytické prospekce krajinných celků. Data jsou v tomto případě filtrována a klasifikována precizně a tento zdroj skýtá široké možnosti průzkumu terénu archeologických lokalit.

Abych byla schopna definitivně vyloučit jakékoliv znaky o přítomnosti daného útvaru na digitálním modelu terénu, zkusila jsem v první řadě aplikovat odlišné vizualizační algoritmy, pracující na bázi zvýraznění objektů nízkého reliéfu (Trend Removal). Aplikací Trend Removal byl získán digitální model terénu vizualizovaný v barevném spektru rozsahu -0,2m – 0,2m. Tento vizualizační algoritmus však žádné výrazné signifikantní výsledky nepřinesl. Další metodou, jejíž aplikace byla testována, spočívala ve vytvoření řezu danou situací. Řezy byly vedeny dvěma směry V - Z a S - J. Výsledky, vizualizované na samostatných výstupech svědčí o opravdu nepatrném záznamu jistého převýšení, lokačně odpovídajícímu prostoru detekovaného ohrazení. Díky tomu lze interpretovat daný objekt jako téměř zdevastovaný (rozoraný zemědělskou činností) relikt nadzemního útvaru (**Tab.XXXIV**).

6.10.2.5 Syntéza a interpretace

Porovnáním výsledků všech aplikovaných metod byly dosaženy pozitivní výsledky v případech využití leteckých snímků transformovaných do georeferencovaného fotoplánu a především aplikace geofyzikálního průzkumu, jež odhalil podrobnou a kompletní strukturu daného objektu. Letecké laserové skenování lze v tomto případě využít jakožto verifikační metodu s hlavním cílem, jímž je snaha o rozeznání současného stavu zachovalosti daného objektu.

Primární interpretace objektu na leteckém snímku dle typologického zařazení a výstupy geofyzikální prospekce jsou v tomto případě jediným vodítkem chronologického zařazení. Objekt lze vyhodnotit jako s největší pravděpodobností pravěký, datovatelný do období eneolitu. Bližším metrickým určením jej lze charakterizovat jako časně eneolitickou hrobovou konstrukci (dlouhá mohyla).

6.11 Region Rokycanska

V roce 2005 byl zahájen dlouhodobý projekt v rámci výzkumného projektu *Opomíjená archeologie (2005 - 2010)*, jehož řešitelem byla Katedra archeologie Západočeské univerzity v Plzni. Součástí tohoto projektu byla sekce, orientovaná na výzkum efektivy aplikace archeologického výzkumu v zalesněných oblastech. Tento typ přírodního prostředí umožňuje zkoumat archeologické památky, jejichž relikty nebyly vystaveny destrukčním procesům v podobě zemědělské či stavební činnosti. Z tohoto důvodu je možné archeologickým výzkumem analyzovat situace, jež jsou dosud pozorovatelné v podobě nadzemních reliktnů (Vařeka 2006, 7 – 12).

Hlavní chronologické zaměření projektu bylo orientováno na problematiku zaniklého osídlení mladšího středověku a časného novověku. Primární tematické okruhy byly orientovány na oblast archeologických transformačních procesů lesního prostředí, na analýzu

sídelní struktury a podoby vesnických sídel (Vařeka 2006, 7; 2007, 150 – 152).

V rámci tohoto projektu bylo již zpracováno a částečně publikováno celkem 12 zaniklých středověkých sídelních areálů (Vařeka 2006; 2007, 150 – 157; 2008. Zaniklé středověké vesnice Javor a Sloupek představují jedny z nejlépe prozkoumaných situací celého souboru. V obou případech jsem se aktivně zúčastnila výzkumných prací jak destruktivního, tak i nedestruktivního charakteru. Vzhledem k povaze daných lokalit, jež se dá definovat jako archeologicky velice obtížně zkoumatelná oblast, bylo v obou případech aplikováno letecké laserové skenování. Tato situace je tedy příkladovou studií aplikace možných verifikačních metod na datových typech leteckého laserového skenování.

6.11.1 Zaniklá středověká vesnice Javor (okr. Rokycany)

Tato vesnice je situována v prostředí Štáhlavského nebo také Kozelského polesí západních Čech nedaleko (cca 1500 m) obce Kornatice. Osada zaujímá prostorové vymezení v mírném svahu pánve bezejmenné vodoteče, jež se vlévá do Kornatického potoka. Nadmořská výška této lokality se pohybuje v rozmezí 450 – 480 m. Podloží je zde tvořeno břidlicemi a droby spilitového komplexu algonkia, které překrývá zvětralinový plášť svahových sedimentů (Veselá 2008, 27 – 28).

První zmínky pochází z druhé poloviny 14. století (predikát Čáslava z Javora), a její zánik lze datovat na konec 16. století.

6.11.1.1 Terénní výzkum

Od roku 2007 zde bylo provedeno několik výzkumných etap nedestruktivních výzkumných praktik. Prvotní fází byla terénní prospekce dané oblasti a rekognoskace reliktních. Následovala fáze tachymetrického zaměřování a tvorby kompletního plánu prostoru osady prostřednictvím totální stanice Leica TCR 407 (Veselá 2008, 29 – 30). Vytvořený digitální půdorysný plán se stal východiskem pro aplikaci podrobnějších analýz,

orientovaných především na strukturální vymezení sídelní aktivity, jednotlivých usedlostí a na jejich interpretaci. Součástí výzkumu byla také snaha o vytvoření a zmapování komunikační sítě intravilánu vesnice. Relikty vesnického intravilánu jsou soustředěny do podkovovitého tvaru okolo severní části luční enklávy, jež tvoří cca polovinu celé lokality. Celkový počet změřených objektů je 93. Jejich podrobný popis uplatnila R. Veselá v rámci své studie (Veselá 2008, 30 – 39).

Volba metodiky aplikovaného výzkumu prokázala vysokou efektivitu. Míra informačního potenciálu, jehož bylo dosaženo navrženým postupem R. Veselé, byla nadstandardně vyčerpána vzhledem k možnostem aplikovaných metod a typu lokality (náročný zalesněný terén). Limitní faktor dosažení kvalitnějších informací představovaly přírodní podmínky a georeliéf. To bylo také důvodem, proč byl extravilán vsi považován v rámci výzkumu pouze za okrajovou záležitost, a to i přesto, že si autorka výzkumu jeho význam pro interpretační výstupy plně uvědomuje.

6.11.1.2 Letecké laserové skenování

V roce 2010 byla Katedrou archeologie získána data leteckého laserového skenování úseku asi 10 km² v oblasti Štáhlavského polesí. Při výběru rozsahu a polohy skenovaného polygonu do něj byla záměrně zahrnuta také zaniklá středověká vesnice Javor a její okolí. Primárním důvodem tohoto rozhodnutí byl fakt předchozích výzkumných aktivit, jež byly na lokalitě uskutečněny a možnosti srovnání dosažených výsledků jak terénního výzkumu, tak i leteckého laserového skenování. Hlavní záměr byl orientován na porovnání využitelnosti dílčích metod a vyhodnocení časových, finančních a kvalitativních aspektů.

Lidarová data byla získána prostřednictvím grantového projektu od německé firmy Milan Geoservice GmbH jako surová (*las) i filtrovaná (*asc) data v souřadnicovém systému UTM / WGS – 84. Snímkování bylo uskutečněno skenerem Riegel LMS-Q560 v březnu roku 2010 v letové

výšce 600 m, skenerem LMS-Q560. Finální síť bodů (grid) byl vyhotoven s rozlišením 1x1m a hustotou 1-2 body/m².

Po prvotním zpracování dat a vytvoření rastrového digitálního modelu terénu byl jako výchozí vizualizační algoritmus zvolen stínovaný model. Ten se také stal základním srovnávacím podkladem pro následné verifikační metody.

Porovnáním výsledků pozemního zaměření situace pomocí totální stanice a viditelnosti jednotlivých objektů na lidarových snímcích je na první pohled zřejmá vysoká polohová přesnost tachymetrického zaměření ve srovnání s digitálním modelem. Po měření parametrů přesnosti byla zjištěna odchylka v řádech několika decimetrů.

Extravilán vesnice

Následný krok směřoval k analýze viditelnosti objektů v bezprostředním zázemí vesnice. Jako mapovaná oblast byl zvolen polygon 400 x 500 m obklopující prostor intravilánu. V této oblasti byl proveden vizuální průzkum lidarových dat a následné mapování objevených situací. Tvrziště situované v jižní části lidarového polygonu nebylo předmětem analýzy. Nejvyšší zastoupení lze pozorovat v podobě liniových jednoduchých objektů, následující analýza je proto primárně orientovaná právě na ně. Celkový počet nově objevených liniových útvarů ve zvoleném polygonu je 69. Ty byly typologicky kategorizovány do 3 skupin – úvozy, plužina a linie.

Úvozy

Objekty vymapované z lidarových snímků jako úvozy (31 objektů) představují liniové systémy, situované ve východní části analyzovaného území a v mírném pravotočivém oblouku obíhají v severojižním směru prostor osady.

Plužina a mezní pásy

15 liniových objektů reprezentuje detekované linie mezních pásů, situovaných paprskovitě kolem vesnického intravilánu. Z těchto 15 objektů R. Veselá ve svém plánu zachytila dva a část třetího mezního pásu v jižní části vesnice a správně je určuje jako možné relikty dokládající přítomnost plužiny. V severní části (hůře prostupné) R. Veselá zaznamenala další čtyři liniové objekty a funkčně je determinovala jako relikty úvozových cest. Při bližší prospekci lidarového snímku je však zcela nepochybné, že se také v těchto případech jedná o dochované pozůstatky pásů vymezující zaniklé polní systémy.

Přítomnost a možné mapování těchto liniových mezních pásů má značný význam také pro vlastní interpretaci lokality. Na základě prospekce terénu a zaměření jednotlivých zaznamenaných útvarů byla sídelní struktura vesnice z hlediska početního zastoupení jednotlivých usedlostí interpretována jakožto osada, čítající počet sedmi usedlostí. Na kombinovaném plánu intravilánu vesnice a zmapovaného okolí je však možné pozorovat jistou pravidelnost lokace mezních pásů vůči vesnickému půdorysu. Ten lze označit jako typ návesní, se zastavěnou plochou tří stran, obklopujících obdélný centrální prostor a otevřeným vstupním areálem v jihozápadní části. Nápadnost pravidelného vytyčení mezních linií byla konfrontována s interpretačním vymezením jednotlivých usedlostí od R. Veselé (**Tab.XXXV – XXVII**).

Pozitivní výsledek v tomto případě prokazuje jednoznačnou vazbu rozmístění obytných usedlostí s jejich zázemím v podobě jedné plužiny. Z tohoto závěru lze odvodit fakt, možného zpřesnění počtu přítomných usedlostí na základě kalkulace počtu plužin. Tím se dostáváme k počtu minimálně deseti usedlostí. Tento počet také potvrzuje teorii R. Veselé, že severovýchodní část původní osady podlehlá totální zánikové transformaci v důsledku mladší těžební aktivity (Veselá 2008, 48). To je také důvodem, proč nebyly v rámci terénní prospekce v této části jakékoli

doklady sídlištní aktivity doloženy. Přítomnost plužin se tak stává nepřímým indikátorem detekce sídlení v této narušené části vesnice.

Zbylé liniové objekty lze zařadit do kategorií terénních rýh a současných lesních cest bez většího náznaku spojitosti s danou archeologickou lokalitou.

6.11.1.3 Syntéza a interpretace

Vzhledem k prostředí opravdu velmi těžko prostupného terénu s množstvím variabilních georeliéfních anomálií, je aplikace terénní prospekce reliéfních tvarů vysoce limitující metodou. Především mapování a prospekce vesnického zázemí se stává velice zdoluhavou a nákladnou záležitostí. Z časového a především kvalitativního hlediska je aplikace leteckého laserového skenování v tomto případě zcela ideálním přístupem. Limitujícím faktorem pro její aplikaci může být vysoce obtížná detekce jednotlivých objektů, situovaných v oblasti vnitřního prostoru osady. Vytvářet interpretaci této vysoce důležité oblasti pouze na podkladě lidarových dat je nemožné. Proto se jako ideální řešení jeví aplikace kombinace metod terénní prospekce a tachymetrického zaměřování s analýzou digitálního modelu terénu (**Tab XXXVIII**).

6.11.2 Zaniklá středověká vesnice Sloupek (okr. Rokycany)

Zaniklá středověká vesnice Sloupek představuje jednu z nejkompletněji prozkoumaných archeologických situací tohoto druhu v Čechách.

Archeologická lokalita je předmětem výzkumných zájmů Katedry archeologie Západočeské univerzity v Plzni již od roku 2005 (Vařeka 2008, 63).

V první etapě výzkumu byl celý areál podroben detailní povrchové terénní prospekci a jednotlivé objekty byly zaznamenávány pomocí GPS stanice. Zároveň byl za pomoci mikrosondážní techniky vymezen prostor

předpokládaného intravilánu zaniklé vesnice Sloupek a aplikován terénní výzkum odkryvem, v podobě šachovnicové sítě sond 2 x 2 m v zástavbových partiích, a systém rozsáhlejších sond v případech analýzy objektů v bezprostřední blízkosti centra vesnice (vodní cisterny a rybníky, výrobní areály atp.). V dalších fázích projektu byly mezi aplikované výzkumné obory integrovány rozšiřující verifikační i interpretační technologické postupy v podobě geofyzikální analýzy, fotogrammetrie, geodeticko-topografického průzkumu, využití systematického průzkumu pomocí detektorů kovů atp.

Na základě keramických nálezů je možné tuto lokalitu datovat do 14. – 1. poloviny 15. století, dle písemných pramenů do období 1379 (1. zmínka v rožmberském urbáři) až 1652 (zbirožský urbář obsahuje informaci o deseti pustých lánech). Typologicky se ta to vesnice vymyká standartnímu charakteru středověkých obcí. Usedlosti jsou umístěny na svažitém terénu v nadmořské výšce, dosahující téměř 500 m. V bezprostředním okolí dané lokality nebyla zaznamenána přítomnost vodního toku (Vařeka 2008, 63).

V roce 2011 se Katedře archeologie v Plzni podařilo získat snímky leteckého laserového skenování, jež byly podrobeny rozsáhlé analýze za účelem verifikace dosud interpretovaných výsledků výzkumu a zároveň se projekt analýzy laserových dat orientoval na detekci nově objevených lokalit, polohopisného i výškopisného zpřesnění datových souborů výzkumu.

V tomto případě byl pro práci určen datový soubor nasnímaný v březnu roku 2011, jakožto jeden ze dvou dílčích skenovacích fází grantového projektu GAP405/10/0454 Potenciál archeologického výzkumu krajiny v ČR prostřednictvím dálkového laserového 3-D snímkování (LIDAR) (Gojda – John – Starková 2011). Data byla pořízena firmou Geodis Brno s.r.o. Vstupní datový soubor analýzy této lokality tvoří filtrovaná a klasifikovaná data v podobě textových souřadnicových

formátů (X,Y,Z), transformovaných do českého souřadnicového systému S-JTSK a výškopisného systému Bpv.

6.11.2.1 Letecké laserové skenování

Datové soubory leteckého laserového skenování byla poskytnuta ve formátech jak neklasifikovaných dat (*las), tak i dat filtrovaných a klasifikovaných (*asc). Pro zpracování daného projektu byla zvolena z mnoha praktických důvodů (především absence výkonnostně dostačujících hardwarových i softwarových zařízení) již filtrovaná data v podobě textových souborů souřadnicových záznamů vygenerovaného digitálního modelu terénu. Ta byla následně přetransformována do podoby rastrových podkladových dat. V případě aplikace vizualizačních analytických algoritmů byl za podkladový soubor zvolen digitální elevační model s rozlišením 1 metr.

Výsledky lidarových dat byly konfrontovány s dílčími výsledky jednotlivých metod, aplikovaných jak ve vnitřním zastavěném prostoru osady, tak i jejího širšího zázemí. V tomto případě je využití lidarových dat v podstatě dokompletováním aplikovatelných nedestruktivních metod v rámci daného projektu výzkumu archeologické lokality.

Hlavním cílem projektu bylo kompletní zpracování lidarových dat nasnímaného polygonu vesnice a blízkého okolí. Analýza se v tomto případě sestávala z úplného mapování veškerých objektů, které by dle interpretátora mohly být odrazy antropogenní činnosti v daném teritoriu.

6.11.2.1.1 Vizualizační algoritmy

Za výchozí podkladovou vrstvu byl vybrán stínovaný model terénu v základním provedení odstínů šedi. Podrobnou analýzou bylo objeveno několik stovek jednotlivých objektů, které byly rozčleněny do tří skupin dle tvarového zastoupení. Nejvyšší početní zastoupení představují jednoduché bodové entity (417). Druhá kategorie je tvořena jednoduchými

liniovými objekty (302). Poslední skupina je zastoupena polygonovými útvary, které byly vytvářeny v místech velké kumulace dílčích objektů (46).

Dosažení těchto výsledných hodnot početního zastoupení jednotlivých objektů bylo prostřednictvím aplikace variabilní sféry vizualizačních algoritmů. Na bázi analýzy základního stínovaného modelu byl dosažen počet 289 bodových objektů, 47 linií a 8 polygonových areálů.

V rámci analýzy byly aplikovány rozšiřující vizualizační techniky, umožňující zviditelňovat další objekty. Celkový výčet vizualizačních praktik, využitých v rámci této případové studie čítá 7 dílčích algoritmů.

Jako nejefektivnější technikou pro průzkum této oblasti byly vyhodnoceny vizualizace stínovaného modelu, Slope analýzy, Local Relief Model a Sky-view faktor. Zbylé techniky (Color spectrum, PCA a Accessibility) byly z hlediska nárůstu detekovaných objektů málo významné.

V rámci této analytické fáze byly jednotlivé objekty charakterizovány primární interpretací funkční determinací, jež je součástí atributové tabulky daných vektorových vrstev. Nejčastější zařazení bodových objektů bylo vymezeno termínem milíř (charcoal platform). U liniových objektů byly objekty nejčastěji interpretovány jako mezní pásy (field boundary), následované úvozy (roads) a lesní drenáží (drainage). Interpretace polygonových areálů byla dvojího typu. Četnější zastoupení bylo v podobě potenciálních těžebních areálů a druhá skupina představovala oblasti husté sítě úvozových cest.

Do verifikační fáze vstupují v rámci tohoto projektu celkem 4 metody. Jedná se o terestrické zaměrování pomocí GPS, tachymetrické zaměrování totální stanicí, terénní prospekce reliéfních tvarů a exkavační výzkum (**Tab. IXL – XLIII**).

6.11.2.2 GPS

Pro základní verifikaci byla využita data z terénní prospekce. Při ní byl prováděn povrchový průzkum reliéfních tvarů a jejich mapování prostřednictvím GPS. Soubory, které mi byly poskytnuty jako výsledky této fáze, jsem však nemohla považovat za kompletní. Část terénních objektů v podobě milířů byly v prvních fázích povrchového průzkumu mapovány přímo do papírové mapy 1:10 000 a data zatím nebyla převedena do digitální podoby. Z toho důvodu byl verifikační soubor považován pouze za orientační, nikoli za směroplatný z hlediska počtu lokalit. Situace u mapování povrchové těžby a těžebních areálů oproti tomu odráží již skutečný početní stav objektů zaznamenaných v terénu.

Porovnáním stavu výskytu těžební aktivity dle lidarového snímku a výstupů terénní prospekce byla nalezena shoda u všech zaměřených typologicky zařazených těžebních areálů (celkem 3), detekovaných v terénu a polygonů, primárně interpretovaných jako těžba, v databázi vektorizovaných objektů. Za relikty reflektující stopy po povrchové těžbě bylo v terénu označeno 10 oblastí. Srovnáním s lidarovým mapováním nalezneme shodu u 7 z nich. Celkový počet záznamů definovaných jako těžební aktivity na základě analýzy digitálního modelu terénu byl rozdělen do dvou kategorií – polygony, označující rozsáhlou těžební aktivity (celkem 10) a jednotlivé body mapující dílčí objekty (83).

Druhou kategorií s nejvyšším počtem detekovaných objektů jak v terénu, tak i vizuální analýzou reprezentují objekty milířů. Terénní prospekci bylo dosaženo počtu 100 záznamů (jak již bylo zmíněno, počet není v tomto případě definitivní), analýzou lidarových dat byly jako tyto výrobní komponenty označeno 427. Verifikovat tento počet záznamy z GPS je v tomto případě zcela nevhodné, z důvodů poměrně vysoké odchylky GPS (což je pochopitelné z důvodu typu prostředí) dochází ke zkreslení polohového určení (někdy až v řádech desítek metrů) a to je vzhledem k hustotě a rozměrům (8 – 12 m) daných objektů limitující.

6.11.2.3 Tachymetrie

Zaměřování totální stanicí bylo využito pro porovnání možností zpracování lidarových dat pro účely konkrétní archeologické analýzy těžebních objektů. Jako vzorový materiál byl vybrán areál situovaný 800 m jihozápadním směrem od vesnice. V rámci letní praxe roku 2011 zde bylo provedeno podrobné zaměřování celého areálu. Výstupy byly zpracovány do podoby jednotlivých vektorizovaných objektů a zasazeny na digitální model terénu. Základní porovnání bylo zaměřeno na možnost „čitelnosti“ lidarových dat pro účely detailního mapování charakteristických funkčních typů komponent. Výsledné porovnání jasně prokazuje výrazné limity lidarových dat v tomto směru (nepochybně závisí na jejich kvalitě a podrobnosti rozlišení). Pro účely detailního mapování je bezesporu nejvhodnější metodou tachymetrické zaměření (**Tab XLIV. – XLV**).

Do této kategorie verifikačních praktik byla zařazena také srovnávací analýza výpovědní hodnoty lidarového podkladu v oblasti podrobného mapování vesnického intravilánu. Celkový plán vesnického intravilánu byl zaměřen pomocí totální stanice v průběhu dvou – tří výzkumných sezón. V současné době již máme jeho kompletní podobu k dispozici, proto jsme schopni vyhodnotit výpovědní kvalitu obou přístupů. V tomto případě docházím k závěru identickému jako v případě analýzy zaniklé středověké vesnice Sloupek. Lidarová data nejsou schopna poskytnout informace jasně definovatelných a interpretovatelných objektů sídlištních komponent. Aplikace tachymetrie v tomto případě zcela převládá a dominuje.

Kombinací jednotlivých výzkumných metod bylo na ploše 245 x 130 m detekováno 96 reliéfních antropogenních tvarů. Koncepce vesnické dispozice je v tomto případě tvořena dvěma řadami usedlostí, lemujících obdélný prostor návsi. Počet usedlostí byl ve finální podobě ustanoven na 9 - 10.

6.11.2.4 Exkavační výzkum

Posledním zástupcem aplikované verifikační metody byl aplikovaný terénní exkavační výzkum, probíhající v šesti po sobě jdoucích sezónách. Bohužel zatím nejsou výsledky tohoto výzkumu publikovány, proto zůstává informační kapacita z tohoto zdroje dosud nevyužita.

6.11.2.5 Syntéza a interpretace

Interpretační analýzy využitě v rámci této lokality již od samého počátku zpracování podkladových dat vysoce ovlivňují kvalitu dosažených výstupů. Porovnáním dílčích vizualizačních praktik bylo dosaženo detekce výrazně vyššího počtu terénních útvarů. V tomto směru dominují techniky stínovaného modelu terénu jakožto základní podklad primární interpretace, Slope analýza (velice vhodná pro vyhledávání liniových objektů), Sky – view faktor (nejvyšší uplatnění bylo nalezeno v oblasti mapování objektů milířů a těžební aktivity) Local Relief Model (především v oblasti rozlišení konvexnosti a konkávnosti dílčích objektů).

Vyhodnocení porovnání interpretačních výstupů mapování pomocí lidarových dat a využitých verifikačních metod prokazuje v tomto případě dosti významnou shodu. V oblasti těžebních aktivit jsou výsledky terénní prospekce prokazatelně identické s výstupy vizuální analýzy. Počet dílčích objevených útvarů na digitálním modelu terénu je výrazně vyšší, nicméně vzhledem k pozitivním výsledkům verifikace lze předpokládat, že tyto objekty byly interpretovány typologicky správně a lze je s největší pravděpodobností považovat za doklady rozsáhlé těžební aktivity, jež byla v této oblasti zaznamenána.

Srovnávací analýzou orientovanou na zhodnocení možností získání podrobných a přesných informací z lidarových data a tachymetrického měření byla vyhodnocena jednoznačně ve prospěch tachymetrického měření. Tato metoda je nezbytně nutným doplňkem v případech aplikace podrobných analytických prospekcií objektů, stejně tak jako v případě mapování menších areálů, hustě zastoupených dílčími komponentami.

6.12 Oblast Národního parku České Švýcarsko

Krajina severočeského Šluknovského výběžku představuje velmi specifický model přírodního prostředí. Tato extrémně hornatá a výškově proměnlivá krajina představuje typ krajiny, který nepochybně skýtá zajímavé informace z oblasti archeologie (středověké a především novověké) a historie, nicméně lze tuto oblast považovat za velice těžce zkoumatelnou tradičními metodami.

Nabídka zpracovat vybrané úseky této oblasti na podkladě dat dálkového průzkumu Země (v tomto případě leteckého laserového skenování) pro mne znamenala možnost orientovat svůj zájem do oblasti dosud nízkého zastoupení archeologických bádání (mimo sféru kastelologie). Po prvotní analýze rastrových dat digitálního modelu terénu, bylo v rámci dílčích, předem definovaných polygonů objeveno široké spektrum objektů, jejichž funkční zařazení bylo velice obtížné, mnohdy i nemožné. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o začlenění vybraných lokalit pod kategorii obtížně interpretovatelných dat leteckého laserového skenování.

České Švýcarsko je součástí vyššího celku chráněného území Českosaského Švýcarska. Českou část lze horopisně řadit do tzv. Děčínské vrchoviny, jež je součástí Krušnohorské soustavy (Němec – Pojer 2007, 198 - 205). Formujícím prvkem krajiny je její eroze, jež působila na reliéf několika set metrů hlubokých vrstev mořských sedimentů po ústupu křídového moře. Tvoří tedy součást rozsáhlé české křídové pánve, rozprostírající se v severní části Čech a částečně také v Německu a Polsku. Českosaské Švýcarsko je dnes reprezentováno územím čítajícím okolo 800km², rozděleným státní česko-německou hranicí. Oblast Českosaského Švýcarska lze charakterizovat jako vysoce zalesněné skalnaté přírodní prostředí s výškově silně variabilním reliéfem. V současné době lze tuto oblast vymezit do 3 výškových úrovní:

1. nadmořská výška kolem 450 m. n. m – převážně reprezentována skalními typy stolových hor

2. nadmořská výška kolem 350 m. n. m – převažuje v celé oblasti

3. dna říčních kaňonů a soutěsek (**Tab XLVIII**).

Z hlediska geologických poměrů převažuje hornina typu kvádrových pískovců či neovulkanitů (čedič), které utvářejí většinu skalních suků (Valečka a kol. 1997).

Pedologická analýza oblasti prokázala dominující podíl podzolových půd, které se vyznačují vysokou kyselostí a nízkou úrodností (Tomášek 2000). V roce 1992 byla německá část prohlášena za Národní park, stejný krok byl v roce 2000 učiněn na české straně (Němec – Pojer 2007, 199). Českosaské Švýcarsko je možno charakterizovat jako unikátní krajinný celek v centrální části střední Evropy a jako výrazný krajinný fenomén díky přítomnosti specifických skalních formací labských pískovcových hor. Hlavní vodní zdroj představuje řeka Labe, jež protéká českou i saskou stranou, ta je doplněna o řeku Kamenici, která z jihovýchodní strany vymezuje hranici Národního parku České Švýcarsko. Vegetaci Českosaského Švýcarska lze charakterizovat jako druhově rozmanitou, závislou na unikátním přírodním prostředí, vytvářeným lokálním klimatem. V dnešní době je oblast Českosaského Švýcarska téměř celá zalesněna. Nejčastější druhové zastoupení vykazují smrčiny a borovice (Valečka a kol. 1997).

6.12.1 Historie archeologických výzkumů

V 90. letech 20. století byla oblast Českého Švýcarska podrobena poměrně detailnímu archeologickému průzkumu pomocí povrchové prospekce, při němž bylo objeveno několik pravěkých lokalit z období mezolitu (pro účely ověření lidarovým systémem nevhodné vzhledem k jejich výskytu pod skalními převisy), zároveň byl nálezový fond výrazně rozšířen o objevy mnohých dokladů lidské aktivity z období středověku a raného novověku (sídelní struktury, výrobní činnost, exploatace nerostných surovin atd.), viditelných často v podobě fragmentárních

nadzemních reliktnů. Prvotním krokem k získání dat, týkajících se archeologických akcí byla rešerše dostupných databázových zdrojů. Analýzou Archeologické databáze Čech byl vymezen základní přehled archeologických lokalit. Ten byl později rozšířen heuristickou fází kompletace a studia příslušné literatury. V současné době známe okolo jednoho sta archeologických lokalit, pocházejících z výše popsané oblasti, převážně v podobě zaniklých středověkých vesnic (Mikulášovice 420 m.n.m., Brtníky 400 m.n.m., Kopec 355 m. n. m.), hradů (Šaunštejn, Falkenštejn, Chřibský, Kyjovský, Vlčí hrádek), těžebních areálů (vápenný lom Brtníky, Vlčí Hora), výrobních areálů (dehet, smola, sklo), dokladů těžby lomového kamene (limonický pískovec – Železné jámy u Kyjova, dobývky u zaniklé středověké vesnice Purkatice) a úvozů (Zápotocký 1977, 521-553; Gabriel 1987; Černá 1994; Pažourek – Velinský 1995, 197-212; Svoboda a kol. 1999).

6.12.2 Zaniklá osada Hely (Nassendorf)

Jako jedna z případových studií projektu byla zvolena zaniklá osada Hely.

První zmínka pochází z roku 1614 v souvislosti s nedalekou sklářskou osadou a hutí Doubice. Záznam pozemkových knih z roku 1654 uvádí fakt, že v této době žilo v osadě již 9 obyvatel. Následující záznam z roku 1713 informuje o rozrůstání osady Hely, čímž je založena nejstarší část dnešního Kyjova. Část osady je stále považována za původní Hely, avšak správně je přiřazena pod území rozrůstajícího se Kyjova. Z této doby je uváděn počet 15 usedlostí osady Hely a 44 usedlostí Kyjova. Až do roku 1842 jsou Hely součástí obce Kyjova. V roce 1842 se Kyjov stává samostatnou obcí a osada Hely je připojena ke Krásnému Buku (Stein 1993, 3-17). Vesnice byla násilně vysídlena v 50. letech 20. století, v 60. letech (1957) byla srovnána se zemí.

Hlavní důvody výběru této lokality lze shrnout do několika bodů:

- Absence archeologického výzkumu na daném území.
- Vysoká morfologická variabilita objektů.
- Možnost analýzy efektivity nové metody při výzkumu zaniklých vesnic.
- Příspěvek k výzkumu zalesněného prostředí a historické krajiny.
- Detekce velkého množství obtížně interpretovatelných objektů na podkladě lidarů a jejich terénní verifikace.
- Analýza komunikačních a distribučních sfér typického (v tomto případě výrobního, těžebního a sklářského) územního regionu.

6.12.2.1 Letecké laserové skenování

Výchozí pramennou základnou pro tuto studii tvoří datový fond projektu zmapování krajiny Českosaského Švýcarska pomocí lidarového systému, který vznikl pod záštitou Ústavu pro fotogrammetrii a dálkový průzkum Technické univerzity v Drážďanech (IPF), (pod vedením M. Trommlera a E. Csaplovicse) za finanční podpory European Union - Programm Interreg III A a Saského ministerstva životního prostředí v letech 2004-2006. Hlavním cílem tohoto projektu bylo vytvoření jednotné digitální mapy celého území (jak českého, tak i německého) primárně pro účely ekologické, geologické, turismu, managementu území, dokumentace lesních porostů atd. Proces snímání proběhl v 11 dubnových dnech roku 2005 v celkovém počtu 16 přeletových pásem s průměrnou výškou 1200m (**Tab. XLVI**).

Laserovým skenerem bylo zaznamenáno cca 6 miliard jednotlivých měření, ze kterých byl s pomocí matematických algoritmů vypočítán rastrový model terénu s prostorovým rozlišením 1 m. Digitální model terénu sestává z tzv. modelu reliéfu a modelu povrchu. Lidarová měření podnikla německá služba TopoSys Topographische System Daten GmbH, Biberach, zpracování získaných bodových mračen probíhalo již pod péčí Technické univerzity v Drážďanech, konkrétně v prostředí

programu SCOP, který je vyvíjen firmou Inpho ve spolupráci s Technickou univerzitou ve Vídni (Gasior 2006, 69).

Prvním krokem tohoto výzkumu bylo zpracování a podrobná analýza lidarových dat, jejich konfrontace s historickými mapami a plány a vymezení hlavních otázek celého výzkumu. Následovala heuristická fáze, doplněná o analýzu dostupných historických dat, majících vazbu k dané oblasti.

V návaznosti na tuto fázi byl zahájen terénní výzkum lokality: 1) přesné polohopisné zaměření vytypovaných objektů vesnice dochovaných v terénním reliéfu (pomocí totální stanice a GPS) a následné zpětné srovnání s lidarovými daty; 2) fotografická dokumentace jednotlivých detekovaných reliktních. Jako finální výstup je předkládán kompletní plán dané situace, vytvořený pomocí kombinace jednotlivých nedestruktivních metod aplikovaných v rámci celého výzkumu a zhodnocení míry jejich využití (finanční, časové, efektivní) na tomto typu archeologické lokality.

Výměra analyzovaného území byla stanovena 1, 2 x 1, 3 km. Centrální prostor tohoto polygonu je tvořen údolní nivou s bezejmenou vodotečí. Na obou březích potoka je v délce 750 m situována osada Hely **(Tab. XIL)**.

Základní analýza spočívala v porovnání výpovědní hodnoty historických map a leteckých fotografií pro účely interpretačního mapování objektů lidarového snímku. Z oblasti historických kartografických podkladů byly využity především mapy I., II. a III. Vojenského mapování a mapa Stabilního katastru. Historické snímky letecké fotografie zastupovaly kolmé měřické snímky z roku 1953 (tedy z období zánikových horizontů vesnice).

Výsledná zjištění kompatibility využitých zdrojů a lidarových dat byla nad očekávání pozitivní. Po přidání adekvátního výřezu mapy Stabilního katastru a jejím georeferencování, byla zjištěna téměř 100% shoda v oblasti viditelných liniových útvarů. Proto jsem se rozhodla jako výchozí

mapovací podklad využít mapový výřez Stablního katastru, zdigitalizovat jej a následně případně doplnit o objekty, detekované na digitálním modelu terénu.

Výsledný plán sloužil v nadcházejících analýzách jako vysoce efektivní verifikační zdroj.

V další fázi byla pozornost zaměřena na zhodnocení výpovědní hodnoty vertikálního leteckého snímku z roku 1953. V tomto případě se předmětem analýzy staly jednotlivé usedlosti. Z map Stablního katastru lze odvodit celkový počet 32 jednotlivých usedlostí. Letecký snímek z roku 1953 svědčí o přítomnosti pouze 17 zřetelně patrných objektů. Oblastí, jíž je možno podrobně se zabývat, je sledování míry archeologizace jednotlivých objektů. Ukázkovým příkladem může být srovnání viditelných dochovaných reliktních mezních pásů.

Mapové podklady I., II. a II. vojenského mapování nebyly vzhledem k primárním interpretačním potřebám tohoto projektu nijak výrazně využity. Odlišný aspekt však představuje oblast historické verifikace vývojových fází osady, známých z písemných pramenů. Na mapových podkladech II. vojenského mapování lze již rozeznat usedlosti nově založené vesnice Doubice oproti I. vojenskému mapování, kde je doložena pouze přítomnost osady Hely (Nassendorf). Tento fakt potvrzuje výše uvedené fáze historického vývoje vesnického sídlení tohoto regionu.

6.12.2.2 Terénní prospekce

Terénní archeologický výzkum probíhal ve dvou etapách roku 2010 za přítomnosti studentů Katedry Archeologie Západočeské univerzity v Plzni. Jeho hlavním cílem bylo terénní ověření objektů, zaznamenaných při analýze lidarových dat regionu Českého Švýcarska. Celkový počet lokalit byl ustanoven na šest vybraných, typologicky variabilních situací. Jednou z nich tvořil prostor zaniklé osady Hely.

Verifikační průzkum odhalil a zpřesnil interpretační nejasnosti u několika dílčích kruhových - oválných objektů (vodní nádrže), jichž lze na lidarovém snímku zaznamenat vysoký počet.

Odlišný zájem představoval terénní průzkum orientovaný na analýzu stavu dochovalosti jednotlivých usedlostí. Do tohoto výzkumu byla zapojena GPS stanice a jednotlivé usedlosti byly v rámci možností zaměřeny (v závislosti na hustě zalesněné podmáčené oblasti). Současně se zaměřováním byly jednotlivé relikty dokumentovány fotograficky. Celkový počet usedlostí, lokalizovaných na základě terénních nadzemních reliktnů (v několika případech se jedná o poměrně dosti zachované stavby bez známek násilné destrukce) nabyli hodnoty šestnácti jednotlivých záznamů. Odchylna měření pomocí GPS v některých případech dosahovala hodnoty až 11 m. Vzhledem k tomu, že se však nejedná o hustou zástavbovou oblast, dají se jednotlivé body bez problémů přiřadit dílčím budovám.

6.12.2.3 Tachymetrické měření

Aplikace pozemního zaměřování vybraných objektů byla zastoupena jakožto metoda hodnotící kvalitativní parametry lidarových dat v oblasti přesnosti a vypovídající hodnoty. Pro tyto účely byly zvoleny objekty vodní nádrže a terénní hrany. Přesnost podrobného pozemního zaměřování prokázalo maximální odchylnu do 28 centimetrů, což je pro archeologické účely nadstandardní úroveň.

Geodetické zaměření bylo aplikováno také v prostorách ohrazení nepravidelného tvaru detekovaného na lidarových podkladech. Tento objekt byl na základě prvotní analýzy vyhodnocen jakožto jednoznačně obtížně interpretovatelný. Srovnáním s historickými kartografickými prameny byla zjištěna jeho přítomnost také na všech čtyřech použitých mapových zdrojích. Vzhledem k jeho prezenci již na I. vojenském mapování, lze jeho stáří klást již do samotných počátků existence osady. Terénní prospekci byla zjištěna jeho struktura, jež se sestává z několika na sebe navazujících valů, složených z na sebe naskládaných středně

velkých až velkých kamenů. Ty ohraničují prostor vyplněný značným množstvím kamenných hromad a zjevně velmi starým bukovým porostem. Bližší analýzou byl typ horniny určen jako čedič, což výrazně usnadnilo interpretaci celého prostoru. Asi 370 metrů jihovýchodním směrem od tohoto ohrazení se nalézá bývalý kamenolom, jehož těžební materiál představovaly právě čedičové sloupce. Nad veškerou pochybnost námi analyzovaný prostor sloužil již od počátku těžby kamene jako skladovací přepravní prostor mezi lomem a hlavní cestou do Krásné Lípy (**Tab. LX – LXI**).

6.12.2.4 Syntéza a interpretace

Výzkum aplikovaný v prostředí zaniklé osady Hely podává informační výčet širokého spektra verifikačních metod v tomto případě ověřujících primární interpretační výsledky analýzy dat leteckého laserového skenování širšího krajinného prostoru.

Jednou z hlavních otázek, jimž byl tento projekt věnován, je otázka efektivity a zhodnocení míry využitelnosti laserové techniky snímání pro účely archeologie. V první řadě je nutné kriticky nahlížet na rozsáhlý okruh faktorů, jež více či méně ovlivňují kvalitativní a kvantitativní aspekty výstupů. Jedině objektivním zhodnocením všech těchto atributů pramenů lze konečně přistupovat k syntéze získaných dat a jejich implementaci do archeologického kontextu. K základním faktorům lze zařadit: parametry snímání, technický postup při zpracování surových dat, softwarové a hardwarové nároky velkoobjemových formátů dat, komplementárnost aplikovaných analytických metod, přírodní charakter vybraného zájmového území. Oproti tomu je potřeba zmínit nezpochybnitelné pozitivní aspekty využití laserového skeneru, zejména:

- 1) z hlediska časové úspory vzhledem k možnostem značného rozsahu pokrytí vybraného území
- 2) možnosti aplikace této metody v zalesněných oblastech
- 3) detekce objektů v celé ploše, včetně terénu s relikty, které jsou běžnými metodami obtížně lokalizovatelné

- 4) v současnosti poměrně snadná dostupnost získání lidarových dat
- 5) možnost analýzy rozsáhlých krajinných transektů, a tedy syntézy prostorových vztahů vybraných archeologických pramenů
- 6) revize starších archeologických situací a jejich výzkumů novými prostředky

Stejně tak jako v předchozích příkladech i u této lokality bylo prokázána vysoká efektivita aplikace komparačních a verifikačních technik k získání uceleného přehledu dané lokality (**Tab. LIV – LV**).

6.13 Obtížně interpretovatelné objekty leteckého průzkumu

Obsahem této kapitoly je přehled lokalit, jež byly vyhodnoceny jako typičtí představitelé obtížně interpretovatelných lokalit leteckého průzkumu. Tato skupina lokalit, rozmístěných v různých oblastech České republiky zastupuje široké morfologické spektrum útvarů, jejichž interpretace nebyla dosud objasněna. Mým úkolem bylo se pokusit tyto šikmé snímky, jejichž autorem je M. Gojda, lokalizovat, zpracovat uspokojivě interpretovat. Celkový počet lokalit analyzovaných v rámci tohoto celku představuje 13 dílčích archeologických lokalit, zastoupených v 11 katastrálních územích. Jako základní verifikační metoda byly ve všech případech využity kartografické podklady historického charakteru.

Základní dělení těchto lokalit bylo vymezeno dle jejich morfologické charakteristiky.

6.13.1 Bodové objekty

- zastoupeny 3 lokalitami (Vrbno 1, Vrbno 3, Vrbno 6) na katastrálním území obce **Vrbno**. Na těchto lokalitách byly zachyceny objekty pravidelného kruhového půdorysu, soustředěné do paralelních řad orientace V – Z o průměrných rozměrech 2, 5 m.

V tomto případě byly šikmé letecké snímky zrektifikovány a georeferencovány na podkladovou mapu 1:10 000. Následně byly

verifikovány prostřednictvím kartografických pramenů. Při analýze map III. vojenského mapování byla zaznamenána shoda. Mapový podklad prokazuje přítomnost vegetačního porostu v podobě pravidelného sadu.

Interpretační závěr – v tomto případě se jedná o zaniklé prostory stromových sadů (**LXIII – LVIV**).

6.13.2 Liniové útvary

– zastoupeny 4 lokalitami: Ctiněves 6 (okr. Mělník), Dolany 1 (okr. Hradec Králové), Dubá 1 (okr. Česká Lípa) a Mrzky 2 (okr. Kolín). Lokalitu Dubá 1 nebylo možno prostorově definovat vzhledem k absenci záchytných bodů na snímku, jež by byly schopny přispět k prostorové orientaci v oblasti lokality. Lokality Dolany 1, Mrzky 2 nebylo možno vzhledem k nedostatečnému počtu vlíčovacích bodů na fotografiích transformovat do fotoplánu. Zpracování a verifikace proběhly v prostředí Google Earth a v aplikaci internetových stránek kontaminace.cenia.cz.

Dolany 1 – dle snímku byla poloha vyhledána v aplikaci Google Earth. Objektem verifikace je na této lokalitě rozsáhlý kruhový objekt nepravidelného tvaru a hran (o průměru cca 250 m) situovaný západním směrem od vesnice Dolany. Analogie byla nalezena na mapovém podkladu kontaminace.cenia.cz ve složce mapových podkladů Pozemkového katastru v podobě vyznačeného podmáčeného území a nápisu „Mokřina“.

Interpretační závěr – objekt přírodního původu, zaniklá podmáčená oblast (**Tab. LXV**).

Mrzky 2 – byl aplikován identický postup zpracování snímku jako u předchozí lokality. Zájmovým objektem je v tomto případě liniový útvar lichoběžníkovitého půdorysu, který navazuje na severní výběžek obce Mrzky. Konfrontací s mapovým portálem kontaminace.cenia.cz a vrstvou Pozemkového katastru byla zaznamenána přítomnost komunikačního útvaru identické polohy jako analyzovaný objekt. Verifikací historický map

byl objekt detekován také na mapovém podkladu II. vojenského mapování jako cesta.

Interpretační závěr – jedná se zaniklou komunikaci, pocházející minimálně z období 1836 – 1852 (**Tab. LXVI**).

Ctiněves 6 – opětovný postup zpracování snímků jako u lokality Dolany 1. Hlavní zájem byl v tomto případě orientován na objekt pravidelného obdélného půdorysu o rozměrech 200 x 110 m situovaný po levé straně silnice Ctiněves – Kostomlaty pod Řípem, asi 650 m od centra obce Ctiněves. Objekt byl dohledán na mapovém portálu kontaminace.cenia.cz na vrstvě Pozemkového katastru jako původní vymezení polnosti č. 277/3.

Interpretační závěr – jedná se zaniklý polní lán. Na mapách III. ani II. vojenského mapování nebyl tento objekt rozpoznán, proto jeho stáří odhaduji na novodobou záležitost (**Tab. LXVII – LXVIII**).

6.13.3 Liniové systémy

– zastoupeno 6 lokalit: Bohušovice nad Ohří 1 (okr. Litoměřice), Brozánky 2 (okr. Mělník), Čakovice 1 (okr. Praha), Lipenec 1 (okr. Louny), Opolánky 2 (okr. Nymburk), Opolany 1 (okr. Nymburk). Také v tomto případě byla za hlavní přístup zpracování leteckých fotografií zvolena aplikace Google Earth a její následná verifikace pomocí historických kartografických podkladů.

Bohušovice nad Ohří 1 – obtížně interpretovatelný objekt v tomto případě představuje část pole, které leží v prostoru mezi obcemi Bohušovice nad Ohří a Terezín. Z leteckých snímků je v tomto případě jasně viditelná barevnostní anomálie v severní části pole. Ověřením tohoto faktu s historickými mapami byla zjištěna přítomnost rozdělení současného velkého polního lánu na dvě menší pole, od sebe oddělená komunikací. To je velice dobře viditelné na mapovém podkladě Pozemkového katastru, kde jsou obě polnosti definovány samostatnými

číslly - 285/11 a 285/1 a na leteckém snímku z roku 1954 portálu kontaminace.cenia.cz. Na mapách II. i III. vojenského mapování tento oddělený systém není zachycen, proto se domnívám, že se jedná o záležitost novodobou (**Tab.LXIX – LXX**).

Brozánky 2 – v případě této lokality byl zachycen objekt v podobě vlnice o průměru cca 30 m, lokalizovaný v prostoru polních systémů mezi obcemi Brozánky a Vliněves. Objekt je velice dobře patrný také na mapách Google Earth. Verifikací prostřednictvím historických map byla nalezena shoda již na mapách II. a III. vojenského mapování. Interpretace se odvíjela od dostupného zdroje mapové legendy III. vojenského mapování.

Interpretační závěr – tato situace byla vyhodnocena jako reliktní objektu, dle vojenského mapování jako šterková či písečná terasa (**Tab. LXXI**).

Čakovice 1 – objekt obtížné interpretace je v tomto případě zaznamenán v podobě dvou linií, vybíhající východním směrem ze severního konce obce Čakovice. Tyto linie byly detekovány na historickém leteckém snímku (1954) jako cesta. Ta je také velice dobře viditelná na mapovém podkladě III. vojenského mapování.

Interpretační závěr – obtížně interpretovatelný objekt byl v tomto případě vyhodnocen jako zaniklá komunikace mezi vesnicemi Čakovice a Křešov (**Tab. LXXII**).

Opolánky 2 – hlavní zájem byl v tomto případě orientován na útvar v podobě půlkruhu situovaný na poli, ležícím mezi obcemi Opolany a Opolánky. Vedle tohoto relativně pravidelného objektu byly zaznamenány další útvary v podobě, nepravidelně rozmístěných linií. Opět byl jako základní verifikační prostředek využit portál kontaminace.ceni.cz a byla aplikována revize Pozemkového katastru. V tomto případě byl zaznamenán prostor odpovídající půlkruhovému ohrazení, který je v Pozemkovém katastru označen jako poloha „V rybníčku“. Vedlejší oblast,

lokačně odpovídající verifikovaným liniovým objektům nese titul „Kaliště“. Pohledem do mapového podkladu III. vojenského mapování je zřejmé, že v poloze „V rybníčku“ byl skutečně dříve situovaný rybník.

Interpretační závěr – v tomto případě se jedná o dvě zaniklé polohy, z čehož objekt půlkruhového tvaru představuje zaniklý rybník, minimálního stáří 1836 – 1852 (objekt byl také zaznamenán na mapách II. vojenského mapování). Druhá poloha s viditelnými systémy nepravidelných linií představuje splachové rýhy podmáčeného území, které bylo dříve nazýváno „Kaliště“ (**Tab. LXXIII –LXXIV**).

Opolany 1 – v tomto případě byly detekovány jako obtížně interpretovatelné objekty, liniové systémy, nacházející se na polích severozápadním směrem od obce Opolany. Linie nemají pravidelný tvar, jejich směr se dá jistě určit jako V – Z. Tyto objekty lze verifikovat opětovně pomocí Pozemkového katastru, kde jsou vyznačeny jako komunikace. Konfrontací s historickými mapami II. a III. vojenského mapování získáme identický výsledek interpretace.

Interpretační závěr – analyzované liniové objekty v tomto případě představují zaniklé komunikační objekty, pravděpodobně v podobě méně významných polních cest (**Tab. LXXV**).

7 ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ

7.1 Archeologické objekty a dálkový průzkum Země – vhodné aplikace interpretačních praktik

Hlavním cílem této studie je snaha o vymezení metodického postupu, který by svou efektivitou umožňoval dosažení kvalitnějších výsledků v oblasti archeologické interpretace dat leteckého průzkumu.

K dosažení vytvoření takového modelu je nezbytným krokem zabývat se v první řadě metodami, kterými jsou datové kolekce získávány. V rámci této práce byly jako základní metody využity dvě základní obory

dálkového průzkumu Země. Šikmé letecké snímkování z nízko letících letadel a letecké laserové skenování.

7.2 Šikmé letecké snímkování

Letecké snímkování zaobírá v tomto případě úlohu dlouhodobě používaného tradičního přístupu krajinné prospekce a dokumentace archeologických a historických objektů. Jeho dlouholetá tradice aktivního využití v Čechách poskytuje širokou základnu fotografické dokumentace stovek archeologických lokalit. V dnešní době je většina z nich uchovávána v podobě digitálních dat s přidruženým deskriptivním databázovým systémem. Historická výpovědní hodnota těchto dat je nezměrná. V současném stavu uložení mají však povahu především dokumentačního charakteru. Faktem zůstává, že pouze několik jednotlivých lokalit bylo v minulosti zpracováno do takové podoby, aby poskytovaly širší rámec informací, které jsou důležitým vodítkem při interpretačních procesech (velikost objektů, polohopis, přesné morfologické vymezení, vztah k přírodnímu prostředí, relační souvislosti s dalšími lokalitami atd.). Základní přístup k eliminaci faktorů, negativně ovlivňujících interpretační možnosti snímků je volba metody jejich pořizování a zpracování.

7.3 Tvorba, zpracování a interpretace dat leteckého šikmého snímkování

Prvotním úkolem jak těchto informací dosáhnout je nutné zpracování snímků do georeferencovaných fotoplánů. Jejich význam spočívá především v možnostech podrobného zpracování celých lokalit i soliterních komponent. Zároveň zpracování těchto digitálních dat umožňuje vytvářet územní mapy archeologického dědictví, což představuje zdroj nejen pro archeologické výzkumy a analýzy, ale především pro oblast ochrany archeologické památkové péče.

V této práci byl postup standardního zpracování šikmých leteckých snímků do podoby fotoplánů teoreticky vymezen v první části studie. Praktická aplikace byla uplatněna u případových studií lokalit Vražkov, Straškov, Vrbno. V případě lokality Straškov byla pro vytvoření fotoplánu aplikována metoda jednosnímkové fotogrammetrie založená na přímém tachymetrickém zaměření uměle vytvořených vlíčovacích bodů, rozmístěných v prostoru dané lokality. Touto technikou lze dosáhnout nejvyššího stupně přesnosti při leteckém šikmém snímání, čímž dojde k preciznímu zmapování lokality, které lze dále využívat, popřípadě navázat na ně při dalších bádáních.

Srovnáním výsledků tohoto přístupu produkce georeferencovaných fotoplánů a klasické metody počítačové transformace šikmých snímků na přirozené a geodeticky nezměřené vlíčovací body, se ukázala metoda přímého snímání s umělou signalizací jako jednoznačně kvalitnější. Při zpracování archivovaných šikmých leteckých snímků je velice obtížné získat takové snímky (málo vlíčovacích bodů v důsledku nízké letové hladiny), nízké rozlišení snímků, zkosený úhel letounu aj.), které by bylo možno rektifikovat bez terénního zkreslení. Odchylky, které tradičním způsobem vznikají, se pohybují až v řádech metrů, což může výrazně ovlivňovat následně aplikované metody.

Tento fakt však nemění nic na tom, že archiv leteckých fotografií Archeologického ústavu Praha, v.v.i. Akademie věd v České republice skýtá obrovský potenciál z hlediska informační výpovědní hodnoty krajinné historie.

7.4 Letecké laserové skenování

Druhou metodou dálkového průzkumu Země, využitou v této práci je letecké laserové skenování. Tato, v archeologii poměrně nová metoda poskytuje široké možnosti využití. Její bezpochyby největší předností je možnost průniku laserových paprsků vegetačním pokryvem, tak že lze vytvářet přesné výškopisné digitální modely terénu. Začleněním této

metody je možné porovnávat efektivitu jejího uplatnění vzhledem k letecké prospekci, a zároveň bylo možné do této studie začlenit širší spektrum příkladových studií.

7.4.1 Interpretace dat leteckého laserového skenování

Stejně tak jako v případě letecké prospekce, i v tomto případě záleží především na nastavení vhodných parametrů snímkování (v závislosti na prioritách projektů) již v době pořizování datových celků. Zároveň jako významný faktor ovlivňující kvalitu interpretace dat, jsou brány analytické procesy jejich zpracování. K takovým základním procesům se řadí aplikace variabilních vizualizačních algoritmů. Právě výběr vhodných vizualizačních praktik výrazně ovlivňuje schopnost interpreta detekovat skutečný počet objektů. Význam těchto procesů lze sledovat v rámci analýzy lokality Sloupek, kde vhodnou aplikací a kombinací vizualizačních technik bylo dosaženo prezentovaných výsledků. V každém případě by jako základní podkladová interpretační vrstva měl sloužit stínovaný model terénu. Právě tato vizualizace poskytuje nejkomplexnější informační potenciál dané oblasti, který lze nadále rozšiřovat.

Z hlediska porovnání vhodného využití ostatních praktik pro detekci konkrétních typů objektů byla zaznamenána jistá pravidelnost. Vizualizační praktiky, založené na bázi analýzy variability georeliéfního povrchu terénu (Sky – view faktor, Slope analýza) nacházejí nejvyšší míru uplatnění v oblastech prospekce objektů výrobních a těžebních areálů. Algoritmy jako je Local Relief Model či Trend removal poskytují významné informace o rozlišitelnosti zahloubených a nadzemních partiích terénu i jednotlivých útvarů. Aplikace PCA analýzy je vhodná v případech nepříliš výškově variabilního georeliéfu, umožňuje čerpat informace o skrytých objektech v důsledku stínových vlastností.

7.5 Verifikační metody

Obě metody dálkového průzkumu Země pracují z hlediska interpretačních principů identicky. V obou případech jsou při prospekci při prvotní vizuální analýze dat vyhledávány entity, jež by mohly být považovány za archeologické objekty a lokality. V této fázi hraje nepochybně velmi významnou roli subjektivní a empirický přístup badatele. Tato interpretační fáze může být proto považována za primární. Abychom dospěli k interpretaci finálního charakteru, je nutné námi objevené útvary nějakým způsobem verifikovat.

V archeologické sféře existuje celá řada verifikačních metod, jejichž obsáhlý výčet včetně základní charakteristiky je zaznamenán v příslušné kapitole.

Tyto verifikační postupy a jejich vhodná kombinační aplikace určují kvalitu finální interpretace lokalit.

7.6 Verifikace archeologických lokalit

Archeologické lokality dálkového průzkumu Země skýtají rozsáhlé spektrum typologického kategorizování od jejich morfologických, prostorových, chronologických vlastností po funkční a symbolickou sféru.

Vytvořit proto univerzální postup aplikace určitých typů verifikačních metod pro celé toto spektrum je zcela nemožné. Musí se odvíjet od konkrétněji determinovaných oblastí archeologie. Základním rozdělení v tomto případě představuje krajina, resp. její geomorfologie.

Srovnání efektivity využití interpretačních metod je v první řadě nutné odvodit od georeliéfního typu analyzované oblasti. V zásadě jako základní kategorie můžeme vyčlenit dvě varianty. Lokality, nacházející se v krajině otevřené, zemědělsky obdělávané se silnou stavební infrastrukturou a přírodní prostředí zalesněných, málo osídlených oblastí, bez větších transformačních vlivů.

Z hlediska zachování archeologických lokalit je bezesporu lesní prostředí dominantnější, avšak pomocí letecké prospekce jej není možné analyzovat. S nástupem lidarové technologie jsme však schopni bez problémů takovéto krajinné transekty zpracovávat.

Základní rozdělení aplikace praktik dálkového průzkumu jakožto primárních interpretačních metod je zřejmé. V rámci otevřené krajiny je nejvhodnějším postupem pro detekci co nejvyššího počtu případných archeologických lokalit využití letecké prospekce a analýzy krajiny na bázi různého typu indikačních příznaků. Oproti tomu zalesněné prostředí vytváří ideální podmínky pro metodu, pracující s vyhodnocováním terénních anomálií, což je letecké laserové skenování.

7.7 Vhodné verifikační postupy

Vhodné verifikační aplikace letecké archeologie představují tedy takové metody, jejichž využití poskytuje informační údaje, umožňující bližší interpretační determinaci.

Ve všech případech analýzy archeologických lokalit je prvním krokem heuristická fáze (rešerše publikačního fondu, revize starších archeologických výzkumů, vyhledávání analogických situací atd.) a typologická klasifikace jednotlivých detekovaných struktur.

Další fáze výběru metod jsou vždy podmíněny hlavním cíli daného projektu.

Zpravidla prvotní záměr archeologické interpretace je chronologické vymezení lokality. V tomto případě se jako nejvhodnější jeví aplikace povrchových sběrů v případě analýzy dat letecké prospekce otevřených krajin. Terénní prospekce georeliéfních tvarů, společně s povrchovými sběry (vývraty, půda narušená od zvěře atd.) je ekvivalentem v případě analýzy prostředí zalesněného.

Při sledování historického vývoje dané lokality a změn, ke kterým docházelo v minulosti, by měly být zapojeny dostupné historické prameny (v případě středověkých a novověkých lokalit), tzn. shromáždění zástupců veškerých možných verifikačních technik historicky výpovědního charakteru – kartografické prameny, písemné prameny, orální historie (pokud jsou stále ještě pamětníci živi), ikonografie, historické fotografie (případně videozáznamy) atd. Druhou oblast možného sledování změn v minulosti a jejich eventuální chronologické vymezení zastupují praktiky analytických přírodních metod.

Standartní následnou fází analýzy archeologických lokalit je sledování a interpretace prostorových vlastností jednotlivých objektů a jejich vzájemných vztahů. Pro tyto účely se nejlépe hodí využití metod, které jsou schopny pracovat s metrickými, polohovými a výškopisnými daty. V oblasti letecké prospekce těmito vlastnostmi disponují kolmé měřické letecké snímky (získání modelu terénu prostřednictvím metod průsekové fotogrammetrie). Letecké laserové skenování tyto funkce samo o sobě již obsahuje a naopak je v těchto směrech ideální verifikační praktikou také v oblastech klasicky mapovaných leteckou prospekcí, kde je schopno velice rychle a přesně vygenerovat cílový model terénu.

Nejklasičtější praktikou v tomto směru zůstává klasické tachymetrické zaměřování pomocí totální stanice. Tato metoda nalézá široké uplatnění v obou sférách dálkového průzkumu Země. V případě leteckého laserového skenování se navíc jeví jako vysoce efektivní doplňková metoda při zpracování detailních morfologických a polohových aspektů lokalit.

Veškeré prostorové analýzy jsou nejčastěji zpracovávány v prostředí softwarů geografických informačních systémů.

Samostatnou kapitolu tvoří verifikační proces pomocí destruktivních archeologických metod. Primární snahou současné archeologie je však vyvarovat se (pokud je možno) užití tohoto destruktivního typu získávání informací.

Letecký průzkum i letecké laserové skenování nabízí v současnosti opravdu široké spektrum možného využití. Nejefektivnějším způsobem získávání interpretačních dat prostřednictvím těchto metod je vyhodnocení jejich vhodné aplikace vzhledem k typu lokality a cílovým záměrům projektu.

8 SUMMARY

This dissertation thesis called “Verification of aerial survey data interpretable with difficulties” is result of the author’s long-term research. The main aim of this paper is evaluation of the present state of the aerial survey and its position in sphere of modern methodological trends and practices in archaeology (remote sensing of Earth). This paper also brings overview of individual techniques of the aerial survey and typology of data gain by this method. In majority of cases there is data interpretation of which is very difficult (chronologically, functionally and spatially). Application of verification methods seems to be an effective solution of this problem. These methods are able to improve individual formal as well as spatial characteristics of the analyzed features and also improve their quality.

The paper is divided into two main thematic spheres. The first part is focused on theoretic description of the aerial prospection and remote sensing of Earth. The introductory chapters deal with description of the aerial survey from point of view of its historical development and present approaches. Overview of the most significant present Czech as well as foreign projects is inseparable part of this segment.

The second part of the theoretic segment of this paper is focused on remote sensing of Earth which has been used lately. Partial chapters provide overview of principles and methodological description of this considerably innovative technology in the archaeological world.

Following part of this paper consists of the author’s research. The introductory segments are focused on definition of aerial survey data interpretable with difficulties, overview of individual verification methods and introduction to method of selection of analyzed sites.

Overview of sites researched in the project is divided into four divisions. Spatial characteristics of the individual sites are described by partial regions – 1. Surrounding of the Hill of Říp (Straškov and Vražov

sites), 2. Rokycany region (deserted medieval villages of Javor and Sloupek), 3. National park České Švýcarsko (village of Hely deserted after 1945, glass manufacture Doubice) and 4. Partial sites symbolizing aerial survey data interpretable with difficulties.

Analytical phase of the project introduces practical application of various verification practices on selected sites. The main aim of the project is to evaluate efficiency of the partial methodological approaches in relation to characteristics of the environment in which the given sites are situated. Primary work environment of the entire project is based in geographical information systems. Individual applied methods were tested in this environment and descriptive system in form of geodatabase was created.

The final part of the paper is focused on evaluation of efficiency of the applied methods for purposes of elimination of difficult interpretation of the analyzed features and obtaining better results of sufficient informational value in sphere of the archaeological interpretation. Suggestion of a concrete methodological approach to data processing according to applied technologies of the aerial survey and remote sensing of Earth were made. This was carried out in order to obtain as high informational potential of the archaeological and historical informational value as possible.

9 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Dissertation „Verifizierung schwierig interpretierbaren Daten der Luftbildarcheologie,“ ist ein Ergebnis einer mehrjährigen Forschung der Autorin. Im Vordergrund der Arbeit liegen die Beurteilung des jetzigen Standes der Luftbildarcheologie und seine Abgrenzung im Bereich der modernen methodischen Trends und der Praktiken in der Archäologie (Fernerkundung der Erde). Zudem bringt die Arbeit die Übersicht von einzelnen Techniken der Luftbildarcheologie und Typologie von Daten, die bei dieser Methode erworben wurden. Es handelt sich in der Mehrheit der Fälle um die Daten, bei denen die Interpretation (chronologische, funktionsfähig und Raumdetermination) sehr aufwendig ist. Als eine effektive Lösung der Probleme sprängt sich die Applikation der Verifizierungsmethoden aus, die die einzelnen räumlichen und formalen Eigenschaften der analysierten Objekte präzisieren könnten.

Die Arbeit wird in zwei Themenbereichen geteilt. Die erste Hälfte der Arbeit orientiert sich an theoretische Bestimmung der Luftforschung und Fernerkundung der Erde. Die einleitende Kapitel definieren Luftforschung vom Gesichtspunkt der historische Entwicklung und derzeitigen Konzepten. Die Übersicht den bedeutensten gleichzeitigen Projekten in der Welt und Inland ist ein integrale Bestandteil der Kapitel.

Im zweiten Teil der theoretischen Sektion verschiebt sich die Aufmerksamkeit in den aktuellen Bereich der Luftforschung der Erde. Die Unterkapitel geben einen Überblick den Prinzipien und methodischen Definitionen dieser Technologie, die in Archeologie ganz innovativ ist.

Der folgende Abschnitt der Dissertation stellt ein originales Forschungsprojekt der Studentin vor. Die einleitenden Passagen dieser Sektion definieren die schwierig interpretierbaren Daten der Luftforschung, geben der Überblick der einzelnen Verifizierungsmethoden und stellen die Methode der Selektion der analysierten Standorten vor.

Die Übersicht der Standorten, die in dem Projekt betrachtet werden, ist geteilt in drei grundlegenden Sektionen. Die einzelnen Standorten sind in Teilregionen kategorisiert – 1. Podřipsko Region (Standorten Straškov, Vražkov), 2. Rokycansko Region (die untergegangenen Standorten Javor, Sloupek), 3. Das Nationalpark Gebiet Tschechische Schweiz (das Dorf Hely – untergangen nach 1945, das Gebiet der Glasaktivität Doubice) und 4. Partial Standorten die sind mit der Luftprospektion schwer zu interpretieren.

Die analytische Phase des Projekts stellt eine praktische Anwendung von einzelnen Verifikationspraktiken auf ausgewählten Standorten vor. Das Hauptziel ist die Effektivität der verschiedenen teilweisen methodischen Ansätze zu beurteilen. Diese Effektivität ist abhängig von den Eigenschaften der Umgebung, in deren sich die Standorten befinden. Die Hauptarbeitsumgebung des Projekts ist der Bereich des Geographisches Informationssystems. In dieser Umgebung sind die einzelnen angewandten Methode getestet und ein deskriptives System des Projekts ist erstellt, das die Form einer Geodatabase hat.

Der letzte Teil der Arbeit bewertet die Effektivität der einzelnen Methoden, die angewandt wurden. Der Zweck ist die schwierige Interpretation der analysierten Objekten zu beseitigen und besseren Ergebnisse zu erweben, die ausreichende Aussagekraft in dem Bereich der Archeologie Interpretation haben.

Das Ergebnis dieser Studie ist ein Konzept der Methodik für Datenverarbeitung laut angewandte Technologien der Luftprospektion und Fernerkundung der Erde. Der Zweck ist der höchste Informationen Potenzial der archeologische und historische Aussagekraft zu erreichen

10 LITERATURA

Ackermann, F. 1999: Airborne laser scanning - present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54, 64–67.

Aston, M. 1997: *Interpreting the Landscape: Landscape Archaeology and Local History*. London - New York: Routledge.

Bálek, M. - Droberjar, E. - Šedo, O. 1994: Die römischen Feldlager in Mähren (1991-1992) - Římské polní tábory na Moravě (1991 1992). *Památky archeologické* 85, 59-74.

Bálek, M. - Podborský, V. 2001 : Začátky letecké archeologie na jižní Moravě. In: 50 let archeologických výzkumů Masarykovy univerzity na Znojemsku. = 50 Jahre archäologischer Forschungen der Masaryk-Universität im Gebiet von Znaim. Brno, Masarykova univerzita, 69-82.

Bálek, M. 2000: Nová opevněná sídliště na jižní Moravě - Neue befestigte Siedlungen in Südmähren. *Pravěk NŘ* 9, 431-441.

Bálek, M. 1999: Němčičky, okr. Znojmo. In: V. Podborský a kol. 1999: *Pravěká sociokultovní architektura na Moravě*. Brno, 81–86.

Baltsavias, P. E. 1999: Airborne laser scanning: existing systems and firms and other Resources. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54. 164–198.

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. R – Philip, G.– Abdulkarim, M. – Donoghue, D. 2007: Evaluation of Corona and Ikonos high resolution satellite imagery for archaeological prospection in western Syria. *Antiquity*, 161 – 175.

Beck, A. 2006: Google Earth and World Wind: remote sensing for the masses? *Antiquity* 80. URL: <http://antiquity.ac.uk/projgall/beck308/>.

Beck, A. 2011: Archaeological applications of multi/hyper-spectral data – challenges and potential. In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No.5.

Beneš, J. - Kaštovský, J. - Majer, A. 1998: Pozdně středověká štola ve Vimperku: příspěvek archeobotaniky rozsivek k určení funkce vodovodního díla - A Late Medieval Adit in Vimperk, Czech Republic: Archaeological and Diatom Analysis. *Archeologické rozhledy* 50/4, 851-861.

Beneš, J. 2008: Antrakologické analýzy v archeologii a paleoekologii - Anthracological analyses in archaeology and paleoecology. *Archeologické rozhledy* 60/1, 75-92.

Beneš, J. – Dreslerová, D. – Kuna, M. (eds.) 2003: *Pathways to Europe's Landscape - Cesty k evropské krajině*. Albersdorf (PCL).

Bennett, R. -Welham, K.,- Hill, R. A., - Ford, A.: 2012 A Comparison of Visualization Techniques for Models Created from Airborne Laser Scanned Data. 19 (1), 41-48.

Bewley, R. 1999: *Archiving Aerial Photography and Remote Sensing Data*, Archaeology Data Service, Oxford.

Bewley, R. H. - Crutchley, S. P. - Shell, C. A. 2005: New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity* 79, 636–647.

Bewley, R. H. - Crutchley, S. P. - Shell, C. A. 2005: New light on an ancient landscape: lidar survey in the Stonehenge World Heritage Site. *Antiquity* 79, 636–647.

Bewley, R. H. - Kennedy, D. L. - Radcliffe, F. - Henderson, K. - Smith, S. 2010: Aerial Archaeology in Jordan: a brief up-date", AARGnews 41 (2010): 13-24

Bewley, R. H. - Rączkowski, W. 2002: Past achievements and prospects for the future development of aerial archaeology: an introduction. In: Bewley, R. H. - Rączkowski, W. (eds.), Aerial Archaeology: Developing Future Practice. NATO Science Series I. Life and Behavioural Sciences Vol. 337: IOS Press, 1-8.

Bewley, R., 2003: Aerial survey for archaeology. The Photogrammetric Record 18 (104), 273 - 292.

Bewley, R., Kennedy, D. - Radcliffe R. 2007: The first aerial archaeology workshop in Jordan, April 14-16 2007, AARGnews 35: 36-38.

Binford, L. 1968: New Perspectives in Archaeology. New York and London: Aldine.

Bláhová, M. 2009 : Písemná kultura přemyslovských Čech. In: Sommer, P. - Třeštík, D. – Žemlička, J. (eds.): Přemyslovci. Budování českého státu. Praha, 508-529, 640-645.

Böhm, J, 1939: Letecká fotografie ve službách archeologie Zprávy památkové péče III, 63-65.

Bofinger J. - Kurz, S. - Schmidt, S. 2006: Ancient maps – modern data sets: different investigative techniques in the landscape of the Early Iron Age princely hill fort Heuneburg, Baden-Württemberg. In Campana, S. & Forte, M. (eds): From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. BAR International Series 1568. Archaeopress, Oxford, 87–92.

Brázdil, K. 2010 : Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky. GIS Ostrava 2010. http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf

Brázdil, K. 2011a: Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. Generace DMR 4G. Zeměměřický úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad.

Brázdil, K. 2011b: Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. Generace DMR 4G. Zeměměřický úřad, Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad.

Brož, M. 2010: Letecká archeologie a informační potenciál kolmých leteckých snímků na internetových mapových portálech – údolí středního Labe. In: Gojda (ed.) Studie k dálkovému průzkumu v archeologii. Studies in Remote Sensing for Archaeology. Plzeň, Katedra archeologie Fakulty filozofické, Západočeská univerzita v Plzni.

Břoušek, L. 2011: Šest desetiletí vojenského zeměměřictví v Dobrušce ...a něco navíc. Vojenský geografický obzor, 54, č. 2.

Casana, J. – Cothren, J. 2009: Stereo analysis, DEM extraction, and orthorectification of CORONA satellite imagery: Archaeological applications from the Near East, *Antiquity*, Volume 82, Number 217, pp. 732-749.

Clarke, D. 1968: *Analytical Archaeology*. London: Methuen.

Coluzzi, R. - Lanorte, A. - Lasaponara, R. 2010: On the LiDAR contribution for landscape archaeology and palaeoenvironmental studies: the case study of Bosco dell'Incoronata (Southern Italy). *Advances in Geosciences* 24, 125–32.

Corns, A. – Shaw, R. 2008: The application of digital vertical aerial photogrammetry in the recording and analysis of archaeological landscapes. In: *Geoinformation Technologies for Geo-cultural Landscapes. European Perspectives*, CRC Press.

Cowley, D.C. et al. 2011: Remote sensing for archaeological heritage management. In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No.5.

Cowley, D.C. 2011: Remote sensing for archaeology and heritage management – site discovery, interpretation and registration. In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No.5.

Cox, C. 1992: *Satellite Imagery, Aerial Photography and Wetland Archaeology. An Interim Report on an Application of Remote Sensing to Wetland Archaeology: The Pilot Study in Cumbria, England*. *World Archaeology* 24/2, 249-267.

Crawford, O. G. S. - Keiller, A. 1928: *Wessex from the Air*. Oxford: Clarendon Press.

Crawford, O. G. S. 1954: A Century of Air-photography. *Antiquity* 28/112, 206–210.

Crutchley, S. - Crow, P. 2009: *The Light Fantastic: using airborne laser scanning in archaeological survey*. Swindon: English Heritage.

Crutchley, S. 2006: Light Detection and Ranging (lidar) in the WithamValley, Lincolnshire: an Assessment of New Remote Sensing Techniques. *Archaeological Prospection* 13, 251–257.

Crutchley, S., 2008: Ancient and modern: combining different remote sensing techniques to interpret historic landscapes. In: Lasaponara, R., Masini, N. (Eds.), *Advances in Remote Sensing for Archaeology and Cultural Heritage Management* (Aracne, Roma), pp. 103e106.

Czajlik 2009: The role of efficiency in aerial archaeological research of Hungary. *AARGnews* 38 (March 2009).

Czajlik, Z. – Rupnik, L. – Losonczy, M. – Timár, L. 2011: Aerial archaeological survey of a buried landscape: The Tóköz project. . In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No.5.

Černá, E. (ed.) 1994: *Středověké sklo v zemích Koruny české*. Katalog výstavy. Most.

Černý, E. 1973: Osudy plužin zaniklých středověkých osad na Dražanské vrchovině. *Historická geografie* 11. Praha, 195-208.

Černý, E. 1993: *Výsledky výzkumu zaniklých středověkých osad a jejich plužin*. Historicko-geografická studie v regionu Dražanské vrchoviny. Brno.

Čulíková, L. 2010: Porovnání výskytu lokalit na internetových mapových portálech a šikmých snímcích. In: Gojda (ed.) *Studie k dálkovému průzkumu v archeologii*. *Studies in Remote Sensing for Archaeology*. Plzeň, Katedra archeologie Fakulty filozofické, Západočeská univerzita v Plzni.

Daříčková, A. - Popela, B. 1996: Využití termoluminiscence v archeologickém datování. *Archeologické rozhledy* 48, 135-138.

De Boer, A. G. - Laan, W. N. H. - Waldus, W., - Van Zijverden, W. K. 2005: *ToAp*. Lidar-based surface height measurements: applications in archaeology. Technical report, *British Archeology Reports International Series*.

Deuel, L. 1979: *Objevy z ptačí perspektivy*. Praha: Mlada fronta.

Devereux, B.J. - Amable, G.S. - Crow, P. - Cliff, A.D. – 2005: The potential of airborne LiDAR for detection of archaeological features under woodland canopies. *Antiquity* 79, 648e660.

Devereux, B.J. - Amable, G.S. - Crow, P. 2008: Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection. *Antiquity* 82, 470–479.

Dobeš M. - Limburský P. - Kyselý R. - Novák J. - Šálková T. 2011: Příspěvek k prostorovému uspořádání obytných areálů z konce středního eneolitu Řivnáčské osídlení ve Vlíněvsi (Contribution to the spatial arrangement of residential areas from the late Middle Eneolithic settlement in Vlíněves) *Archeologické rozhledy* LXIII: 1-50.

Dolanský, T. 2004: Lidary a letecké laserové skenování, *Acta Universitatis Purkynianae* n. 99. Ústí nad Labem, UJEP FŽP.

Dolanský, T. 2005: Lidary a letecké laserové skenování. *Disertační práce*, Ústí nad Labem.

Doneus M. - Briese C. - Fera M. - Fornwagner U. - Griehl M. - Janner M. - Zingerle M-C. 2007: Documentation and Analysis of Archaeological Sites Using Aerial Reconnaissance and Airborne Laser Scanning. In: A. Georgopoulos (Ed.), *Anticipating the future of the cultural past. Proceedings of the XXIst International Symposium CIPA, Athens 2007. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI-5/C53, 2007, 275-280.*

Doneus, M. - Briese, C. - Fera, M. - Janner, M. 2008: Archaeological prospection of forested areas using full-waveform airborne laser scanning. *Journal of Archaeological Science* 35 (4), 882e893.

Doneus, M. - Briese, Ch. 2006: Full-waveform airborne laser scanning as a tool for archaeological reconnaissance. In: From Space To Place. Proceedings of The 2nd International Conference On Remote Sensing In Archaeology, Bar International Series, 1568 (2006), 99 - 105, December 2006.

Doneus, M. – Briese, Ch. 2011: Airborne Laser Scanning in forested areas – potential and limitations of an archaeological prospection technique. In: Cowley, D. (ed.), Remote Sensing for Archaeological Heritage Management. EAC Symposium Paper No.5.

Dreslerová, D. 2004: Dynamika povrchu krajiny v holocénu. In: Nedestruktivní archeologie (Kuna, M. a kol.), 31-48. Academia, Praha.

Dreslerová, D. 2008: A Paleoclimatology Workbook: High Resolution, Site-Specific, Macrophysical Climate Modeling. Edited by Reid A. Bryson and Katherine McEnaney DeWall (2007). Archeologické rozhledy 60/4, 804-807.

Ebert, J. I. - Lyons, T. R. 1978: Remote Sensing in the United States of America: A Preliminary Note. Aerial Archaeology 2, 34-36.

Edis, J. - MacLeod, D. - Bewley, R. 1989: An archaeologist's guide to classification of crop marks and soil marks. Antiquity 63, 112-126.

Ferguson, L. 2011: Aerial archives for archaeological heritage management: The Aerial Reconnaissance Archives – a shared European resource. In: Cowley, D. (ed.), Remote Sensing for Archaeological Heritage Management. EAC Symposium Paper No.5.

Fiala R. 2011: Robustní postupy hodnocení kvality digitálních modelů reliéfu, Disertační práce, Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd. Plzeň

Fowler, M.J.F. 2004: Archaeology through the keyhole: the serendipity effect of aerial reconnaissance revisited. In: *Interdisciplinary Science Reviews* 29, 118-134.

Fowler, M. J. F. - Fowler, Y. M. 2005: Detection of Archaeological Crop Marks on Declassified CORONA KH-4B Intelligence Satellite Photography of Southern England. *Archaeological Prospection* 12, 257–264.

Fowler, M.J.F. 2010: Satellite imagery and archaeology. In Cowley, D.C., Standring, R.A. & Abicht, M.J. (eds): *Landscapes through the lens: aerial photographs and the historic environment*. Oxbow, Oxford. 99–110.

Fowler, R. 2001: Topographic lidar. In: *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual*. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD-USA, pp. 207-236.

Gabriel, F. 1987 : *České Švýcarsko očima archeologa*. Děčín, Okresní muzeum.

Gasior, M. 2006: *Laserové skenování pro tvorbu 3D modelu vybrané části NP České Švýcarsko*, Diplomová práce, Katedra informatiky, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

Gasior, M. 2006: *Laserové skenování pro tvorbu 3D modelu vybrané části Národního parku České Švýcarsko*, diplomová práce, Fakulta životního prostředí, Univerzita J.E.Purkyně v Ústí nad Labem.

Gojda a kol. 2010: *Studie k dálkovému průzkumu v archeologii*. Studies in Remote Sensing for Archaeology. Plzeň, Katedra archeologie Fakulty filozofické Západočeská univerzita v Plzni.

Gojda a kol. 2010: *Studie k dálkovému průzkumu v archeologii*. Plzeň.

Gojda, M. – Hejcman, M. 2012: Cropmarks in main field crops enable the identification of a wide spectrum of buried features on archaeological sites in Central Europe. *Journal of Archaeological Science*. Volume 39, Issue 6, Pages 1655–1664

Gojda, M. – John, J. – Starková, L. 2011: Archeologický průzkum krajiny pomocí leteckého laserového skenování. Dosavadní průběh a výsledky prvního českého projektu, *Archeologické rozhledy* 63, 680-698.

Gojda, M. – John, J. 2009: Dálkový archeologický průzkum starého sídelního území Čech - Konfrontace výsledků letecké prospekce a analýzy družicových dat. *Archeologické rozhledy* 61/3, 467-492.

Gojda, M. – John, J. 2011: Aplikace leteckého laserového skenování v zalesněném prostředí. In: *Archeologické výzkumy v Čechách 2010. Zprávy ČSA – Supplément* 81, 17.

Gojda, M. – Trefný, M. akol. 2011: *Archeologie krajiny pod Řípem*. Plzeň.

Gojda, M. (ed.) 2004a: *Ancient Landscape, Settlement Dynamics and Non-Destructive Archaeology. Czech research project 1997-2002 - Dávnověká krajina a sídla ve světle nedestruktivní archeologie. Český výzkumný projekt 1997-2002*. Praha: Academia.

Gojda, M. 1993a: Aerial photography in the Central Bohemian transect of the ALRNB – Landscape & Settlement Programme 1992 – Využití leteckého průzkumu ve středočeském transektu projektu ALRNB – krajina a sídla v roce 1992. *Památky archeologické* 84/2, 131-133.

Gojda, M. 1993b: Bohemia from the air: seven decades after Crawford. *Antiquity* 67/257, 869-875.

Gojda, M. 1995: Zum Projekt der Luftbildarchäologie in Böhmen, Konzeption und Methoden. In: Kunow, J. (ed.), Luftbildarchäologie in Ostund Mitteleuropa. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 3, Potsdam: Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte, 199-208.

Gojda, M. 1996a: Kombinovaná metoda leteckého průzkumu a povrchových sběrů a její význam pro studium topografie pravěkého osídlení - The application of a combined method of aerial survey and surface collection in Central Bohemia. Archeologické rozhledy 48, 220-246.

Gojda, M. 1996b: Letecká archeologie na území bývalého Československa: Úvod - Introduction to a volume on aerial archaeology on the territory of former Czechoslovakia. Archeologické rozhledy 58, 173-176.

Gojda, M. 1997: Letecká archeologie v Čechách = Aerial archaeology in Bohemia. Praha: Archeologický ústav - Institute of Archaeology.

Gojda, M. 2000: Archeologie krajiny. Vývoj archetypů kulturní krajiny.

Gojda, M. 2000: Archeologie krajiny. Vývoj archetypů kulturní krajiny. Praha: Academia. 186

Gojda, M. 2000: Archeologie krajiny. Vývoj archetypů kulturní krajiny. Academia, Praha.

Gojda, M. 2001: Archaeology and landscape studies in Europe: approaches and concepts. In: One land, many landscapes (Darvill, T. - Gojda, M. eds.), 9-18.

Gojda, M. 2003: Letecký průzkum a identifikace komponent sídelních areálů prostřednictvím porostových příznaků: metodické poznámky – A few methodological remarks on aerial reconnaissance and the identification of prehistoric settlement areas through cropmarks. In: Šmejda, L. - Vařeka, P. (eds.), Sedmdesát neustupných let. Sborník k životnímu jubileu prof. Evžena Neustupného. Plzeň: Katedra archeologie FF ZČU, 65-73.

Gojda, M. 2004b: Letecká archeologie a dálkový průzkum – Aerial archaeology and remote sensing. In: Kuna, M. (ed.), Nedestruktivní archeologie: teorie, metody a cíle - Non-destructive archaeology: theory, methods and goals. Praha: Academia, 49-115.

Gojda, M. 2004b: Letecká archeologie a dálkový průzkum – Aerial archaeology and remote sensing. In: Kuna, M. (ed.), Nedestruktivní archeologie: teorie, metody a cíle - Non-destructive archaeology: theory, methods and goals. Praha: Academia, 49-115.

Gojda, M. 2005: Archeologia lotnicza w Czechach w końcu XX wieku: integracja studiów nad krajobrazem kulturowym a archeologia nieinwazyjna - Aerial archaeology in Bohemia at the turn of the twentieth century: the integration of landscape studies and non-destructive archaeology. In: Nowakowski, J. - Prinke, A. - Rączkowski, W. (eds.), Biskupiń... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii. Poznań: Instytut prahistorii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, 449-456.

Gojda, M. 2007a: Archeologie krajiny Podřipska. Základní vymezení projektu, jeho cíle a metody - The Archaeology of the Landscape around the Hill of Říp. Basic Characteristics, Objectives and Methods of the Project. In: Krištuf, P. - Šmejda, L. - Vařeka, P. (eds.), Opomíjená archeologie 2005-2006 (Neglected archaeology 2005-2006). Plzeň: Department of Archaeology, University of West Bohemia, 12-18.

Gojda, M. 2007b: Letecká prospekce a dálkový průzkum v prvním roce projektu Archeologie krajiny Podřipska - Aerial Archaeology and Remote Sensing in the First Year of the Archaeology around the Hill of Říp Project. In: Krištuf, P. - Šmejda, L. - Vařeka, P. (eds.), *Opomíjená archeologie 2005-2006 (Neglected archaeology 2005-2006)*. Plzeň: Department of Archaeology, University of West Bohemia, 19-25.

Gojda, M. 2008: Archiv leteckých snímků Archeologického ústavu AV ČR v Praze (1992-2007). *Archeologické rozhledy* 60/1, 144-146.

Gojda, M. – Trefný, M. a kol. 2011: *Archeologie krajiny pod Řípem*. Plzeň, Katedra archeologie FF ZČU.

Gomes - Pereira, L. M. - Wicherson, R. J. 1999: Suitability of laser data for deriving geographical information: A case study in the context of management of fluvial zones, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54:105–114.

Grosman, D. 2002: Aerial archaeology in extreme environmental conditions: Slovenia. In: Bewley, R. H. - Rączkowski, W. (eds.), *Aerial Archaeology: Developing Future Practice*. NATO Science Series I. Life and Behavioural Sciences Vol. 337: IOS Press, 95-104.

Hakobyan, H. - Palmer, R. 2002: Prospects for Aerial Survey in Armenia. In: Bewley, R. H. - Rączkowski, W. (eds.), *Aerial Archaeology: Developing Future Practice*. NATO Science Series I. Life and Behavioural Sciences Vol. 337: IOS Press, 140-146.

Halounová, L. - Pavelka, K. 2005: *Dálkový průzkum Země*. ČVUT v Praze.

Harmon, J. M. - Leone, M. P. - Prince, S. D. - Snyder, M. 2006: LiDAR for archaeological landscape analysis: a case study of two eighteenth-century Maryland plantation sites. *American Antiquity* 71/4, 649-670.

Hejcman M., Smrž Z. (2010): Cropmarks in stands of cereals, legumes and winter rape indicate sub-soil archaeological features in the agricultural landscape of Central Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138: 348–354.

Hesse, R. 2010b: LiDAR-derived Local Relief Models - a new tool for archaeological prospection. *Archaeological Prospection* 17(2), 67–72.

Hodder, I. 1992: *Theory and Practice in Archaeology*, Routledge. London.

Hodder, I. 1999: *Archaeological Process*, Blackwell. Oxford.

Holden, N. - Horne, P. - Bewley, R. 2002: High-resolution digital airborne mapping and archaeology. In: Bewley, R., Raczkowski, W. (Eds.), *Aerial Archaeology Developing Future Practice*. Nato Science Series, Series I: Life and Behavioural Sciences, Vol. 337, pp. 173e180.

Hollaus, M – Wagner, M. 2007: Operational use of airborne laser scanning for forestry applications in complex mountainous terrain. In: *Proceedings of the 9th International Symposium on High Mountain Cartography*, Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung Band 43, Institut für Geographie und Raumforschung, TU Graz, Graz, 19-26.

Horne, P. 2011: The English Heritage National Mapping Programme. In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No.5.

Horne, P.D. 2009: *A Strategy for the National Mapping Programme*. English Heritage.

Humme, A. - Lindenbergh, R. - Sueur, C. 2006: Revealing Celtic fields from lidar data using kriging based filtering. In: Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium, Dresden, 25–27 September, Vol. XXXVI, part 5. *Stal* 2010, 8179 – 8181

Challis, K. - Kokalj, Z. - Kincey, M. - Moscrop, D. - Howard, A.J. 2008: Airborne Lidar and Historic Environment Records. *Antiquity* 82, 1055–1064.

Challis, K. - Carey, CH. – Kincey, M. – Howard, A. J. 2011: Archaeological Prospection *Archaeol. Prospect.* 18, 1–13 (2011) Published online 3 February 2011 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com/journal/arp) DOI: 10.1002/arp.398

Challis, K. – Howard - A.J., - Kincey - M. 2008: Airborne Remote Sensing of Aggregate Landscapes: Final Report. Birmingham Archaeology.

Challis, K. - Kokalj, Ž. - Kincey, M. - Moscrop, D. - Howard, A.J. 2008: Airborne lidar and historic environment records. *Antiquity* 82, 318: 1055-1064.

Challis, K. – Priestnall, G. – Gardner, A. – Henderson, J. – O’Hara, S. 2002 – 2004: Corona Remotely – Sensed Imagery in Dryland Archaeology: The Islamic City of al – Raqqa, Syria, *Journal of Field Archaeology*, Vol. 29, No. 1/2, 139-153.

Challis, K. 2005: Analysis of the Effectiveness of Aerial photography, LiDAR and IFSAR. HP Vista Centre, Birmingham Archaeology (Unpublished Report).

Challis, K. 2006. Airborne laser altimetry in alluviated landscapes. *Archaeological Prospection* 13, 2: 103-127.

Chvojka, O. - John, J. - Rytíř, L. 2003: Predikační mapa archeologických lokalit středního Pootaví. In: Neustupný, E. (ed), Příspěvky k prostorové archeologii 1. Katedra archeologie ZČU, Plzeň.

Ioannides, M., Arnold, D., Niccolucci, F., Mania, K. (Eds.), The 7th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST.

Janíček, I. - Novák, R. - Trefný, M. 2007 : První etapa povrchových sběrů v rámci projektu Krajinná archeologie a vývoj pravěkého osídlení Podřipska. In Opomíjená archeologie 2005-2006. Plzeň.

John, J. 2010: Výšinné lokality středního eneolitu v západních Čechách - The Middle Eneolithic Hill-top Sites in West Bohemia. Opomíjená archeologie 1. Západočeská univerzita v Plzni, ISBN 978-80-7043-956-2.

John, J. 2011: Letecké laserové skenování (ALS/LIDAR) a možnosti jeho využití v archeologii – úvodní informace o projektu. In: M. Kuchařík – L. Gál – J. Košťál (eds.), Počítačová podpora v archeologii 3, 24-28.

John, J. 2012: Letecké laserové skenování jako nástroj vyhledávání a mapování mohylových pohřebišť v Hemerském polesí. Archeologické výzkumy v jižních Čechách 25, 245-248.

Kennedy, D. - Bewley, R. 2004: Ancient Jordan from the Air. London: The Council for British Research in the Levant, The British Academy.

Kennedy, D. - Bewley, R. 2010: Archives and Aerial Imagery in Jordan. Rescuing the Archaeology of Greater Amman from Rapid Urban Sprawl. In: Cowley, D. C., Standring, R. A. and Abicht, M. J. (eds), Landscapes Through the Lens: Aerial Photographs and the Historic Environment, Oxford (Oxbow Books): in press.

Kennedy, D. 1998: Declassified satellite photographs and archaeology in the Middle East: case studies from Turkey. *Antiquity* 72, 553-561.

Kennedy, D. 2002: Aerial Archaeology in the Middle East: The Role of the Military - Past, Present ... and Future?, in R. H. Bewley and W. Rączkowski (eds) *Aerial Archaeology. Developing Future Practice*, Amsterdam (NATO Science Series – Series 1: Life and Behavioural Sciences. Volume 337): 33-48; 346-347.

Kennedy, D. 2002: Aerial Archaeology in the Middle East: The Role of the Military - Past, Present ... and Future?, in R. H. Bewley and W. Rączkowski (eds) *Aerial Archaeology. Developing Future Practice*, Amsterdam (NATO Science Series – Series 1: Life and Behavioural Sciences. Volume 337): 33-48; 346-347.

Kijowska, J. – Kijowski, A. – Rączkowski, W. 2010: Politics and landscape change in Poland: c. 1940-2000. [W:] *Landscapes through the Lens: Aerial Photographs and Historic Environment*, David C. Cowley, Robin A. Standing and Matthew J. Abicht (edited by.), Oxbow Books, Oxford, UK: 155-166, ISBN 978-1-84217-981-9.

Kobyliński, Z. 1999: Siedemdziesiąt lat archeologii lotniczej w Polsce. *Światowit* 1 (nowa seria), fasc. B, 112–22.

Kokalj, Ž. et al. 2011a: DEM visualization techniques for archaeological interpretation (PPTX presentation with references).

Kokalj, Ž. et al. 2011b: Application of sky-view factor for the visualization of historic landscape features in lidar-derived relief models. *Antiquity* 85, 327: 263-273.

Kovárník, J 1997: Využití letecké archeologie na jižní Moravě v r. 1994. In: Přehled výzkumů 1993-199. Brno: Archeologický ústav AV ČR, 38, 1s. 332-342. ISSN 1211-7250.

Kovárník, J. 1996: Přínos letecké archeologie k poznání pravěku a rané doby dějinné na Moravě (1983-1995) - Der Beitrag der Luftbildarchäologie zur Erkenntnis der Urzeit und historischen Frühzeit in Mähren (1983-1995). Archeologické rozhledy 48, 177-193.

Kovárník, J. 1999: 15 let letecké archeologie na Moravě (a v bývalém Československu) 1983-1998. Přehled výzkumů 40, 406-419.

Kraus, K. – Pfeifer, N. 2001: Advanced DTM Generation from Lidar Data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXIV-3/W4, 23-35.

Kraus, K. – Rieger, W. 1999: Processing of laser scanning data for wooded areas. In: Fritsch – Spiller eds.: Photogrammetric Week '99. Stuttgart, Wichmann Verlag, 221-231.

Kraus, K. 2004: Photogrammetrie. Band1. Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7, vollständig bearbeitete und erweiterte Auflage. Walter de Gruyter, Berlin, New York.

Kraus, K., 2002: Principles of airborne laser scanning. Journal of the Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 53–56.

Krušinová, L. a kol. 2003: Státní archeologický seznam ČR, verze 2.0 - uživatelská příručka. Praha.

Křivánek, R. 1996: Příklady aplikace geofyziky při ověřování výsledků leteckého snímkování v Čechách. In: Archeologické rozhledy XLVIII č.2, 253 -263.

Křivánek, R. 2007: První zkušenosti s aplikací cesiového magnetometru KAR ZČU Plzeň (Navmag) na archeologických lokalitách v roce 2006 – The first practical application of the Navmag cesium magnetometer from the Dept. of Archaeology of the University of West Bohemia in Pilsen on archeological sites in year 2006. In: Křišťuf, P.-Šmejda, L.-Vařeka, P. (eds.): Opomíjená archeologie 2005-2006 – Neglected Archaeology 2005-2006, Plzeň, 209-218.

Křivánek, R. 2008: Geofyzikální měření při ověřování výsledků leteckých průzkumů v severozápadních Čechách. In: Černá, E. – Kuljavceva Hlavová, J. (eds.): Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 2003-2007, Sborník k životnímu jubileu Zdeňka Smrže, 385-397.

Křivánek, R. 2009: Uplatnění geoelektrických metod při průzkumech zaniklých středověkých lokalit, Ve službách archeologie 1, 22 – 28.

Křivánek, R. 2011: kap. 4. Využití archeogeofyzikálních měření při výzkumu Podřipska v letech 2005-2010. In: Gojda, M. - Trefný, M. a kol. (eds.): Archeologie krajiny pod Řípem. Opomíjená archeologie, svazek 2, KAR FF ZČU v Plzni, 41-46.

Kuna, M. – Křivánková, D. 2006: Archiv 3.0. Systém Archeologické databáze Čech. Uživatelská příručka. Archeologický ústav AV ČR, Praha.

Kuna, M. – Tomášek, M. 2004: Povrchový výzkum reliéfních tvarů, In: Kuna, M. a kol., Nedestruktivní archeologie. Praha, 237 – 296.

Kuna, M. (ed.) 2004: Nedestruktivní archeologie - Non-destructive archaeology. Praha: Academia.

Kuna, M. 1994c : Archeologický výzkum povrchovými sběry, Praha.

Kuna, M. 1997a : Archeologická databáze Čech. In : Macháček, J. (ed), Počítačová podpora v archeologii, Brno, 105-114.

Kuna, M. a kol. 2004 : Nedestruktivní archeologie. Praha.

Kuna, M., Zvelebil, M., Foster, P., Dreslerová, D. 1993: Field survey and landscape archaeology research design. Methodology of a regional field survey in Bohemia, Památky archeologické 84, 110-130.

Kutnar, F. - Marek, J. 1997: Přehledné dějiny českého a slovenského dějepisectví: Od počátku národní kultury až do sklonku třicátých let 20. století. 2. vyd. Praha, 19–129.

Kvamme Kenneth, L. 2003: Geophysical surveys as landscape archaeology. American Antiquity 63 (3), 435 – 457.

Lasaponara, R. - Masini, N., 2006. On the potential of Quickbird data for archaeological prospection. International Journal of Remote Sensing, 27, 3607-3614.

Lasaponara, R. – Masini, N. 2007: Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery, Journal of archaeological science 34, 214 – 221.

Lasaponara, R., Coluzzi, R., Gizzi, F.T. & Masini, N. 2010: On the LiDAR contribution for the archaeological and geomorphological study of a deserted medieval village in Southern Italy. Journal of Geophysics and Engineering 7, 155–63.

Lavalle, C. – Demicheli, L. – Kasanko, M. – Turchini, M. – Niederhuber, M. – McCormick, N 2001: Murbandy/ Moland Technical Report. European Commission Euro-Report.

Lavalle, C. – Baranzelli, C. – Mubareka, S. - Rocha G.C. – Hiederer, R., - Batista, E. – Silva, F. – Estreguil, C. 2011: Implementation of the CAP Policy Options with the Land Use Modelling Platform - A first indicator-based analysis - EUR 24909 EN. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union; 2011. JRC66060.

Lillesand, T. M. - Kiefer, R. W. 1994: Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd ed. xvi + 750pp. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons.

Lipský, Z 1998: Krajinná ekologie. Praha, Karolinum. 135s.

Lohmann, P. - Koch, A. 1999: Quality Assessment of Laser-Scanner-Data. ISPRS Workshop on Sensing and Mapping from Space, University of Hanover, Germany.

Löw, J. – Míchal, I. 2003: Krajinný ráz. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy. 552 stran.

Macháček, J. 2003: Archeologie, historie a teorie systémů - Archaeology, history and the theory of systems. In: Šmejda, L. - Vařeka, P. (eds.), Sedmdesát neustupných let. Sborník k životnímu jubileu prof. Evžena Neustupného. Plzeň: Katedra archeologie FF ZČU, 121-130.

Majer, A. 1996: Porostní příznaky z hlediska barevného procesu ve vegetaci, Archeologické rozhledy 48, 264-272.

Masini – Coluzzi – Lasaponara 2010: Flights into the past: full-waveform airborne laser scanning data for archaeological investigation. *Journal of archaeological science*, 263-290.

Masini et al. 2011: On the Airborne Lidar Contribution in Archaeology: from Site Identification to Landscape Investigation, Laser Scanning, Theory and Applications Conference 2010. Italy.

Meduna, P. - Černá, E. 1991 : Settlement structure of the early Middle Ages in northwest Bohemia: investigations of the Pětipsy basin area. *Antiquity* 65, č. 247, s. 388-395.

Meduna, P. 1994: Povrchový průzkum komplexu obléhacích prací u Konopiště z let 1467-1468, *Casteologica bohemika* 4. Praha, 243-250.

Mlekuž, D. – Budja, M. - Ogrinc, N. 2006: Complex landscape and settlement dynamics of the Iščica floodplain (Ljubljana Marshes, Slovenia). *Documenta Praehistorica* 33, pp. 253-271.

Musson, Ch. 2011: Training for the future: cooperation across Europe. In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No.5.

Nekuda, V. 1975: Pfaffenschlag. Zaniklá středověká ves u Slavonic. Brno.

Němec, J. – Pojer, F. 2007: Krajina v České republice. Ministerstvo životního prostředí a Consult Praha. 400 s. ISBN 80-903482-3-8

Neustupný, E. 1986b: Sídlní areály pravěkých zemědělců, *Památky archeologické* 77, 226-234.

Neustupný, E. - Venclová, N. 1996: Využití prostoru v laténu: region Loděnice, *Archeologické rozhledy* 48, 713-724.

Neustupný, E. - Venclová, N. 1998: The Loděnice region in prehistoric times. In: Neustupný, E. (ed.), *Space in Prehistoric Bohemia*, 84-105. Praha.

Neustupný, E. (ed.) 1998: *Space in Prehistoric Bohemia*. Prague: Institute of Archaeology.

Neustupný, E. 1985: K holocénu Komořanského jezera. *Památky archeologické* 76, 9-70.

Neustupný, E. 1986: Nástin archeologické metody - An outline of the archaeological method. *Archeologické rozhledy* 38, 525-548.

Neustupný, E. 1993: *Archaeological Method*. Cambridge: Cambridge University Press.

Neustupný, E. 1994: The settlement area theory in Bohemian archeology, *Památky archeologické, Supplementum* 1, 248-258.

Neustupný, E. 1996: Polygons in archaeology. *Památky archeologické* 87, 112-136.

Neustupný, E. 2001: Hlavní problémy prostorové archeologie – Principal problems of spatial archaeology. In: Kozłowski, J. - Neustupný, E. (eds.), *Archeologie przestrzeni. Metody i wyniki badań struktur osadniczych w dorzeczach górnej Laby i Wisly*. Kraków: Polska Akademia Umiejętności - Akademie věd České republiky, 7-26.

Neustupný, E. 2003a: Predikce živých areálů minulosti. In: Neustupný, E. (ed), *Příspěvky k prostorové archeologii 1*. Katedra archeologie ZČU, Plzeň.

Neustupný, E. 2003b: The Non-Practical Dimensions of Prehistoric Landscapes. In: Kunow, J. und J. Müller (eds.), *Archäoprognose Brandenburg I* (Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 8), 291-296.

Neustupný, E. 2007: *Metoda archeologie*. Plzeň: Aleš Čeněk.

Neustupný, E. 2007: *Metoda archeologie*. Plzeň: Aleš Čeněk.

Neustupný, E. 2010: *Teorie archeologie*. Katedra archeologie ZČU, Plzeň.

Nováček, K. 1993b: Klasifikace povrchových stop po zaniklé těžbě surovin (příspěvek k metodice povrchového průzkumu). *Studie z dějin hornictví* 23, 7-11.

Nováček, K. et al. 2008: Research of the Arbil Citadel, Iraqi Kurdistan, First Season - Výzkum citadely v Arbílu (irácký Kurdistan), první sezóna. *Památky archeologické* 99, 259-302.

Nováček, K. 2007: Arbíl - konstanty a proměnné ve vývoji mezopotamského městského centra. In *Orientalia Antiqua Nova VII*. Plzeň: Dryada, 2007. s. 135-145. ISBN: 978-80-87025-13-0

Novák J. 2009: Antrakologická analýza profilu MK IV v Krumlovském lese. In: P. Neruda - Z. Nerudová (eds.) *Moravský Krumlov IV. Interdisciplinární analýzy, interpretace, důsledky*. Brno, Anthropos.

Olesen, L. H. 2011: An aerial view of the past – aerial archaeology in Denmark. In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No. 5.

Oltean, I. A. 2002: The use of satellite imagery for the transcription of oblique aerial photographs, in Bewley, R. and Raczkowski, W. (eds.)

Aerial archaeology -developing future practice, Nato Science Series, IOS Press, Amsterdam, 224-32.

Oltean, I – Abell, L. L., 2008: High-resolution satellite imagery and the detection of buried archaeological features in ploughed landscapes, in Lasaponara R, Masini N (eds.) *Satellite Remote Sensing: A New Tool for Archaeology*, Springer, 2012, 291-305.

Oltean, I. 2007: Cropmark formation on “difficult” soils in Romania. In: Mills J, Palmer R (eds) *Populating clay landscapes*, Stroud: Tempus.

Oštir, K. 2008: Application of laser scanning (lidar) data for land cover classification. MARS Annual Conference. Ljubljana.

Oštir, K. 2007: Remote sensing in archaeology – from optical to lidar, ISA Summer School, Tours, 25 – 30 June, 2007.

Palmer R. 1983. Analysis of settlement features in the landscape of prehistoric Wessex, in: G. Maxwell (ed.), *The Impact of Aerial Reconnaissance on Archaeology*. London: Council for British Archaeology, 41–53.

Palmer, R. - Cowley, D. 2010: Interpreting Aerial Imagery – developing best practice. In Campana, S., Forte, M. & Liuzza, C. (eds): *Space, Time, Place. Third International Conference on Remote Sensing in Archaeology*, 17th–21 st August 2009, Tiruchirappalli, Tamil Nadu, India. BAR -S2118, 129–135.

Palmer, R. - Cox, C. 1993: *Uses of Aerial Photography in Archaeological Evaluations*. Technical paper Number 12. Institute of Field Archaeologists.

Palmer, R. - Oberländer-Târnoveanu, I – Bem, C. 2010: *Arheologie aeriana in Romania si in Europa*.

Palmer, R. 1984: Danebury: An Iron Age Hillfort in Hampshire. An aerial photographic interpretation of its environs. Supplementary Series 6. Royal Commission on Historical Monuments (England).

Palmer, R. 1984: Danebury: An Iron Age Hillfort in Hampshire. An aerial photographic interpretation of its environs. Supplementary Series 6. Royal Commission on Historical Monuments (England).

Palmer, R. 1989: Thoughts On Some Aspects Of Air Photo-Archaeology. In: Kennedy, D. (ed.), Into the Sun: Essays in air photography in archaeology in honour of Derrick Riley. Sheffield: John R. Collis, 53-60.

Palmer, R. 1995a: Photo interpretation, mapping and AERIAL. In: Kunow, J. (ed.), Luftbildarchäologie in Ost- und Mitteleuropa. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 3, Potsdam: Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte, 33-42.

Palmer, R. 1995b: What an opportunity! In: Kunow, J. (ed.), Luftbildarchäologie in Ost- und Mitteleuropa. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 3, Potsdam: Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte, 23-31.

Palmer, R. 2000: A view from above: can computers help aerial survey? In: On the Theory and Practice of Archaeological Computing. Oxford University Committee for Archaeology Monograph No. 51, Oxford, 107-131.

Palmer, R. 2005: Dlaczego niezbędna jest interpretacja zdjęć lotniczych i wykonywanie map? - Why photo interpretation and mapping is necessary? In: Nowakowski, J. - Prinke, A. - Rączkowski, W. (eds.), Biskupiń... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii. Poznań: Instytut prehistorii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, 407-412.

Pavelka, K. 2011: Zpráva o řešení projektu 2009-2010, Projekt č. CG 912-105-520, ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Praha
Pavelka, K. 2003: Fotogrammetrie. Plzeň: Západočeská univerzita.

Pažourek, V. - Velímský, T. 1995: Nově zjištěné raně středověké nálezy z Labských pískovců - příspěvek k počátkům slovanského osídlení ve Šluknovském výběžku. In: Blažek, J. - Meduna, P. (eds.): Archeologické výzkumy v severozápadních Čechách v letech 1983 - 1992, 197 - 212. Most.

Petrovic, D. – Podobnikar, T. 2011: Use of airborne laser scanning data for updating topographic maps in hilly and mountain areas. Papers — ica-cmc-session, Paris, France, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia.

Pfeifer, N. -Briese, C. 2007: Geometrical aspects of Airborne and Terrestrial Laser Scanning, ISPRS Workshop Laser Scanning 2007, Espoo, Finland, 09-12-2007 - 09-14-2007, In: "ISPRS", XXXVI Part 3 / W52 (2007), ISSN: 1682-1777, 9 Pages.

Philip, G. - Donoghue, D. - Beck, A. – Galiatsatos, N. 2002: CORONA satellite photography: an archaeological application from the Middle East. *Antiquity* 76: 109-118

Platichová 2010: Studium sídelních struktur a dálkový průzkum Země. In: Budil, I. (ed.) *Acta fakulty filozofické Západočeské univerzity v Plzni*. Plzeň: Západočeská univerzita, 303-324.

Powlesland, D. - Lyall, J. - Hopkinson, G. - Donoghue, D. - Beck, M. - Harte, A. - Stott, D. 2006: Beneath the Sand - Remote Sensing, Archaeology, Aggregates and Sustainability: a Case Study from Heslerton, the Vale of Pickering, North Yorkshire, UK. *Archaeological Prospection* 13, 291–299.

Rączkowski, W. 2002: Beyond the technology: do we need 'meta-aerial archaeology'? In: Bewley, R. H. - Rączkowski, W. (eds.), *Aerial Archaeology: Developing Future Practice*. NATO Science Series I. Life and Behavioural Sciences Vol. 337: IOS Press, 311-327.

Rączkowski, W. 2004: Dusty treasure: thoughts on a visit to the Aerial Reconnaissance Archives at Keele University (UK). *AARGnews*. The Newsletter of the Aerial Archaeology Research Group 29, 9-11.

Rączkowski, W. 2005: Tradition in power: vicious circle(s) of aerial survey in Poland. In: Brophy, K. - Cowley, D. (eds.), *From the air: understanding aerial archaeology*. *Tempus*, 151-167.

Rączkowski, W. 2011: Integrating survey data - the Polish AZP and beyond. In: Cowley, D. (ed.), *Remote Sensing for Archaeological Heritage Management*. EAC Symposium Paper No.5.

Razak, K.A. - Straatsma, M.W. - van Westen, C.J. - Malet, J.-P. - de Jong, S.M. 2011: Airborne laser scanning of forested landslides characterization: Terrain model quality and visualization. *Geomorphology*, Volume 126, Issues 1-2, Pages 186-200

Riley, D. N. 1945: Aerial Reconnaissance of the Fen Basin. *Antiquity* 19, 145-153.

Riley, D. N. 1987: *Air Photography and Archaeology*. Duckworth

Riley et al. 1985: The Mapping of Archaeological Evidence from Air Photographs. *Aerial Archaeology* 11,1-30.

Riley, D. N. - Edwards, D. A. - Gates, T. - Hampton, J. N. - Whimster, R. P. 1985: The Mapping of Archaeological Evidence from Air Photographs. *Aerial Archaeology* 11, 1-30.

Riley, D. N. 1987: Air Photography and Archaeology. Duckworth.

Risbøl, O. - Gjertsen, A.K. - Skare, K. 2006: Airborne laser scanning of cultural remains in forests: some preliminary results from a Norwegian project. In Campana, S. & Forte, M. (eds): From Space to Place. 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. BAR International Series 1568, Archaeopress, Oxford, 107-112.

Rusinkiewicz, S – Burns, M. – DeCarlo, D. 2006: Exaggerated Shading for Depicting Shape and Detail. ACM Transactions on Graphics Proc. (SIGGRAPH) 25 (3).

Řeřicha, J. 1998: Dálkový průzkum Země, příloha časopisu GeolInfo 4/1998, 5/1998, 6/1998.

Sádlo, J. a kol 2005 : Krajina a revoluce. 1. vyd. Praha: Malá Skála. 247 s.
Scollar, I. – Palmer, R. 2008: Using Google Earth imagery, AARGnews 37, 15-21.

Scollar, I. 1978: Computer Image Processing for Archaeological Air Photographs. World Archaeology 10/1, 71-87.

Scollar, I. 1998: AirPhoto – a WinNT/Win95 program for geometric processing of archaeological air photos. AARGnews 16, 37-38.

Scollar, I. 2002: Making things look vertical. In Bewley, R.H. and Raczkowski, W., (ed). Aerial archaeology: developing future practice. NATO Science Series, Vol 337. 166-172.

Scollar, I. et al. 2008: A beginner's guide to transformation programs, AARGnews 36, The Newsletter of the Aerial Archaeology Research Group, 11 - 19.

Semotanová, E. 2002a: Historická geografie českých zemí. Historický ústav AV ČR, Praha, 279 s.

Semotanová, E. 2002b: Atlas zemí koruny české. Aleš Skřivan ml., Praha, 192 s.

Sharma et al. 2010: DEM Development from Ground-Based LiDAR Data: A Method to Remove Non-Surface Objects. *Remote sensing*, 2(11), 2629-2642.

Shell, C. - Roughley, C. 2004: Exploring the Loughcrew landscape: a new airborne approach. *Archaeology Ireland* 18/2 (68), 22–5.

Schmid et al. 2008: Lidar 101: An Introduction Lidar Technology, Data, and Applications, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center, Charleston, 1- 62.

Sittler, B. - Weinacker, H. - Gültlinger, M. - Koupaliantz, L. 2007: The potential of Lidar assessing elements of cultural hidden under forests. In Bochenek, Z. (ed.): *New developments and challenges in remote sensing. Proceedings of the 26th EARSeL, Warsaw, Poland, 2006.* Millpress, Rotterdam. 539–48.

Sittler, B. 2004: Revealing Historical Landscapes by Using Airborne Laser Scanning. A 3-D Modell of Ridge and Furrow in Forests near Rastatt (Germany). In: *Proceedings of Natscan, Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment - Instruments, Processing Methods and Applications.*, Thies, M.; Koch, B.; Spiecker H. & Weinacker, H. (Eds), *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXVI, Part 8/W2*, pp. 258-261.

Sittler, B. 2004: Revealing Historical Landscapes by Using Airborne Laser Scanning. A 3-D Model of Ridge and Furrow in Forests near Rastatt (Germany). In Thies, M., Koch, B., Spiecker, H. & Weinacker, H. (eds): Proceedings of Natscan, Laser- Scanners for Forest and Landscape Assessment – Instruments, Processing Methods and Applications. 258–61.

Smetánka, Z. – Klápště, J. 1979: Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých osad, Archeologické rozhledy 31, 614-628.

Smetánka, Z. – Klápště, J. 1981: Geodeticko-topografický průzkum zaniklých středověkých vsí na Černokostelecku, Památky archeologické 72, 416-458.

Smetánka, Z. 1969: Průzkum zaniklé středověké osady svídna u Slaného, Archeologické rozhledy 21, 618-625.

Smetánka, Z. 1988: Život středověké vesnice. Zaniklá Svídna, Praha.

Smrž, Z. – Hlušík, A. 2007: Polní opevnění z roku 1813 mezi Postoloprty a Budyní nad Ohří: výsledky letecké prospekce a historického badání, Archeologické rozhledy 59, s. 713-746.

Smrž, Z. – Hlušík, A. 2007: Polní opevnění z roku 1813 mezi Postoloprty a Budyní nad Ohří: výsledky letecké prospekce a historického badání, Archeologické rozhledy 50, 713-746.

Smrž, Z. - Majer, A. 1995: Knovízské sídliště v Lišanech, okr. Louny. Výzkum, letecká prospekce a geodetické vyhodnocení, Archeologické rozhledy 47, s. 102-114.

Smrž, Z. 1987: Vývoj a struktura osídlení v mikroregionu Lužického potoka na Kadaňsku. Archeologické rozhledy 39, 601-621.

Smrž, Z. 1995: Luftbildarchäologie in Nordwest-Böhmen in den Jahren 1992 – 1994. In: J. Kunow (ed.), Luftbildarchäologie in Ost- und Mitteleuropa, Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 3, Potsdam, 237-239.

Smrž, Z. 1996: Aplikace metody letecké archeologie v severozápadních Čechách, Archeologické rozhledy 48, 213-219, 279-280.

Smrž, Z. 1999: Příspěvek letecké archeologie k poznání archeologického potenciálu území mezi Libočany a Soběsuky na Žatecku - The Contribution of Aerial Archaeology to Knowledge of the Archaeological Potential of the Area between Libočany and Soběsuky near Žatec. Archeologické rozhledy 51, 517-531.

Smrž, Z. 1999: Příspěvek letecké prospekce k poznání archeologického potenciálu území mezi Libočany a Soběsuky na Žatecku, Archeologické rozhledy 51, 517-531.

Smrž, Z. 2000: Vypovídací schopnost a efektivita letecké archeologie. In: Čech, P. – Dobeš, M. (eds.), Sborník Miroslavu Buchvaldkovi, Most, 239-242.

St Joseph, J. K. 1962: Air Reconnaissance in Northern France. Antiquity 36, 279-286.

Stal, C. - Bourgeois, J. - De Maeyer, Ph. - De Mulder, G. - De Wulf, A. - Goossens, R. - Nuttens, T. - Stichelbaut, B. 2010: Kemmelberg (Belgium) case study: comparison of DTM analysis methods for the detection of relicts from the First World War. In: Proc. 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture.

Starková, L. 2011: Potenciál laserového skenování (Lidar) v archeologii – modelová studie Česko-saské Švýcarsko In: M. Kuchařík – L. Gál – J. Košťál (eds.), Počítačová podpora v archeologii 3, 18-23.

Stoerz, C. 1997: Ancient Landscapes of Yorkshire Wolds. Swindon.

Straub – Koch 2011: Estimating Single Tree Stem Volume of *Pinus sylvestris* Using Airborne Laser Scanner and Multispectral Line Scanner Data. *Remote sensing*, 3(5), 929-944.

Šmejda, L. 2007a: Internetový server pro sdílení a publikaci archeologických prostorových databází - An Internet Server for Sharing and Publishing Spatial Databases with Archaeological Content. In: Krištuf, P. - Šmejda, L. - Vařeka, P. (eds.), *Opomíjená archeologie*. Plzeň: Západočeská univerzita, Katedra archeologie, 192-208.

Šmejda, L. 2007b: Letecká archeologie a internetové zdroje dat: situace v ČR - Aerial Archaeology and the Internet: the Situation in the Czech Republic. In: Krištuf, P. - Šmejda, L. - Vařeka, P. (eds.), *Opomíjená archeologie*. Plzeň: Západočeská univerzita, Katedra archeologie, 255-260.

Šmejda, L. 2009: Mapování archeologického potenciálu pomocí leteckých snímků. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita.

Šmejda, L. 2009: Mapování archeologického potenciálu pomocí leteckých snímků. Plzeň, Západočeská univerzita.

Šmejda, L. 2010: Metodika transkripce prostorových informací z leteckých snímků do mapy. In: Gojda, M. (ed.) *Studie k dálkovému průzkumu v archeologii. Studies in Remote Sensing for Archaeology*. Plzeň: Západočeská univerzita. 13 – 20.

Tilley, C. 1994: *A Phenomenology of Landscape: Places, Paths and Monuments*. Explorations in Anthropology Series Oxford/Providence: Berg.

Tirpák, J. 2010: Geofyzikálne metódy v archeológii. Metódy nedeštruktívneho prieskumu. Nitra.

Tomášek, Milan. Půdy České republiky. Praha : Český geologický ústav, 2000.

Trefný, M. – Janíček, L. 2010 : Druhá etapa povrchových sběrů v rámci projektu Archeologie krajiny Podřipska. In: Křišťuf, P. – Vařeka, P. (eds.) Opomíjená archeologie 2007-2008. Plzeň.

Trier, O. – Larsen, S. – Solberg, R. 2009: Finding burial mounds from space: automatic detection of circular soil marks and crop marks in QuickBird imagery of agricultural land in south-east Norway, AARGnews 39, 18-24.

Tuominen – Haapanen 2011: Comparison of Grid-Based and Segment-Based Estimation of Forest Attributes Using Airborne Laser Scanning and Digital Aerial Imagery. Remote sensing 3(5), 945-961

Ullrich, A. – Hollaus, M. – Briese, C. 2007: Utilization full-wave form data in airborne laser scanning. Applications. SPIE Laser radar technology and applications XII, Orlando.

Ur, J. 2003: CORONA Satellite Photography and Ancient Road Networks: A Northern Mesopotamian Case Study. Antiquity 77, 102 – 115

Ussyshkin – Theriault 2011: Airborne Lidar: Advances in Discrete Return Technology for 3D Vegetation Mapping. Remote sensing 3(3), 416-434

Valečka, J. et al. 1997: České Švýcarsko. Geologická a přírodovědná mapa v měřítku 1 : 25 000. – Čes. geol. úst. Praha.

Vařeka, P. 2008: Sloupek : (k.ú. Těškov, okr. Rokycany). In Hledání zmizelého. Plzeň, Západočeské muzeum. 63-64.

Vencl, S. 1996: Poznámka na okraj nových objevů v letecké archeologii - A note on the new discoveries by aerial reconnaissance. Archeologické rozhledy 48, 251-252.

Vencl, S. 1995: K otázce věrohodnosti svědectví povrchových souborů, Archeologické rozhledy 47, 11-57.

Wagner, W. - Ullrich, A. - Melzer, T. - Briese, C. - Kraus, K., 2004: From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: Potential and practical challenges. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, 12-23 July 2004, Vol. XXXV, Part B3, pp. 201-206.

Wehr, A. - Lohr, U. 1999: Airborne laser scanning – an introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54(2–3), 68–82.

White – Dietterick – Mastin – Strohmman 2011: Forest Roads Mapped Using LiDAR in Steep Forested Terrain. Remote sensing 2, no. 4: 1120-1141.

Wilson 2012: Digital terrain modeling. Geomorphology, Volume 137, Issue 1, January 2012, Pages 107-121.

Wilson, D. R. 1995a: History of Aerial Archaeology - success and failure. In: Kunow, J. (ed.), Luftbildarchäologie in Ost- und Mitteleuropa. Forschungen zur Archäologie im Land Brandenburg 3, Potsdam: Brandenburgisches Landesmuseum für Ur- und Frühgeschichte, 13-22.

Wilson, D. R. 1995b: John Kenneth Sinclair St Joseph 1912-1994. Proceedings of the British Academy 87, 417-436.

Wilson, D. R. 2000: Air Photo Interpretation for Archaeologists. London: Batsford.

Winton, H. 2005: The Malvern Hills, Report for the National Mapping Programme. Aerial Survey Report Series, English Heritage internal report.

Zakšek, K., Oštir, K., Kokalj, Ž., 2011. Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. Remote Sensing, 3, 398-415.

Zápotocký, M. 1977: Slovanské osídlení na Děčínsku - Die slawische Besiedlung der Děčíner Gegend. Archeologické rozhledy 29/5, 521-553, 600.

Zhang, Y. 2002a: A new automatic approach for effectively fusing Landsat 7 as well as IKONOS images. IEEE/IGARSS'02, Toronto, Canada.

Zhang, Y. 2002b: Problems in the fusion of commercial high-resolution satellite as well as Landsat 7 images and initial solutions. ISPRS, Vol. 34, Part 4, "GeoSpatial Theory, Processing and Applications", Ottawa.

Internetové zdroje:

<http://aerial.rcahms.gov.uk/>

<http://amapy.centrum.cz/>

<http://earthexplorer.usgs.gov/>

<http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>

<http://kontaminace.cenia.cz>

<http://lape.prf.jcu.cz/specializace/paleo/>

<http://lfgm.fsv.cvut.cz/~hodac/simphoto/data/manual.pdf>

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

<http://mapy.idnes.cz/>

<http://scienceworld.cz/fyzika/opticka-luminiscence-a-archeologicky-vyzkum-ve-tme-1922>

<http://services.cuzk.cz/wms/wms.asp>

<http://www.acronis.cz/kb/zalohovani-dat/>

[http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/\\$pid/MZPMSG0E9EQP/\\$FILE/tema_ortofotomapa.pdf](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akt-tema.nsf/$pid/MZPMSG0E9EQP/$FILE/tema_ortofotomapa.pdf)

<http://www.flickr.com/photos/APAAME/collections/>

<http://www.flycom.si/index.php/en/>

<http://www.geoeye.com/CorpSite/>

<http://www.geokosmos.com/>

<https://maps.google.cz/>

www.kontaminace.cenia.cz

www.mapy.cz

<http://antiquity.ac.uk/projgall/beck308/>

http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2010/sbornik/Lists/Papers/CZ_5_2.pdf