

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra geomatiky**

**VYUŽITÍ DAT Z LETECKÉHO LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ PRO
VYHLEDÁVÁNÍ A DOKUMENTACI HISTORICKÝCH OBJEKTŮ**

**USING OF AIRBORNE LASER SCANNING FOR SEARCHING AND
DOCUMENTATION OF HISTORICAL OBJECTS**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geodézie, kartografie a geoinformatika
Vedoucí práce: Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Jiří Carda

Praha 2016



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Carda</u>	Jméno: <u>Jiří</u>	Osobní číslo: <u>410888</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra Geomatiky</u>		
Studijní program: <u>(B3645) Geodézie a kartografie</u>		
Studijní obor: <u>(3646R011) Geodézie, kartografie a geoinformatika</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Využití dat z leteckého laserového skenování pro vyhledávání a dokumentaci historických objektů


Název bakalářské práce anglicky: Using of airborne laser scanning for serching and documentation of historical objects


Pokyny pro vypracování:
Proveďte rešerši využitelnosti leteckého laserového skenování (LLS) pro oblast památkové péče a dokumentace památkových objektů. Popište technologii LLS, její využití a výsledky v ČR, definujte zájmové území a po konzultaci s vedoucím práce typy vyhledávaných objektů. Popište postup vyhledávání, databázové zařídění objektů, vhodnost dat i problematiku možností LLS pro objekty v lesních i bezlesých areálech. Nalezené objekty zařídíte a stručně popište. V závěru popište výsledky a v diskusi uveďte vlastní poznatky a možný vývoj do budoucnosti. Ve spolupráci s p. J.Levínkým se soustředíte na část dat, kterou budete zpracovávat samostatně.

Seznam doporučené literatury:
VAVERKA, P.: Využití DMR z leteckého laserového skenování pro detekci archeologických a kulturních památek, bakalářská práce, 2012, ČVUT v Praze, FSv, katedra mapování a kartografie
GOJDA, M.; JOHN, J. A KOL., 2013. Archeologie a letecké laserové skenování krajiny. Katedra archeologie, Západočeská Univerzita v Plzni, 255 str. ISBN 978-80-261-0194-9.
DUŠÁNEK, P., 2011. Exploitation of countryside airborne LIDAR dataset for documentation of historical human activities in countryside, Geoinformatics [online], vol.6, no.1, str. 97-102, ISSN 1802-2669. Dostupné z: <<http://geoinformatics.fsv.cvut.cz/pdf/geoinformatics-fce-ctu-2011-06.pdf>>.

Jméno vedoucího bakalářské práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2016



Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

7.3. 2016
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce bylo využití dat leteckého laserového skenování a z nich dále vytvořeného digitálního modelu reliéfu pro vyhledávání historických objektů na ploše tzv. oblasti Východ. Použitá data stínovaného reliéfu byla zapůjčena ČÚZK. Práce se v rešeršní části věnuje technologii a historii leteckého laserového skenování a také dále popisuje sběr a zpracování dat pro vytvoření digitálních modelů reliéfu pro Českou republiku. Součástí práce je vyhledávání ať již dříve nalezených či zcela nových archeologicky významných objektů, jejich identifikace a následná kategorizace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Letecké laserové skenování, letecká archeologie, lidar, digitální model terénu, stínovaný reliéf

ABSTRACT

Topic of this bachelor thesis was utilization of the digital relief model for searching of the historical objects in the area, so-called East area, and use of the airborne laser scanning. Used shaded relief data was kindly rented by the ČÚZK. Thesis is in the research part focused partially on the technology and history of the airborne laser scanning and also describes collection and processing of the data used for creating the digital relief model for Czech Republic. Search of the known or previously unknown archaeologically significant objects, their identification and following categorization is also part of this thesis.

KEY WORDS

Airborne laser scanning, aerial archeology, lidar, digital relief model, shaded relief

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Využití dat z leteckého laserového skenování pro vyhledávání a dokumentaci historických objektů“ vypracoval samostatně. Veškeré podklady, ze kterých bylo čerpáno jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne.....

.....
Jiří Carda

PODĚKOVÁNÍ

Tímto způsobem bych rád poděkoval Prof. Dr. Ing. Karlu Pavelkovi a Ing. Martině Faltýnové za poskytnutí cenných rad na konzultacích ke zpracování daného tématu. Dále bych chtěl poděkovat ČÚZK za poskytnutí dat leteckého laserového skenování. Velkou měrou bych chtěl poděkovat i mojí rodině a přítelkyni za podporu po dobu studia.

Seznam použitých zkratek

LLS	Letecké laserové skenování
ALS	Airborne laser Scanning
INS	Inerciální navigační systém
DMP	Digitální model povrchu
DMR	Digitální model reliéfu
GNSS	Globální navigační satelitní systémy
IMU	Inercial Measuring Unit
UTM	Universal Transverse Mercator (Univerzální transverzální Mercatorův systém souřadnic)
Bpv	Balt po vyrovnání
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
GIS	Geografický informační systém
DMR 4G	Digitální model reliéfu 4. generace
DMR 5G	Digitální model reliéfu 5. generace
DMP 1G	Digitální model povrchu 1. Generace
LiDAR	Light detection and ranging
ČVUT	České vysoké učení technické
FSv	Fakulta stavební
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Letecké laserové skenování (LLS).....	10
2.1	LiDAR.....	10
2.2	Letecký laserový skener	11
2.2.1	Princip skenování	12
2.3	Letecká archeologie	13
2.3.1	Historie	13
2.3.2	Význam LLS a současné využití pro archeologické účely	14
3	Využití LLS v Evropě	14
3.1	Projekt Hill of Tara, Irsko	15
3.1.2	Výsledky	16
4	Použitá technologie a sběr dat	17
4.1	Postup a způsob skenování	17
4.1.1	Plánování a pořízení dat	18
4.1.2	Plánování letů	19
4.1.3	Uskutečnění letů	20
4.2	Použitá technika pro sběr dat.....	20
4.2.1	Turbolet L – 410 FG	21
4.2.2	Systém LITteMapper 6800	21
4.2.3	Skener Riegl LMS Q - 680.....	22
4.2.4	AEROControl	23
5	Zpracování dat a výsledné produkty	24
5.1	Zpracování dat	24
5.1.1	Předzpracování dat	24

5.1.2	Robustní filtrace	25
5.1.3	Manuální editace	26
5.2	Výsledné produkty	26
5.2.1	Digitální model reliéfu – DMR 4G	26
5.2.2	Digitální model reliéfu – DMR 5G	28
5.2.3	Digitální model reliéfu – DMP 1G.....	30
6	Práce v GIS a vyhodnocení dat.....	31
6.1	Data	32
6.2	GIS – QGIS.....	33
6.3	Vyhledávání zájmových objektů	34
6.4	Identifikace a následná klasifikace	35
7	Rozdělení a příklady nalezených archeologických objektů	35
7.1	Hrady	36
7.2	Tvrze.....	37
7.3	Hradiště.....	38
7.4	Mohylníky	39
7.5	Důlní činnost.....	40
7.6	Vojenské objekty.....	41
7.7	Neidentifikované objekty	42
8	Závěr.....	43
	Použité zdroje	44
	Seznam obrázků	46
	Seznam tabulek	46
	Seznam příloh.....	47
A	Archeologická naleziště v oblasti Východ (západní část).....	47
B	Obsah příloženého DVD.....	51



1 Úvod

V každém z nás je zřejmě od přírody touha získávat nové informace o naší minulosti a historie lidstva je jedním z nejzajímavějších a nejkrásnějších vědních oborů. Už od nepaměti po sobě lidé zanechávají na Zemi stopy své tvořivosti jako pozůstatky obydlí, monumentů a dalších objektů spojených s činností člověka na daném území. V dnešní době moderní techniky můžeme využít nových metod jako je metoda leteckého laserového skenování (LLS) pro nalezení a dokumentaci takových míst.

Právě využití LLS pro vyhledávání archeologicky významných objektů na části území (oblast Východ) České republiky je hlavním tématem této bakalářské práce. K výběru tohoto tématu přispěl v mém případě zásadní měrou můj velký zájem o nové technologie a také určitá spjatost s historií díky mému rodišti, kterým je známý Český Krumlov. Myšlenka dokumentace a zároveň možnost objevení nových objektů za použití moderní technologie byla velkým lákadlem.

LLS a jeho využití pro nedestruktivní leteckou archeologii se již za krátkou dobu stalo hlavní prostředkem pro vyhledávání nových objektů a to hlavně díky možnosti zkoumání rozlehlých oblastí. Letecká archeologie se zabývá vizuálním průzkumem krajiny a v dnešní době využívá stále více právě nové technologie jako LLS či dálkového průzkumu Země.

V letecké archeologii jsou data, pořízená LLS a jejich využití pro vytvoření digitálních modelů reliéfu, používána především k průzkumu oblastí, kde dříve existovala intenzivní lidská činnost. Příkladem mohou být stará opevnění hradů, tvrzí nebo historická důlní činnost.

Dříve se tímto tématem zabírali i Ing. Martina Faltýnová a Petr Vaverka, kteří (prohledávali) se zabývali průzkumem dat z LLS oblasti Střed a Západ. Výsledky průzkumu dat vedly k další obdobné práci v oblasti Východ, kterou jsme zpracovali společně s Jakubem Levínským, jenž pracoval na stejném tématu.



2 **Letecké laserové skenování (LLS)**

LLS je skenování zemského povrchu pomocí laserového paprsku lidarů se skenující jednotkou, která je umístěna na trupu letadla, vrtulníku popřípadě v dnešní době na speciálních RPAS (remotely piloted aircraft system - dálkově řízených leteckých prostředcích). Letecké laserové skenování je od devadesátých let minulého století jednou z důležitých metod v rámci vojenských, zeměměřických, archeologických a dalších aplikací. Postupy a metody LLS se díky rychlému technologickému vývoji od svého zrodu značně inovovaly a výsledky se významně zpřesnily, což učinilo LLS jednou z předních mapovacích metod. Tato technologie umožňuje hromadný neselektivní sběr podrobných bodů z terénu (tzv. mračno bodů) pro vytváření digitálního modelu reliéfu a povrchu; významné je především v zalesněných oblastech. Metoda LLS byla vyvinuta hlavně za účelem rychlého a automatizovaného mapování pro území, v kterých standardní měřické metody nepřinášejí očekávaný výsledek - například právě zmíněná zalesněná území.

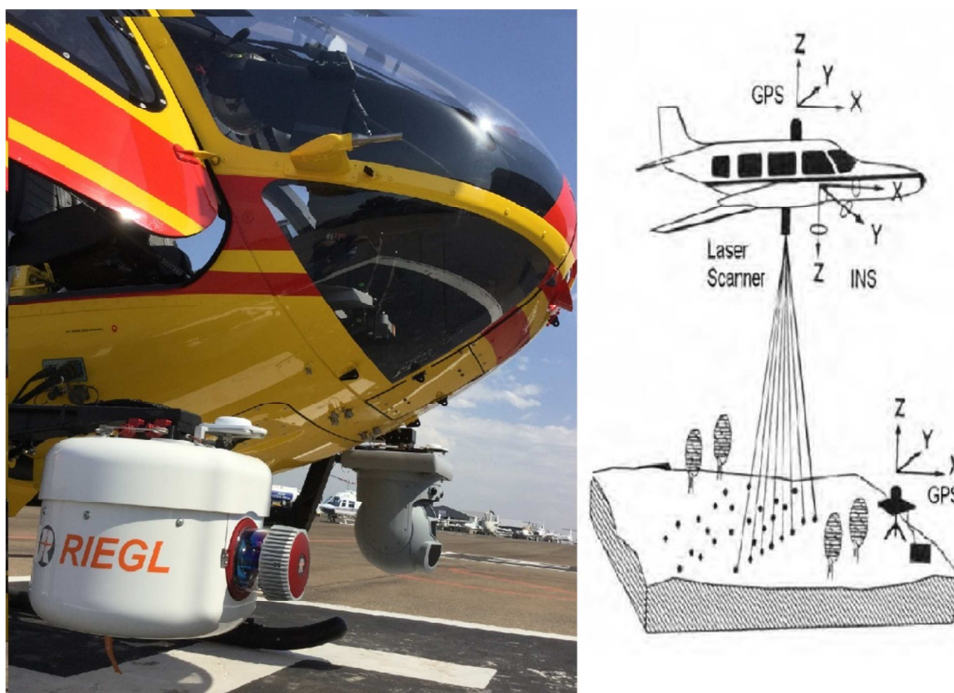
2.1 **LiDAR**

Termín lidar je užíván pro zařízení, využívající laserový paprsek pro měření vzdálenosti a vznikl jako zkratka anglického označení Light Detection and Ranging. Obecně však toto označení musíme chápat pro všechny obory jako metodu bezkontaktního měření vzdálenosti a směru na základě měření tranzitního času mezi dobou od vyslání a následného přijmutí laserového paprsku zpět po odrazu od snímaného objektu. [1]

2.2 Letecký laserový skener

Letecký laserový skener (z anglického Airborne Laser Scanner) nám přinesl možnost rychlého a přesného využití lidarů pro plošné měření. Jedná se o aktivní zařízení, které převádí časový rozdíl mezi vyslaným a přijatým impulzem do podoby měřené vzdálenosti na základě známé rychlosti světla. Pro uplatnění leteckého skenování k měření musí být známa poloha letadla v prostoru a čase. K tomu slouží další komponenty LLS. Jedná se družicový navigační systém GNSS včetně diferenciální metody měření určování absolutní prostorové polohy a inerciální jednotku (IMU) pro měření rotací a zrychlení. Vnitřní parametry soustavy musí být určeny velmi přesně, proto musí být jednotlivé komponenty soustavy kalibrovány.

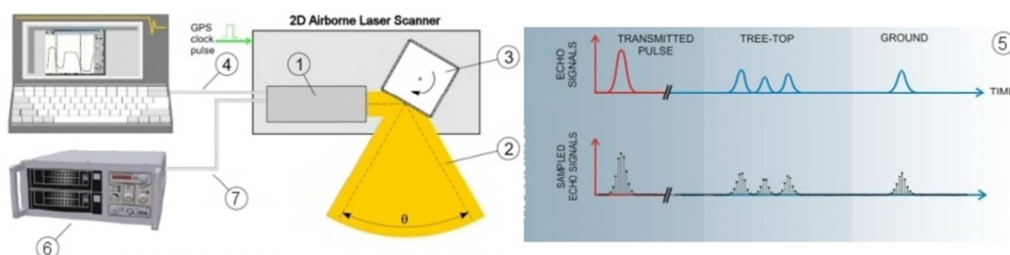
[1]



obr. 1: Vlevo – skener společnosti Riegl, vpravo – princip skenování (riegl.com)

2.2.1 Princip skenování

Soustava bývá nejčastěji umístěna na spodní části letadla či helikoptéry a využívá výkonných laserů. Vlnová délka vyslaného paprsku je zpravidla mezi 1100 – 1200 nm, jedná se tedy o infračerveného záření. Využívá se i možnosti přeladění paprsku na jiné vlnové délky v závislosti na odrazivosti cíle. Laserová stopa, kterou skener vytváří, je při letu ve výšce 500 m zhruba 30 cm. Jako detektor odraženého signálu se využívá světlocitlivých diod a velmi přesné hodiny udávají čas zaznamenání daného impulsu detektorem. Zaznamenaný směr a vzdálenost nám umožňují určit souřadnice každého bodu, od kterého se světelný svazek odrazil. Paprsek laseru dopadá často v rámci jednoho impulsu na více objektů najednou například vegetaci, budovy a terén. Detektor běžně zaznamenává až 5 odrazů. Část záření se tedy například odrazí od vegetace a zbytek se vrací až po dopadu na terén. K tomu, aby detektor rozeznal různé hodnoty signálu, musí mezi nimi být dostatečný útlum a zároveň časový odstup. Pro dnešní komerční přístroje je běžné zaznamenat až 5 odrazů. Tzv. full waveform letecké laserové skenery detekují tedy i časově proměnlivou intenzitu odraženého signálu, danou odrazem od více prostorových předmětů najednou. Rozlišení skenování se udává v hustotě skenovaných bodů na jeden metr čtvereční. Mezi faktory ovlivňující počet odrazů patří rychlost a výška letu nebo zvolená frekvence skeneru (rychlost měření). Běžný komerční letecký laserový skener při letové výšce 500 m, rychlosti přibližně 70 m/s a bodovou frekvencí 18 kHz, produkuje 1,6 bodu na m^2 . [1]



obr. 2: Schéma skeneru a model vyslané laserové vlny (riegl.com)



2.3 Letecká archeologie

Letecká archeologie patří k novým technologiím získu nových archeologických dat. Tato metoda nabízí možnost práce na rozsáhlých areálech a nejvíce přispívá k nalezení nových archeologicky významných lokalit a objektů. Pojem letecká archeologie sdružuje pod sebou letecké fotografování, průzkum a snímkování a také spojuje dva aspekty: průzkumný a dokumentační. Jako cíle můžeme označit plošný průzkum krajiny pro identifikaci nových objektů, dokumentaci krajiny, evidenci a analýzu získaných dat k ochraně kulturního dědictví.

2.3.1 Historie

První pokusy o fotografování z letadla pro archeologické účely proběhly v 90. letech 19. století a to pro římské Forum Romanum, zbytky Pompejí a v roce 1906 bylo vyfotografováno anglické Stonehenge. Dalším velkým milníkem byla 1. světová válka, která přinesla velký technologický vývoj, jak v oboru letectví, tak ve fotografování, a začalo se s rozsáhlejší dokumentací povrchu ze vzduchu. Hlavním průkopníkem letecké archeologie je Angličan Osbert Guy Stanhope Crawford (1886 – 1957). Tento geograf jako první dokázal spojit technologickou a archeologickou stránku a také popsal základy identifikace kulturních objektů na pořizovaných fotografiích. V Česku byly první letecky pořizené snímky pořizeny pro vojenské účely v meziválečných letech a hlavními představiteli byli Albín Stocký a Jaroslav Böhm. Rozvoji letecké archeologie u nás také napomohl německý překlad Crawfordových prací, ale další rozvoj byl bohužel silně zpomalen 2. světovou válkou a poté komunistickým režimem. [2]



2.3.2 Význam LLS a současné využití pro archeologické účely

V dnešní době se letecká archeologie opírá ve velké míře o výsledky a produkty z leteckého laserového skenování, které přinesly do této oblasti zásadní inovaci. LLS umožňuje badatelům dávných kultur získat nové informace a přináší tak možnost dalšího studia či nalezení zcela nových objevů. Technologie LLS předčila doposud používané metody letecké archeologie a to především díky možnostem jejího využití v zalesněných oblastech. V případě ČR je skoro 40% území pokryto hustými lesy, které brání použití standardních metod letecké archeologie, jelikož v dřívějších dobách nebylo pokrytí lesy tak velké (dřevo se používalo téměř na všechno); mnohé lesní areály dnes skrývají množství pro nás archeologicky zajímavých objektů. Ani tvorba digitálních modelů terénu v oblastech, pokrytých lesy, není zcela neomezená. Paprsky laseru nedokáží v mnoha případech úplně proniknout hustou vegetací až na terén a proto jsou obecně o mnoho lepší výsledky skenování v nevegetativních obdobích. Na vzniklých digitálních modelech a jejich různých odvozeninách se poté dají rozeznávat liniové prvky, zemní práce, příkopy, valy, cesty, kanály či důlní činnost s historickou minulostí. Metoda LLS je bezpochyby hlavní metodou v současnosti díky dosaženým výsledkům v oblasti průzkumu a dokumentace archeologických nálezů. Hlavními (jak tohle můžete napsat...) faktory jsou rychlost, kvalita a velikost zkoumaného území. Letecká archeologie má své kořeny ve Velké Británii, která je stále centrem rozvoje nových metod a LLS i dnes.

3 Využití LLS v Evropě

Samozřejmě nejenom na území České republiky se využívá těchto inovativních a v mnohém tak převratných metod leteckého laserového skenování k tvorbě digitálních modelů terénu. V této práci je se zabýváme využití LLS pro archeologické účely a proto si

v následující části představíme projekty, zaměřené právě na uplatnění obecně nedestruktivní archeologii ve světě.

3.1 Projekt Hill of Tara, Irsko

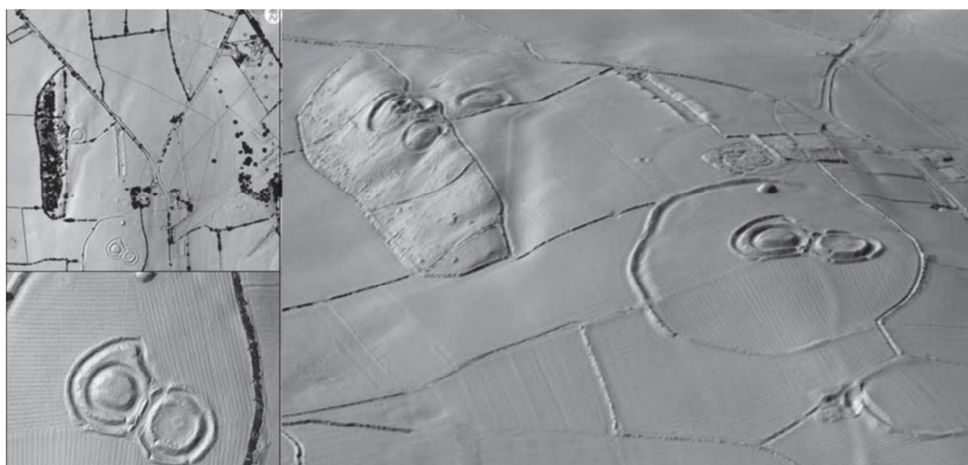
Hill of Tara je pro Irsko nejvýznamnější historická památka. Jedná se o vápencový hřeben v hrabství Meath. Na tomto místě údajně bylo sídlo legendárních Irských králů mezi 12. až 14. stoletím. Oblast byla v polovině devadesátých let zaměřena pozemními metodami a digitální model terénu z takto naměřených dat byl v té době přelomový. Přesto bylo na začátku nového tisíciletí rozhodnuto a provedení lidarového průzkumu (LLS) oblasti ve velkém rozlišení. Cílem skenování bylo vytvoření přesnějšího a podrobnějšího digitálního modelu povrchu a digitálního modelu terénu. Hlavním cílem nebylo však jen zdokumentování doposud známých objektů, ale také právě díky využití těchto nových technologií nalezení nových neznámých objektů. [3] [4]



obr. 3: Hill of Tara, Irsko (Knowth.com)

3.1.1 Realizace

Pro projekt skenování byla vybrána externí společnost, která na skenování použila lidarový systém FLI-MAP 400 nesený vrtulníkem, který obsahuje tři laserové skenery s různými úhly náklonu, dva přijímače RTK GNSS, inerciální jednotku IMU a digitální kameru. Naměřená data byla transformována do systému WGS84 a irského systému souřadnic. Celkový počet bodů byl okolo 150 milionů a pro zpracování byl objem dat rozdělen na menší části. Samotné modely byly vytvořeny v programu ESRI ArcGIS. Z DMP a DMR byly dále vytvořeny stínované modely na kterých je opravdu detailně vidět tvar terénu, čehož je využíváno právě pro samotný archeologický průzkum. [3]



obr. 4: Stínovaný reliéf Hill of Tara, Irsko v jednotlivých přiblíženích [3]

3.1.2 Výsledky

Projekt přinesl velmi kvalitní výsledek. Byly nalezeny nové objekty a nová data posloužila k lepší interpretaci již dříve nalezených archeologicky významných míst. Takto podrobný model terénu s vysokým rozlišením (vysokou hustotou skenovaných bodů) byl



vytvořen zcela pro archeologické účely a přinesl do této oblasti průzkumu nové možnosti vyhledávání nových objektů. Hlavním faktorem stále bohužel zůstává cena celých projektů, a proto jsou skenovány jen menší oblasti. [3]

4 Použitá technologie a sběr dat

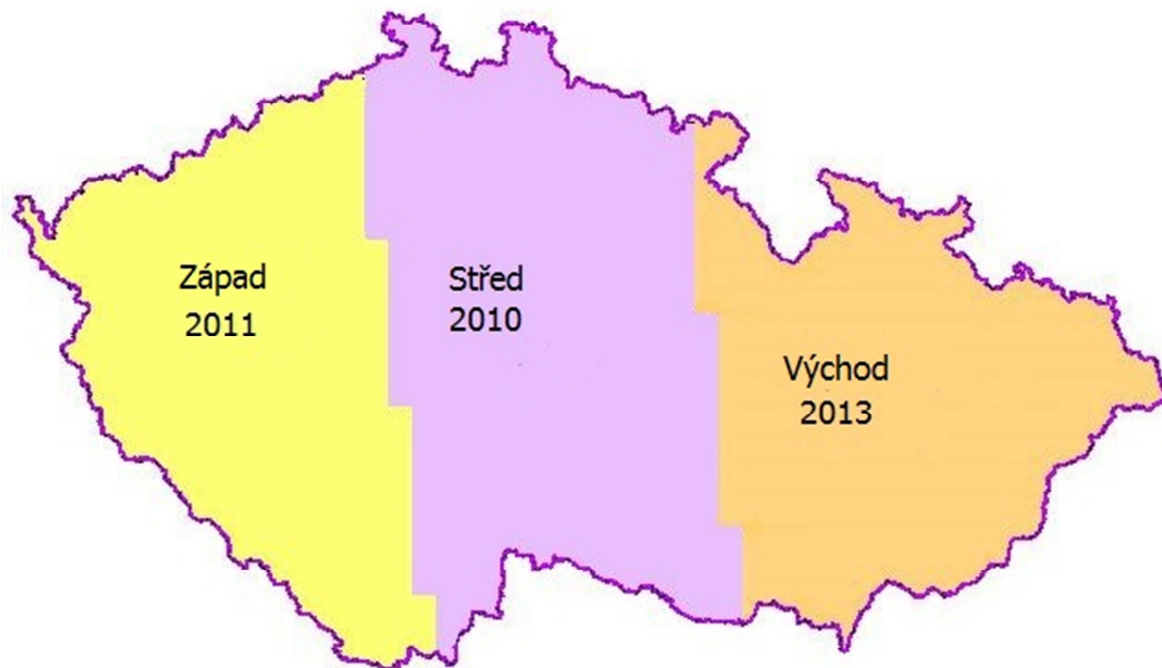
Když v roce 2008 bylo rozhodnuto o vytvoření nového výškopisu pro celé území České republiky; byla zvolena metoda leteckého laserového skenování hlavně z důvodu kvalitnějšího výstupu (kvalitnějšího výškopisu, než byl po několika revizích existující ZABAGED). Do tohoto projektu, známého pod názvem „Projekt tvorby nového výškopisu území České republiky“ jsou zapojeni současně Zeměměřický úřad (ČÚZK), Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad a 24. základna dopravního letectva Ministerstva obrany ČR a Ministerstvo zemědělství. Celý projekt byl naplánován pro roky 2009-2015 a byl rozdělen do jednotlivých etap. Sběr dat byl prováděn v letech 2009 až 2013. Poté následovalo a ještě dnes stále probíhá zpracování naměřených dat LLS a vznikají konečné výstupy (Digitální model reliéfu 4. generace, Digitální model reliéfu 5. generace a Digitální model povrchu 1. generace). [5]

4.1 Postup a způsob skenování

Jak již bylo zmíněno, území ČR bylo za účelem skenování rozděleno na 3 pásma (viz obr.5). Podobně se takto se postupuje i při periodickém snímkováním ČR pro fotogrammetrické měřické účely, probíhajícího již delší dobu. Před samotným zahájením skenování byly z důvodu kvality dat zvolena období, ve kterých přelety proběhnou, a to především v době pokud možno vegetačního klidu a zároveň stále ještě bez sněhového pokrývky. [5]

4.1.1 Plánování a pořízení dat

Česká republika byla tedy rozdělena na tři oblasti a to na pásmo Střed, Západ a Východ. Jednotlivé pásma a data z nich byla pořízena v těchto letech: pásmo Střed bylo skenováno v roce 2009-2010, v roce 2011 byla naskenována data pro pásmo Západ a po roční pauze, způsobenou generální opravou skenovacího letounu v roce 2013 i pásmo Východ. Projekt LLS v rámci tvorby výškopisu byl tedy dokončen v 2013. [5]



obr. 5: ČR – data a oblasti skenování [6]



4.1.2 Plánování letů

Každé ze tří pásem bylo rozděleno do bloků, na které bylo prováděno měření. Délka byla volena buď 20 či 30 km a šířka všech bloků zůstávala stejná, 10 km. Orientace bloků byla volena ve směru od východu na západ. To, jak se oblasti rozdělovaly do jednotlivých bloků, vycházelo z výškové členitosti reliéfu. Při dobrých letových podmínkách se postupovalo tak, že se dva bloky spojily do tzv. dvojbloků a tak vznikly bloky až o délce 60 km. Každý blok byl nalétáván dvakrát, poprvé v jarním období po odtání posledního sněhu až do konce dubna, a druhý ve vegetační období na začátku května. V obou po sobě jdoucích projektech byly použity rozdílné letové hladiny a frekvence laserů. Po dobu skenování ve vegetačním období bylo skenování prováděno z nižší letové hladiny a za snížené frekvence vysílaných impulzů (aby se zajistila lepší prostupnost laserových paprsků vegetací). V původním plánu se počítalo se dvěma příčnými letovými osami. Tyto dvě osy měly napomoci k lepšímu a přesnějšímu vyrovnání a georeferencování měřických pásů. Nakonec se k tomuto kroku nepřistoupilo, jelikož fungování palubní aparatury GNSS a inerciální měřické jednotky bylo bezchybné a tak z důvodů ušetření letového času a peněz byly příčné osy vypuštěny. [5] [6]

Parametr	Jarní období	Vegetační období
Výška letu	1400 m	1200 m
Celkový počet os	14	16
Překryv pásu	50%	50%
Frekvence laserových impulzů	120 kHz	140 kHz

tab. 1: Tabulka parametrů skenování [6]



4.1.3 Uskutečnění letů

Ke sběru dat byl použit fotogrammetrickým letounem L-410 FG. Tento armádní stroj má jako své domovské letiště v Praze Kbелích (LKKB). V průběhu skenování celé ČR byla pro další oblasti použita i jiná letiště, spravovaná Armádou ČR, a ve vzdálených částech země i menší civilní letiště. Nejvíce vzletů/přistání bylo uskutečněno z letišť LKKB, Plzeň Líně (LKLN), České Budějovice (LKCB), Karlovy Vary (LKKV), Pardubice (LKPD), Čáslav (LKCV), Náměšť nad Oslavou (LKNA) a Přerov (LKPO). Při vhodných podmínkách ke sběru dat byly prováděny až tři tříhodinové lety denně a naskenováno bylo okolo 1200 km² za jeden den. Jak bylo nalétávání časově náročné můžete posoudit z tab.2. [6]

Parametr	Hodnota
Naskenované území	78 836 km ²
Hodiny skenování	657 hod
Počet vzletů	333
Počet naskenovaných bodů	110 mld

tab. 2: Přehled uskutečněných letů [6]

4.2 Použitá technika pro sběr dat

Jak již bylo řečeno, ke sběru dat byl použit letoun L-410 FG a v této části si představíme další komponenty a techniku, která byla použita při skenování. Uvnitř letounu se nacházel nainstalovaný systém LiteMapper 6800. Tento systém obsahoval skener Riegl LMS Q-680, záznamové zařízení, palubní GNSS soustavu Nova Tel a inerciální měřickou jednotku (IMU).

4.2.1 Turbolet L – 410 FG

Let L-410 Turbolet je dopravní a transportní letoun, určený pro regionální dopravu. Jedná se o hornoplošný, samonosný jednoplošník a tyto stroje nám slouží již přes 45 let. Pro účely fotogrammetrických činností armády ČR byl vytvořena varianta FG a byla zalétávána v roce 1984. Právě v roce 2012 pak letoun prošel generální opravou, jak můžete vidět na obr.6. V 2010 byl zapůjčen Ministerstvem obrany a Armádou ČR k LLS. [6] [4]



obr. 6: Vlevo - L – 410 FG po opravě, vpravo - L – 410 FG před opravou

4.2.2 Systém LitteMapper 6800

Pro samotné skenování a sběr dat bylo využito systému LitteMapper 6800, který je výrobkem firmy IGI GmbH. LiteMapper je LiDARový systém pro letecké laserové skenování. Jeho schopnost analýzy křivky pro jednotlivé laserové paprsky nabízí možnost detailního pohledu do vertikální struktury povrchu pro koncové uživatele. Nabízí různé klasifikace výškových parametrů. Například, vertikální hustota při různých výškových úrovních, nebo sklon povrchu. LitteMapper 6800 poskytuje uživateli úplnou analýzu křivky odrazu pro neomezený počet cílových ozvěn. Vícenásobné zpracování umožňuje využití



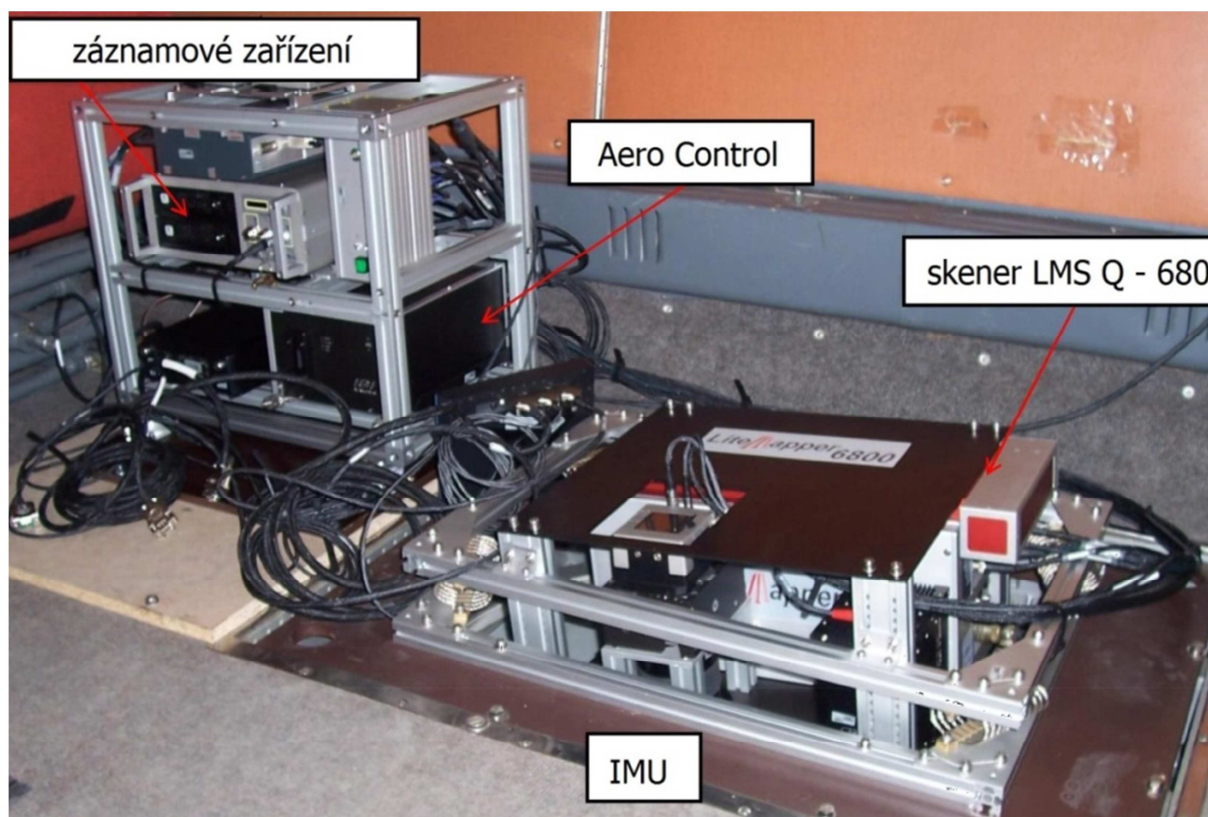
cílových odrazů, které byly detekovány mimo rozsah jednoznačnosti mezi dvěma po sobě následujícími laserovými impulsy. Mechanismus skenování je založen na rychle rotujícím se polygonovém zrcátku, které poskytuje zcela lineární, jednosměrné a paralelní skenovací linie. Tento laserový skener skenuje povrch v rovnoběžkách s pravidelnou roztečí bodů, a to jak ve směru letu tak i napříč směru letu letadla tak, aby poskytoval co nejpřesnější reprezentaci povrchu. Rychlost skenování se může v daném rozmezí měnit, aby bylo dosaženo potřebné hustoty naskenovaných bodů. Celý systém je odolný vůči změnám teploty a zrychlení, které se obvykle vyskytují za dobu letových hodin. Data s LiDARu jsou okamžitě georeferencována prostřednictvím systémů GNSSa IMU (Inertial Measurement Unit), který nepřetržitě registruje polohu, směr a zrychlení za letu. [7]

4.2.3 Skener Riegl LMS Q - 680

Tento skener je součástí soustavy LitteMapper 6800 a je to skener s dlouhým dosahem. Využívá silného laserového zdroje, vícenásobného zpracování a analýzy digitální plné křivky. Kombinace těchto součástí umožňuje provoz při různých letových hladinách a je proto ideální pro komplexní letecký průzkum terénu. RIEGL LMS-Q680 umožňuje přístup k podrobným cílovým parametrům digitalizováním signálu ozvěny online během získávání dat a následné analýzy křivky offline. Tato metoda je zvláště cenná při zpracování obtížných úkolů. Tento skener má mnoho využití jako je topografie, modelování měst, zemědělství, mapování ledovců a obecně v mapování povrchu. [8]

4.2.4 AEROControl

AEROControl je inerciální měřická jednotka (IMU), GNSS od firmy Igi je určeno pro přesné určování polohy palubního snímače; pro tyto účely jsou měřeny úhly náklonu leteckého laserového skeneru a poloha z GNSS. Systém se skládá z inerciální měřické jednotky, který využívá gyroskopů a optických vláken a řídicí jednotky s integrovaným vysoce výkonným GNSS přijímačem. [7]



obr. 7: Systém LITteMapper 6800



5 Zpracování dat a výsledné produkty

Po uskutečnění sběru surových nezpracovaných dat ze skeneru musí proběhnout následné zpracování za využití jednotlivých speciálních softwarových nástrojů. Z takto připravených podkladů následně vznikají produkty jako námi pro tuto práci používaný „Digitální model reliéfu čtvrté generace“ a nebo „Digitální model reliéfu páté generace“.

5.1 Zpracování dat

Surová data z LLS byla zaznamenávána ve formátu .las ve verzi 1.1. Tento formát je celosvětově uznávaný normalizovaný formát souborů pro výměnu 3D dat a mračen bodů a byl definován americkou společností American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Tato data v sobě nesou hlavně souřadnice odraženého bodu, intenzitu odrazu signálu. V dnešní době se již používá novější verze a to verze 1.4, která byla vyvinuta v roce 2011. S takto uloženými daty se poté pracuje za pomoci počítačových programů a dochází k předzpracování (preprocessing), poté následuje robustní filtrace a dále manuální editace v jednotlivých programech, kde vznikají konečné produkty. [9]

5.1.1 Předzpracování dat

Cílem procesu předzpracování dat je analýza dat leteckého laserového skenování, georeferencování všech zachycených odrazů laseru a transformace do zvoleného souřadnicového a výškového referenčního systému. V našem případě UTM/WGS84-G873 a Balt po vyrovnání (Bpv). K těmto úkonům slouží také data z dříve popsané palubní GNSS soustavy a IMU. Pro co nejpřesnější určení souřadnic letadla během letu byla užita



technologie D-GNSS pomocí dat ze Sítě permanentních stanic GNSS České republiky (CZEPOS). Výsledkem takto zpracovaných dat jsou mračna výškových bodů georeferencovaná v souřadnicovém referenčním systému UTM (Universal Transversal Mercator) na elipsoidu GRS 80 (ETRS 89) a v systému elipsoidických výšek vztaženému k elipsoidu GRS 80. Jak je vidět, muselo tedy dojít ještě k transformaci výškových dat do výškového systému Bpv. Pro velikost a obsáhlost tohoto projektu byly naprogramovány algoritmy do aplikace LASER SUPPORT 2010, která slouží právě pro snadnější a rychlejší předzpracování dat. [9]

5.1.2 Robustní filtrace

V tomto kroku zpracování dochází pomocí automatických postupů k filtraci, kategorizaci a úpravě mračen bodů. Pro všechny tyto úkony byl použit software SCOP++ dříve používaný k interpolaci „řidších“ dat. Algoritmus robustní filtrace byl vyvinut na Technische Universität Wien a jedná se o iterační postup filtrace dat, kdy je postupně tvorba DMR co nejméně ovlivněna body mimo terén. Tato metoda postupně rozdělí body do jednotlivých skupin a to na body terénu, vegetaci, budovy a chybná měření. Přesněji dochází postupně k těmto krokům. Odstranění bodů budov, zředění mračna bodů, filtraci, interpolací, rozřídění bodů, vyplnění prázdných míst a klasifikaci. Tím je myšleno rozřídění bodů do více tříd. Úspěšnost této metody je dána z velké míry již dobou pořizování dat leteckého laserového skenování, jelikož vzrostlá vegetace velice snižuje možnost automatické filtrace a je nutná manuální korektura. Pro nevegetační období však dosahuje hodnoty až 90 % úspěšnosti. [9]



5.1.3 Manuální editace

Po automatické robustní filtraci musí přijít další kontrola a editace pořízených dat, jelikož rozdělení bodů do skupin není v mnoha případech přesné. Nejproblematictější místa jsou skalnaté a zalesněné oblasti a místa s hustou městskou zástavbou. Problémem jsou také místa s obilovinami a jinou zemědělskou výsadbou. Po vyhodnocení v programu DT Master dochází k přeřazování bodů do příslušných kategorií a konečného rozdělení na body odrazu povrchu a na body objektů nad zemským povrchem. Manuální editaci provádí zeměměřický odbor Pardubice a VGHMÚř v Dobrušce, přičemž je to časově velice náročná práce. [9]

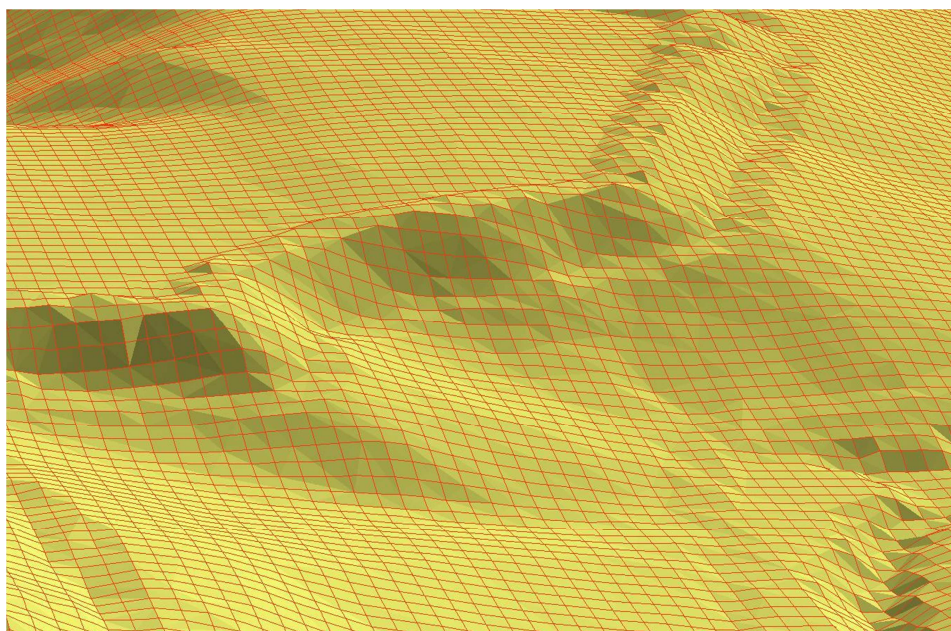
5.2 Výsledné produkty

Z připravených dat se dále vytvářejí jednotlivé produkty leteckého laserového skenování v případě ČR jsou to již zmíněné DMR 4G, DMR 5G a DMP 1G. V následující části si krátce představíme, jak tyto produkty a vznikají a v jakém stádiu jejich vytváření je.

5.2.1 Digitální model reliéfu – DMR 4G

K vytvoření „Digitálního modelu reliéfu 4. generace“ se zájmové území rozdělí čtvercovou sítí o rozměrech 5x5 metrů. V každém jednotlivém čtverci je pak zvolen tzv. uzlový bod, který má nejnižší nadmořskou výšku, přičemž se kontrolu výskyt zbloudilých bodů (bod značně odlišnou nadmořskou výškou v daném čtverci). Takto vzniklé nerovnoměrně umístěné uzlové body jsou manuálně kontrolovány pro odstranění hrubých chyb. Následně se body po transformaci do S-JTSK interpolují do další pravidelné čtvercové

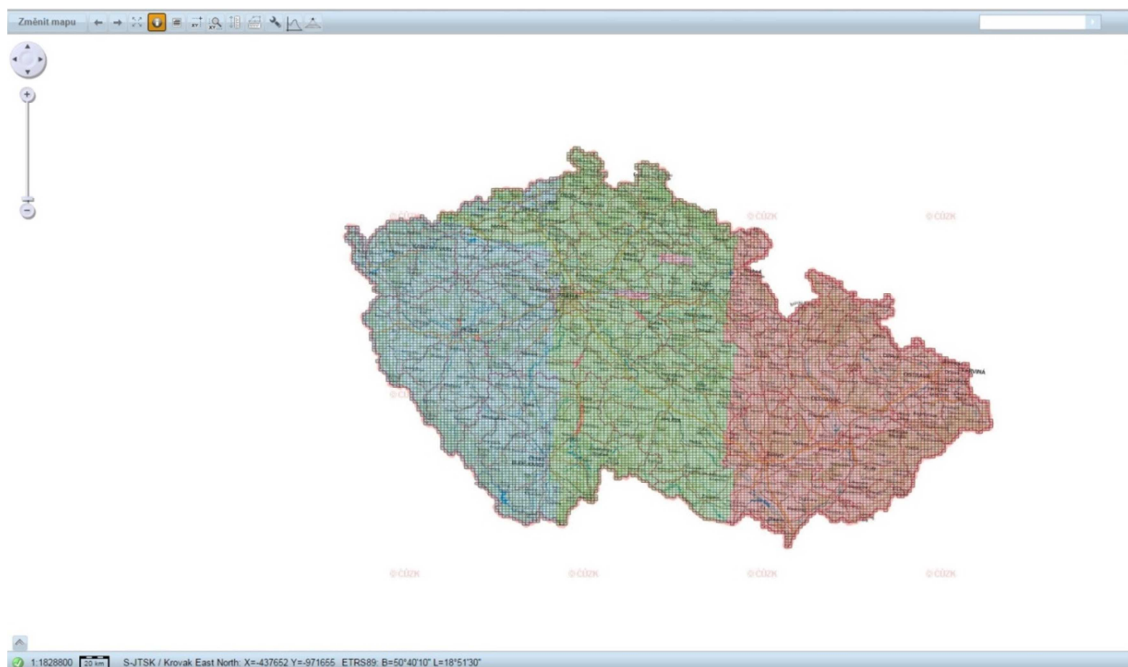
sítě stejného rozměru 5x5 a tím vzniká finální DMR 4G. Rozložení uzlových bodů a překryv čtvercovou sítí je ilustrativně ukázán na obr. 8.



obr. 8: Model DMR 4G [6]

DMR 4G reprezentuje terénní reliéf, ale vzhledem k nutné generalizaci modelu se často stává, že nedokáže vystihnout lokální členitost, jako například různé hrany náspů, výkopů a terénních objekty, jako haldy a valy o velikosti do 5 metrů. Při použití této metody tvorby může v místech velkých terénních zlomů docházet až k několikametrovým chybám ve výpočtu výšky generalizovaného reliéfu. Tento model byl použit pro naši práci i přesto, že není tak přesný, můžeme na něm nalézt větší objekty a terénní změny poměrně snadno, jak bude popsáno dále. [6]

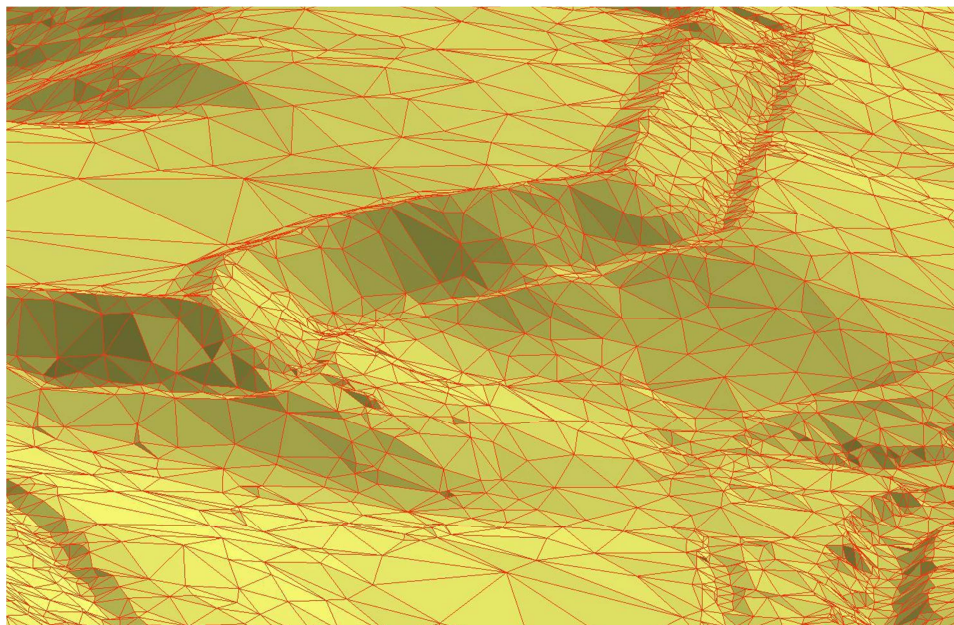
DMR 4G je již pro celou republiku zcela dokončen viz obr. 9.



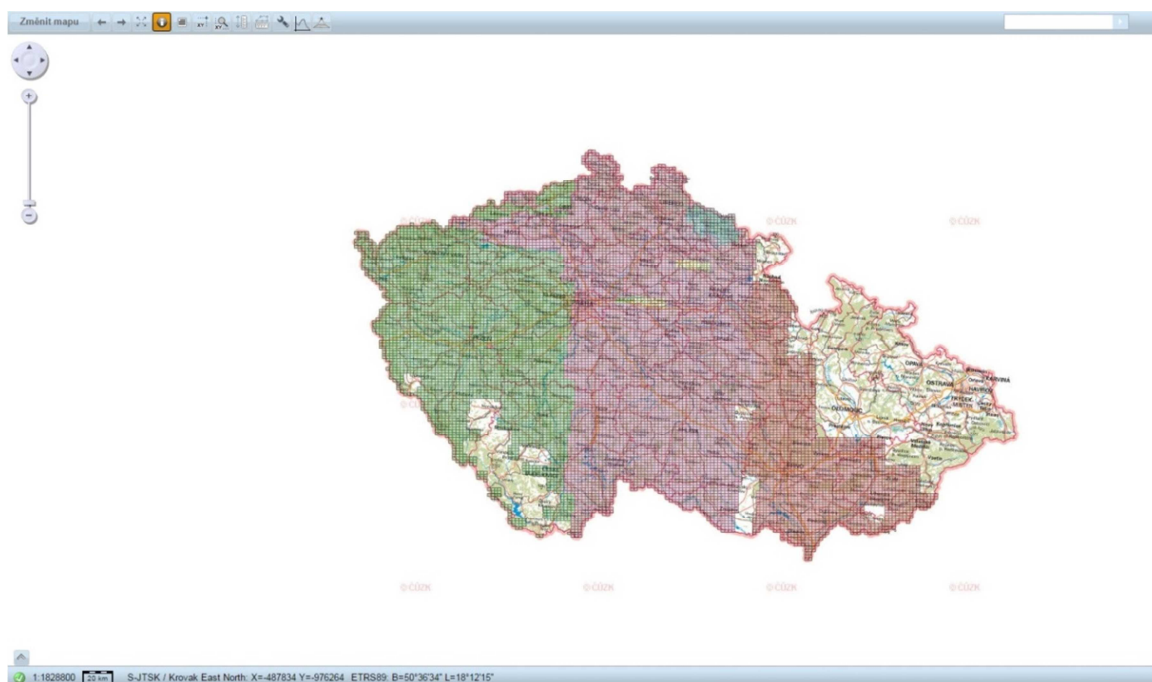
obr. 9: Pokrytí ČR DMR 4G k datu 28. 4. 2016 (geoportal.czuk.cz)

5.2.2 Digitální model reliéfu – DMR 5G

Digitální model reliéfu 5. generace je vytvářen manuální editací. Odvození probíhá ve třech krocích. V prvním kroku vyhlazování je stejně jako pro DMR 4G vybrán nejnižší bod v pravidelné mříži tentokrát však o velikosti 1x1 metrů. V dalším kroku dochází k odstranění nežádoucích dočasných terénních anomálií jako jsou ornice atd.. Po odstranění krátkodobých terénních změn je reliéf zcela vyhlazen a výsledkem jsou původní body s upravenou výškou. V posledním kroku je původní mračno bodů zředěno tak, aby byly dodrženy stanovené střední výškové chyby. Pro tyto úkony je používán program ATLAS DMT. Takto vzniklou síť můžete vidět na obr. 10.[6]



obr. 10: Model DMR 5G [6]

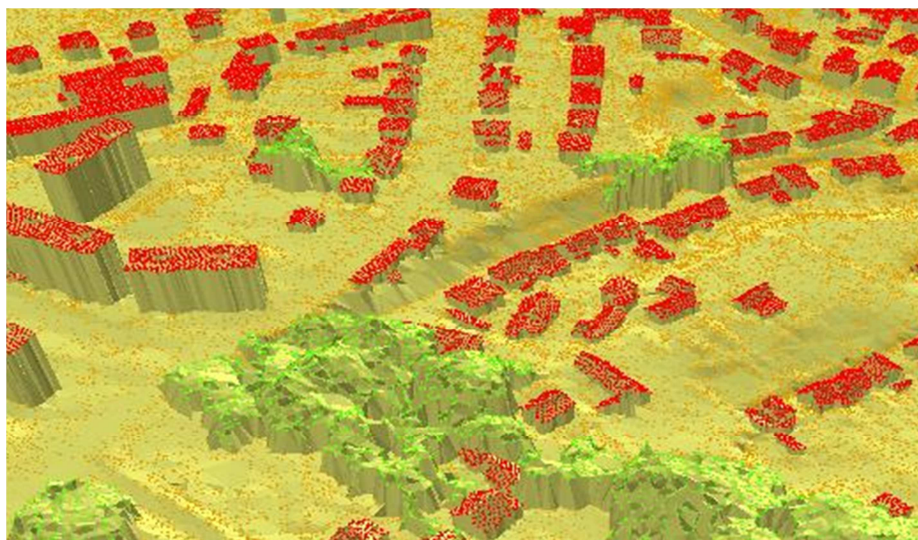


obr. 11: Pokrytí ČR DMR 5G k datu 28. 4. 2016 (geoportal.czuk.cz)

Na obr. 11 můžete vidět stupeň dokončení DMR 5G k datu 28. 4. 2016. Je patrné, že je dokončeno více jak 75% rozlohy ČR a to hlavně v dříve skenovaných oblastech Střed a Západ. Pro oblast Východ je zatím dostupná zhruba půlka modelu tohoto území.

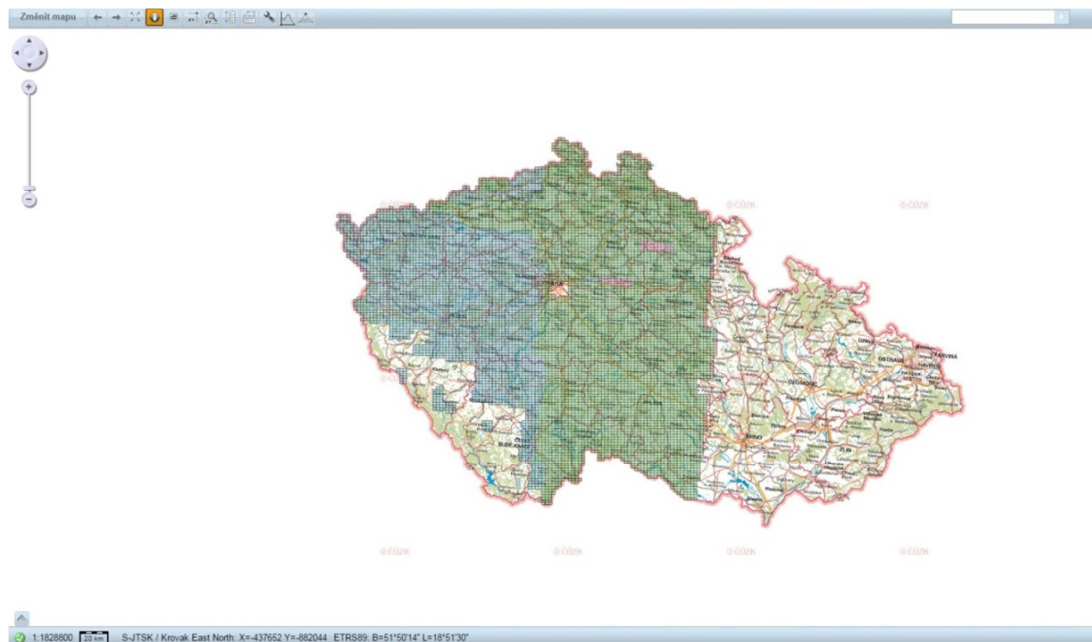
5.2.3 Digitální model reliéfu – DMP 1G

Digitální model povrchu 1. generace je vytvořen zcela automaticky a jde o DMR 5G doplněný o objekty nad zemským povrchem. V zastavěných oblastech se přidávají body budov, které se shodují svojí polohou s katastrem nemovitostí. Do modelu se vkládá také vegetace, jejíž velikost je větší jak 25 m². Budovy, vegetace a povrch mají v modelu odlišnou barvu jak je vidět na obr. 12. [6]



obr. 12: Model DMP 1G [6]

Na obr. 13 můžete vidět stupeň dokončení DMP 1G k datu 28. 4. 2016. Jedná se hlavně tedy o oblast skenování Střed a Západ. Zpracování oblasti Východ teprve začíná.



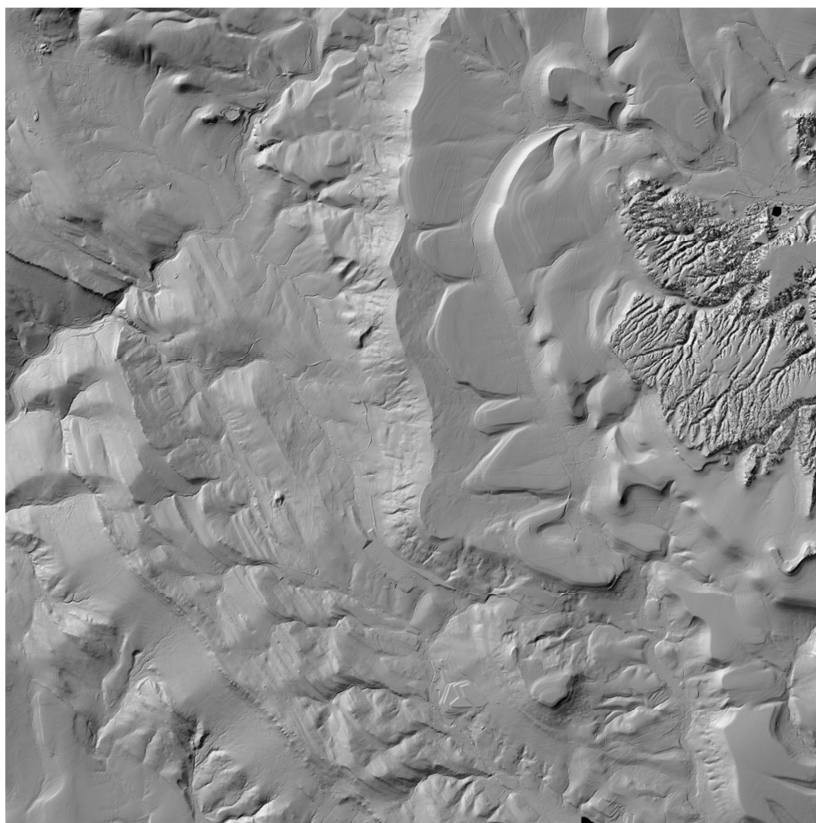
obr. 13: Pokrytí ČR DMP 1G k datu 28. 4. 2016 (geoportal.czug.cz)

6 Práce v GIS a vyhodnocení dat

Výzkumná část této bakalářské práce se zabývá archeologickým průzkumem poskytnutých dat oblasti Východ. Jedná se o detailní vyhledávání v GIS v datech digitálního modelu reliéfu 4. generace poskytnuté ČÚZK a následné zařazení objevů do zvolených kategorií. Tato část prohledávání dat byla prováděna ve spolupráci s panem Jakubem Levínským, který obdržel druhou část dat oblasti Východ a prováděl obdobnou činnost pro svojí bakalářskou práci na stejné téma.

6.1 Data

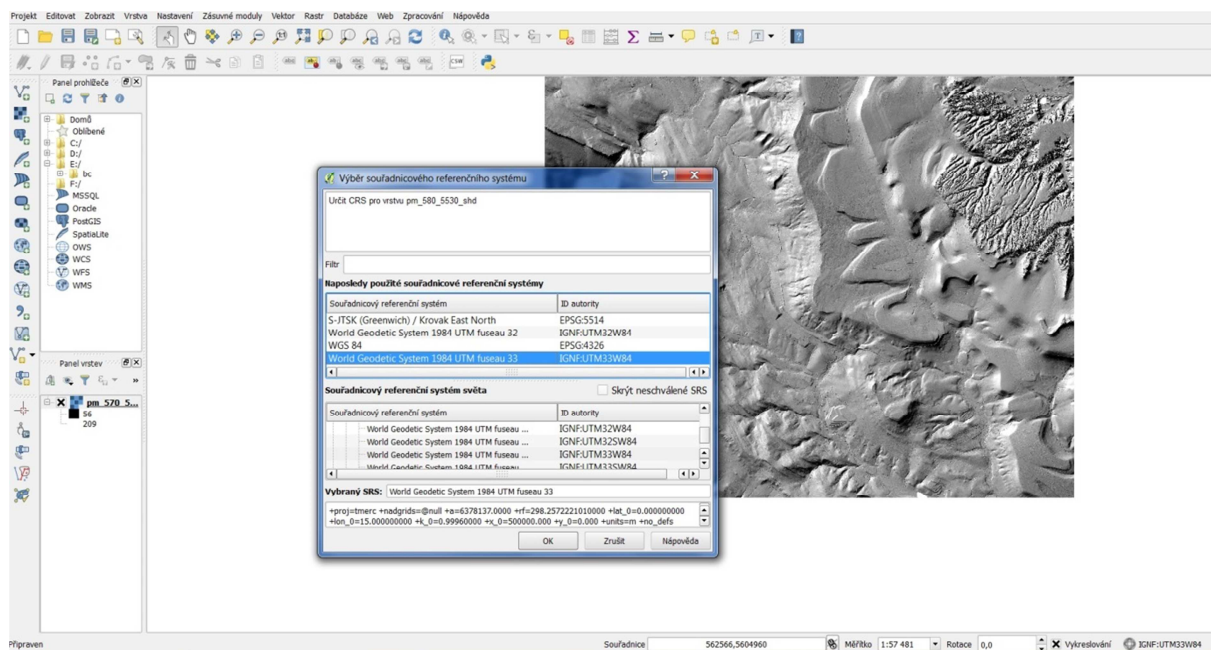
K dispozici pro samotnou práci jsme dostali data stínovaného reliéfu, vytvořeného z DMR 4G a to ve formátu TIF, což je kvalitní rastrový obrázek s rozlišením 10000x10000. Data jsou pojmenována ve tvaru pm_620_5390_shd. Pm v názvu znamená post manual (po manuální kontrole) dále pak jsou to souřadnice levého dolního rohu jednotlivé dlaždice souvislých dat v souřadnicovém systému WGS84 UTM 33N a nakonec shd jako shaded (stínovaný). Pro ilustraci na obr.14 můžeme vidět, jak vypadají data v obyčejném obrázkovém prohlížeči.



obr. 14: Příklad zapůjčených dat

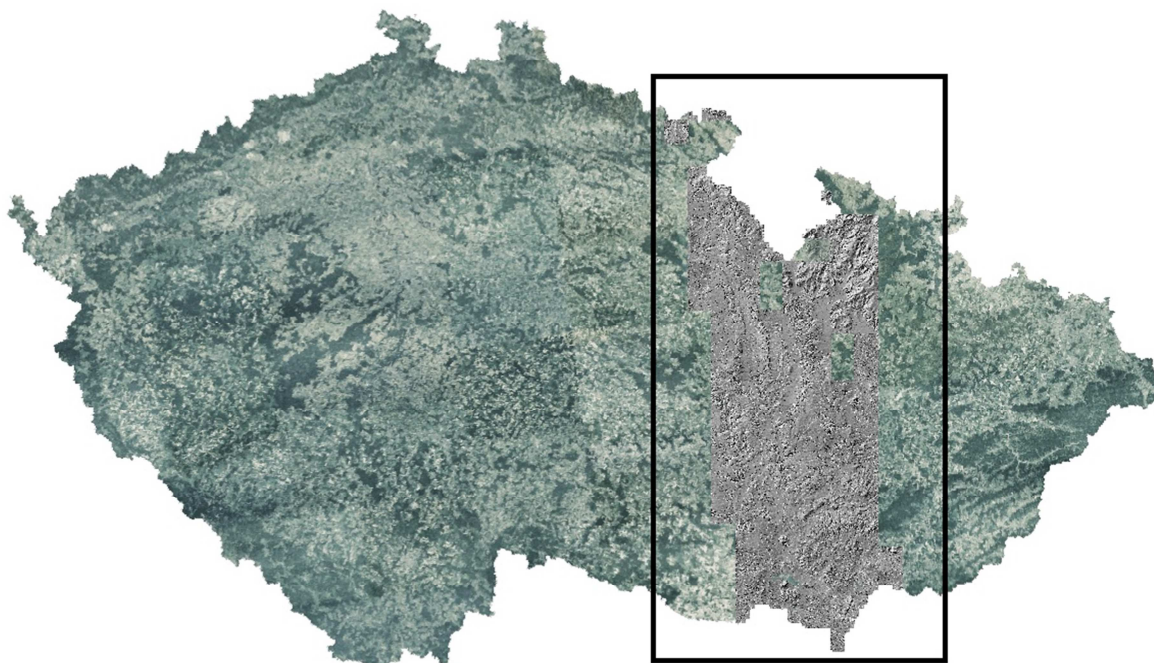
6.2 GIS – QGIS

Pro práci s daty byl v mém případě používán freeware open-source software QGIS ve verzi 2.14.1.. Jakub pro svojí práci použil software ESRI ArcMAP, poskytován fakultou stavební zdarma. V první řadě byl vytvořen projekt a do něj připojeny všechny rastrová data pomocí nástroje přidat rastrovou vrstvu a nastaven souřadnicový referenční systém WGS84 UTM 33 N.



obr. 15: Nahrání dat do softwaru QGIS

Jelikož jsou poskytnutá data značně rozsáhlá, tak pro rychlejší práci byly data nahrávána postupně. K identifikaci nalezených objektů bylo použito ortofoto ČR, které bylo připojeno pomocí služby WMS ze serveru ČÚZK přímo do programu QGIS. Pro usnadnění práce bylo využito možnosti současného použití dvou monitorů najednou, přičemž na jednom byla zobrazeno pouze ortofoto a na druhém stínovaný reliéf. Na obr. 16 můžeme vidět zájmovou oblast s překryvem použitých dat stínovaného reliéfu. Po takto provedené přípravě dat bylo přistoupeno k samotnému vyhledávání zájmových objektů.



obr. 16: Pokrytí částí ČR zapůjčenými daty DMR 4G

6.3 Vyhledávání zájmových objektů

Procházení jednotlivých dlaždic dat probíhalo postupně podle názvu, zčehož vyplývá, že se postupovalo ve sloupcích o šířce 10 km směrem dolů a po skončení sloupce se přešlo o jeden sloupec na východ a opakoval se předchozí postup. K vyhledání a určení jednotlivých archeologických objektů musel být stínovaný reliéf značně přiblížen v krajním možném případě až na nejvyšší rozlišovací schopnost, tedy až na měřítko pod 1:5000. Každá dlaždice se tak znovu rozdělila na tři další sloupce tak, aby se v tomto přiblížení prošla celá oblast. Pro určení, zda se jedná o objekt antropogenního původu, či patřícího do našich zájmových skupin objektů, bylo využito terenních prvků, které můžeme vidět na stínovaném reliéfu. Těmto indikátorům se více věnuje Jakub Levínský ve své práci.



6.4 Identifikace a následná klasifikace

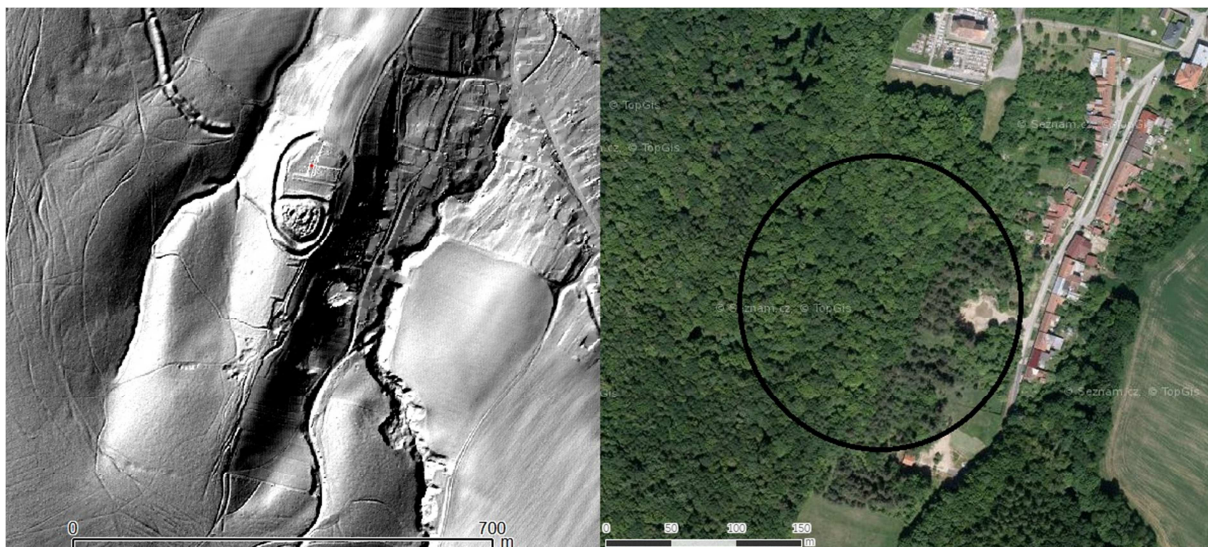
Po nalezení potenciálních objektů byla následně využito ortofoto ČR pro prvotní identifikaci. Velmi často se však stává, že na ortofotu nelze díky vzrostlé vegetaci vůbec nic rozeznat, proto následovalo využití turistických map na serveru mapy.cz, kde je v mnoha případech na určeném místě zmínka o historickém objektu, či se dá za pomoci místních popisných názvů vydedukovat o jaký objekt se jedná. U dalších objevů se dá využít také jiných zdrojů informací, jako například serveru hrady.cz, historických nebo vojenských map. Po identifikaci přichází na řadu klasifikace objektů do jednotlivých skupin. Ke správnému začlenění objektů slouží buď již zmíněné zdroje a terénní indikátory popsané v následující kapitole pro každou skupinu.

7 Rozdělení a příklady nalezených archeologických objektů

Každý nalezený objekt byl zařazen do příslušné skupiny v případě nedostatečných informací k identifikaci byl objekt zájmu zařazen do skupiny neidentifikovaných. Všechny historické objekty jsou uvedeny v tabulkách, které jsou přiloženy v přílohách. Souhrn všech nalezených objektů je pak uveden v jedné obsáhlé tabulce spolu s identifikačním číslem na příložením DVD. Identifikační číslo slouží především ke spojení daného objektu spolu s příloženým obrázkem každého nalezeného objektu na kterém můžeme vidět objekt na zapůjčených datech a pro názornou ukázkou také na ortofotu ze serveru mapy.cz. V přílohách bakalářské práce jsou uvedeny dílčí tabulky pro jednotlivé kategorie nalezených objektů.

7.1 Hrady

Středověké masivní stavby vymezené oproti okolí jejich opevněním. Tyto opevnění byly tvořeny vnějším opevněním, které se skládá ze systému příkopů, sypaných valových těles a kamenných hradeb. Hrady často kolem sebe neměly vesnickou zástavbu a veškeré obyvatelstvo žilo uvnitř opevnění. [2]

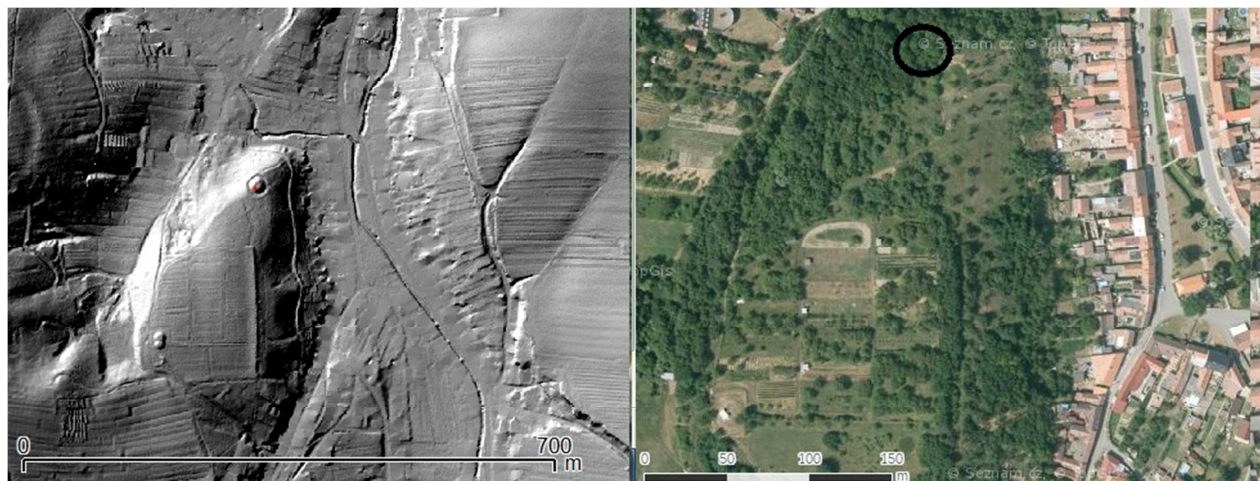


obr. 17: Příklad: hrad Orlov

Hrad Orlov byl postaven na přelomu 13. a 14. století johanity a sloužil jim jako jediný hrad na Moravě. Datum zániku není ani po archeologických průzkumech známo. Jak je vidět na obr. 17. reliéfní zbytky jsou velmi dobře patrné na datech DMR.

7.2 Tvrze

Tvrze poznáme podle zbytků opevnění tvořeného obvodovým příkopem a valem. Val v tomto případě neohraničuje přespříliš velký prostor. Z vykopaných okolních obraných příkopů se zemina přesunula do středu tak, aby vznikl vyvýšený prostor, na kterém poté vyrostla samotná tvrz. Nejčastěji celý objekt byl kruhového nebo oválného tvaru přičemž samotná stavba byla situována na střed a měla věžovitý tvar. [2]



obr. 18: Příklad: tvrz Sobůlky

Zapádně od obce Sobůlky na místě zvaném Vala jsou zachovány terénní pozůstatky středověké tvrze a v jeho okolí jsou také patrné valy prehistorického hradiště.

7.3 Hradiště

V dnešní době rozeznáváme z hradišť hlavně násypy, tedy valy konvexního tvaru a onkávni příkopy, nebo popřípadě oba útvary současně. To, jak bylo opevnění vybudováno, záleželo hlavně na terénní situaci. V případech opevnění na vrcholcích kopců bylo zbudováno po celém obvodu, popřípadě bylo využito terénu a opevnění se vystavělo jen na přístupových bodech. Opevnění mohlo být jednoduché či vícenásobné. V době laténských oppid se využívalo složitých opevňovacích soustav. [2]

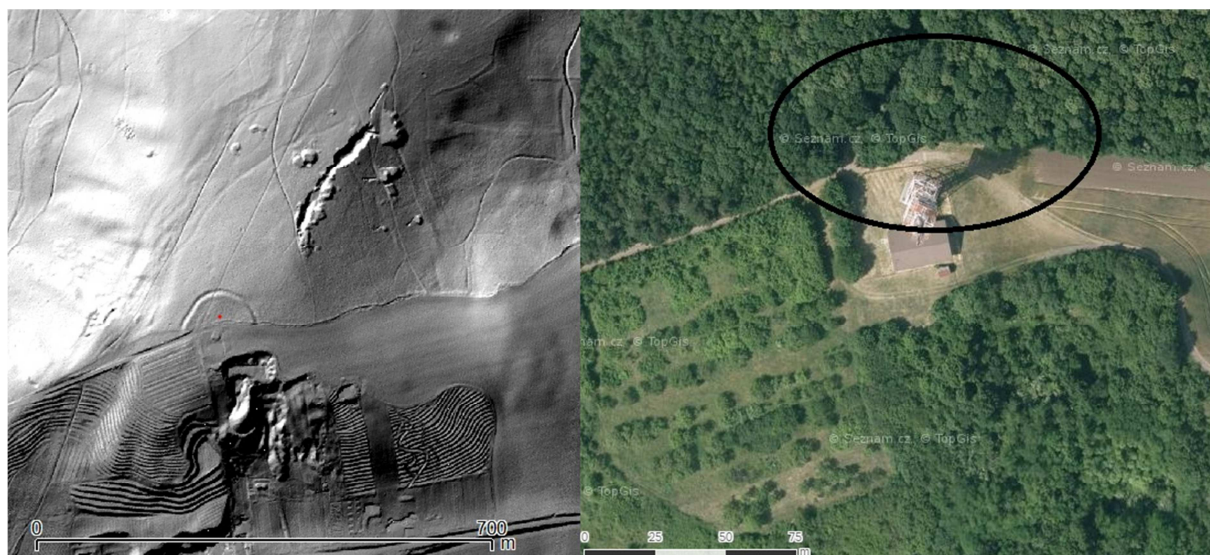


obr. 19: Příklad: hradiště Vildenberk

Hradiště Vildenberk vzniklo počátkem 14. století jako středisko panství Vildenberků v krajině blízko Brna. Podle rozsáhlosti objektu lze ususovat na značně významnou stavbu. Hrad byl rozdělen na tři části a obehnan mocnými zdmi. Hrad zanikl za válek mezi markraby Joštem a Prokopem na začátku 15. století.

7.4 Mohylníky

Jedná se o antropogenní terénní útvar. Lze ho rozeznat jako vyvýšený pahorek. Mohylníky byly v nejčastějších případech vytvořeny k pohřebním účelům a tak pod nimi nebo přímo v nich můžeme objevit pozůstatky lidských těl nebo pohřebních předmětů. Zpravidla bývají mohylníky kruhového tvaru, mohou však být i oválné či protáhlé. Velikost mohyl se v našem prostředí pohybuje v průměru od několika až do 20 metrů, výška pak od půl metru až do 2 metrů. [2]

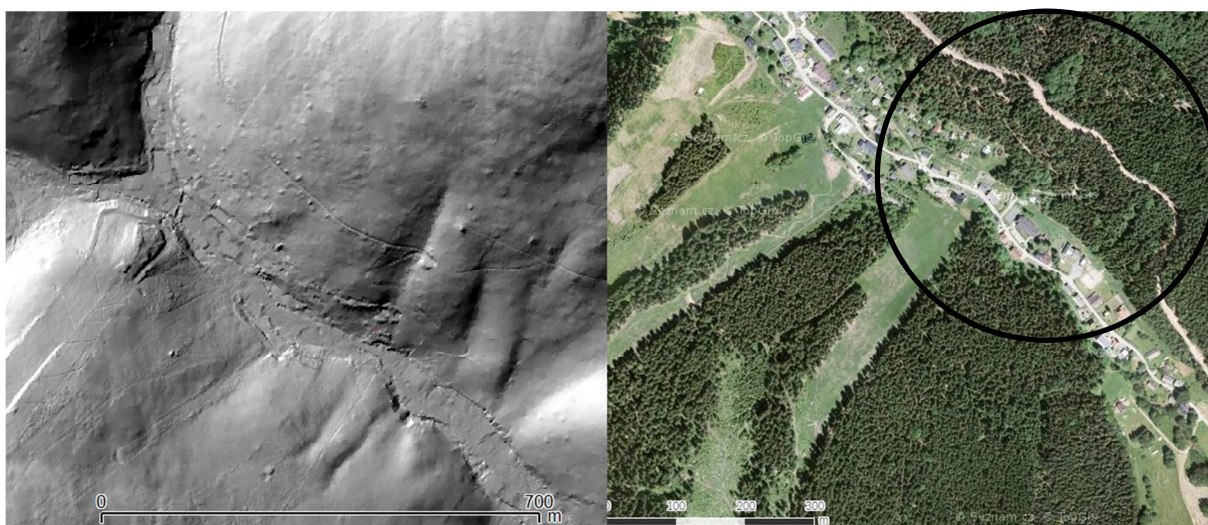


obr. 20: Příklad: Stražkovický mohylník s valem

Nedaleko Kyjova se nachází největší Velkomoravský mohylník. Stražkovický mohylník se rozkládá na 10 hektarovém uzemí a obsahuje i opeňovací valy dřívějších obyvatelů. V roce 1928 provedl na tomto místě poprvé archeologický průzkum pan Červinka.

7.5 Důlní činnost

Důlní činnost nejčastěji rozeznáváme ve formě zjišťovacích a ověřovacích rýh či menších jam, z kterých člověk dříve zkoumal potenciál daného území k těžbě. [2]



obr. 21: Příklad: tuhové doly Petřín

V okolí obce Petřín na Jesenicku se nachází tuhové ložisko Barbora. Ložisko bylo těženo 18. stoletím, největší rozvoj těžby nastal kolem roku 1830 a těžilo se až do 2. poloviny minulého století.

7.6 vojenské objekty

U vojenských objektů se jedná hlavně o jednotlivé vojenské objekty, jako jsou valy, příkopy nebo souvislé vojenské opevnění chránící dřívější obyvatelstvo. Tyto opevnění se dají rozdělit do skupin a to na přímé linie s redutami a lunetami nebo na oválné půlreduty, hvězdicovité reduty a bastiony. [2]

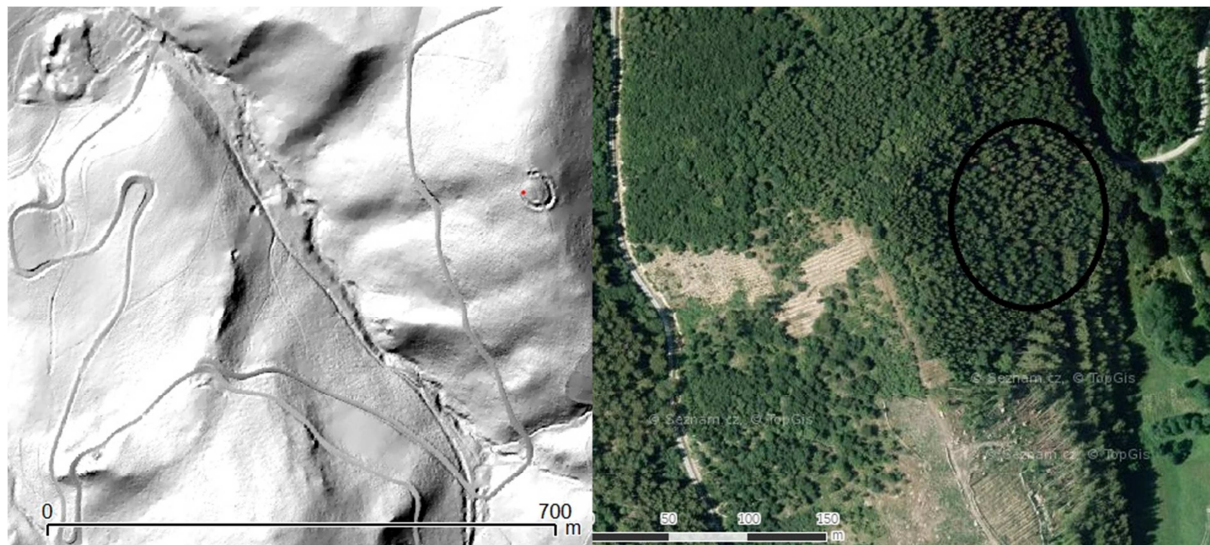


obr.22: Příklad: římská opevnění

Římské vojenské opevnění v lokalitě Mušlov (dnes Pasohlávky). Tato pevnost sloužila jako předsunutá základna a byla postavena mezi léty 172-180 n.l. Je jednou z větších a nejznámějších římských památek u nás. Pro zajímavost uvnitř pevnosti byla druhou největší budovou nemocnice. Pevnost patřila pod vedení římských Vídeňských legiím

7.7 Neidentifikované objekty

V případech, kdy nalezený objekt nespadá nebo se nepodaří nalézt dostatek informací k jeho správnému zařazení do žádné z předchozích kategorií, je objekt zařazen právě do této kategorie neidentifikovaných objektů. Ačkoliv se může zdát, že nezařazení objektů v průběhu práce je ve výsledku procesu identifikace nežádoucí, je tomu právě naopak. Letecké laserové skenování díky své inovativní technologii nám obrovskou měrou napomáhá k objevům nových stále ještě nenalezených archeologických objektů antropogenního původu. Tyto nově nalezené neidentifikované objekty mohou být dále zkoumány archeology a poté jimi identifikovány.



obr. 23: Příklad: zřejmě pozůstatek tvrze u Boskovic



8 Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo poukázat na možnosti využití nové inovativní technologie LLS v oblasti nedestruktivní archeologie. Na poskytnutých datech byl proveden rozsáhlý průzkum za účelem dokumentace a kategorizace. Data byla pořízena v rámci projektu tvorby nového výškopisu území České republiky a pro tuto práci byla poskytnuta zpracovaná data oblasti Východ. Tato část byla dále rozdělena na poloviny (společná data spolu s Jakubem Levínským). V této práci se jednalo o datavymezená z východu přibližně městy Jeseník a Olomouc a od západu městy Česká Třebová a Moravský Krumlov. Zapůjčená data byly ve formátu TIF a jednalo se o stínovaný reliéf vytvořený z digitálního modelu reliéfu 4. generace.

Zásadní faktor takto vytvořeného reliéfu je odfiltrování bodů leteckého laserového skenování odražených od vzrostlé vegetace. Takto korektně vytvořený digitální model nám dává jedinečnou možnost nahlédnutí pod koruny stromů a možnost nalezení dávno v lese ztracených archeologických památek.

Jedním ze zásadních a limitujících faktorů bylo při prozkoumání daných dat jejich poskytnuté rozlišení. Přestože byla data skenována v poměrně vysokém rozlišení (přibližně 1,6 bodu na m²) nalezení objektů menších jak 5 m je v podstatě nemožné i přesto však jsou výsledky hledání velmi kvalitní a bylo nalezeno 63 objektů.

Technologie LLS a její následné využití jako archeologické metody však nesporně přineslo do oblastí vyhledávání antropologických objektů zásadní inovaci a napomohlo již mnoha novým objevům, jak ve světě tak u nás. Spojení LLS a archeologie samozřejmě není u konce a budou přicházet další projekty podrobnějšího skenování, které mohou a zcela určitě přinesou z pod korun stromů nové zajímavé objekty.



Použité zdroje

- [1] DOLANSKÝ, Tomáš. Lidary a letecké laserové skenování [online]. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2004 [cit. 2016-05-12]. Acta Universitatis Purkynianae. ISBN 80-704-4575-0. Dostupné z:
<http://wvc.pf.jcu.cz/ki/data/files/160lidaryweb.pdf>
- [2] KUNA, Martin. Nedestruktivní archeologie: Non-destructive archaeology. Praha: Academia, 2004. ISBN 80-200-1216-8.
- [3] 3D Laser Scanning for Heritage [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z:
https://content.historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage2/3D_Laser_Scanning_final_low-res.pdf/
- [4] Wikipedia [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/>
- [5] GOJDA, Martin, Jan JOHN a Roman BREJCHA. Archeologie a letecké laserové skenování krajiny: Archaeology and airborne laser scanning of the landscape. Plzeň: katedra archeologie, Západočeská univerzita v Plzni, 2013. ISBN 978-80-261-0194-9.
- [6] PAVELKA, Karel. Mobilní laserové skenování. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05261-7.



- [7] Igi [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://www.igi.eu/>
- [8] Riegl [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z:
<http://www.riegl.com/nc/products/airbornescanning/produktdetail/product/scanner/23/>
- [9] Dušánek, P. Nové výškopisné mapování České republiky. GIS Os-trava, 2010, [cit. 2012-11-27], Dostupné z:
http://gis.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2014/sbornik/papers/gis2014526faa8a434ef.pdf



Seznam obrázků

obr. 1: Vlevo – skener společnosti Riegl, vpravo – princip skenování (riegl.com)	11
obr. 2: Schéma skeneru a model vyslané laserové vlny (riegl.com)	12
obr. 3: Hill of Tara, Irsko (Knowth.com)	15
obr. 4: Stínovaný reliéf Hill of Tara, Irsko v jednotlivých přiblíženích [3]	16
obr. 5: ČR – data a oblasti skenování [6]	18
obr. 6: Vlevo - L – 410 FG po opravě, vpravo - L – 410 FG před opravou	21
obr. 7: Systém LitteMapper 6800	23
obr. 8: Model DMR 4G [6]	27
obr. 9: Pokrytí ČR DMR 4G k datu 28. 4. 2016 (geoportal.czuk.cz)	28
obr. 10: Model DMR 5G [6]	29
obr. 11: Pokrytí ČR DMR 5G k datu 28. 4. 2016 (geoportal.czuk.cz)	29
obr. 12: Model DMP 1G [6]	30
obr. 13: Pokrytí ČR DMP 1G k datu 28. 4. 2016 (geoportal.czuk.cz)	31
obr. 14: Příklad zapůjčených dat	32
obr. 15: Nahrání dat do softwaru QGIS	33
obr. 16: Pokrytí částí ČR zapůjčenými daty DMR 4G	34
obr. 17: Příklad: hrad Orlov	36
obr. 18: Příklad: tvrz Sobůlky	37
obr. 19: Příklad: hradiště Vildenberg	38
obr. 20: Příklad: Strážkovický mohylník s valem	39
obr. 21: Příklad: tuhové doly Petříkov	40
obr. 22: Příklad: švédská hradba Luděšov	41
obr. 23: Příklad: zřejmě pozůstatek tvrze u Boskovic	42

Seznam tabulek

tab. 1: V Tabulka parametrů skenování [6]	10
tab. 2: Přehled uskutečněných letů [6]	10



Seznam příloh

A Archeologická naleziště v oblasti Východ (západní část)

A.1 Hrady

Název	Souřadnice UTM		Blízké sídlo	Poznámka
	E	N		
Orlov	652058	5455997	Orlovice	
Bohuslavice	654823	5435044	Bohuslavice	
Brníčko	641658	5528846	Brníčko	zřícenina
Náměšt na Hané	649005	5496255	Náměšt na Hané	zřícenina
Bludov	638654	5535461	Bludov	zřícenina
Bouzov	636234	5507549	Bouzov	
Stražisko	639707	5489460	Stražisko	zaniklý hrad
Hrádek	637778	5465706	Rychtářov	zřícenina
Kuchlov	636829	5465777	Rychtářov	zřícenina
Hrádek u Vítovic	633851	5454124	Vítovice	zřícenina
Luleč	639235	5457219	Luleč	zřícenina
Hoštejn	627650	5526465	Hoštejn	zřícenina
Radkov	624768	5511955	Linhartice	zřícenina
Horákovský	624881	5453325	Líšeň	zřícenina
Rumberk	613110	5496293	Rumberk	zřícenina
Starý hrad	619045	5464954	Mělčany	soustava hradu
Lanšperk	604273	5539134	Lanšperk	zřícenina



A.2 Tvrze

Název	Souřadnice UTM		Blízké sídlo	poznámka
	E	N		
Sobůlky	651818	5431870	Sobůlky	
Tvrzisté Nechvalín	651538	5435416	Nechvalín	
Lišnická tvrz	633851	5514162	Vyšehorky	zřícenina
Mezilesice	638874	5437087	Lovčičky	zřícenina
Bošovice	634440	5434941	Bošovice	zřícenina
Durana	628763	5494684	Úsobrno	
Stráž	625400	5441448	Sokolnice	
Koválov	615711	5429009	Pohořelice	zřícenina
Hanička	608212	5561545	Rokytnice v O.H.	tvrz a opevnění ČSR



A.3 Hradiště

Název	Souřadnice UTM		Blízké sídlo	poznámka
	E	N		
Hvězdlice	651755	5450803	Hvězdlice	
Snovidek	652651	5441712	Mouchnice	Hradek u Snovidek
Sobůlky	651474	5431967	Sobůlky	
Oberská vrata	640910	5481554	Hamry	keltové
Staré Hradisko	637366	5484501	Okluky	keltové
Červnov	635751	5462737	Ježkovice	
Vildenberg	631984	5453980	Vítovice	
Luleč	639732	5458371	Luleč	
Sitbořice	630318	5430477	Sitbořice	hradisko
Morkůvky	635382	5423810	Morkůvky	d. železná
Třebovské	621062	5514284	M. Třebová	hradisko
Opatovice	620782	5495401	Velká rouda	hradisko
Dlouhá loučka	618320	5508651	Útěchov	
Křenovské	618802	5503578	Křenov	hradisko

A.4 Mohylníky

Název	Souřadnice UTM		Blízké sídlo
	E	N	
Babí lom	650328	5431196	Strážkovice
	655952	5561010	Bělá pod Pradědem
	657959	5557994	Bělá pod Pradědem
	655491	5531322	Dobřečov



A.5 Důlní činnost

Název	Souřadnice UTM		Blízké sídlo	poznámka
	E	N		
Barbora	646005	5563175	Petříkov	tuhové doly
	637605	5434145	Dambořice	

A.6 Vojenské objekty

Název	Souřadnice UTM		Blízké sídlo	poznámka
	E	N		
Újezd	656369	5430660	Kyjov	pozůstek valu
Švédská hradba	647572	5494355	Luděřov	
Valy	647738	5404134	Týnec	pozůstek valu
Bašta	637972	5535259	Bludov	bašta
Švedské valy	621764	5447435	Brno	pozůstek valu
Římské opevnění	614923	5418266	Pasohlávky	

A.7 Neidentifikované objekty

Souřadnice UTM		Blízké sídlo	poznámka
E	N		
635825	5440310	Kobeřice u B	zřejmě tvrz
637537	5437708	Lovčičky	zřejmě opidum
627130	5545296	Šanov	zřejmě rituální místo
621596	5485605	Boskovice	zřejmě hradiště
619906	5481296	Boskovice	zřejmě tvrz



B Obsah příloženého DVD

- 00.bakalarska_prace_text – kompletní text ve formátu PDF
- 01.seznam_nalezenych_objektu – seznam objektů ve formátu XLS, obsahuje „id“ jednotlivých nálezů, to slouží k orientaci ve snímcích
- 02.pruzkum – snímky dokumentující objekty z oblasti „Východ“ (západní část) ve formátu JPEG. Snímky obsahují v názvu „id“ objektu ,které je určeno podle tabulky: seznam_nalezenych_objektu.xls.Snímky obsahují v levé části objekt na DMR a v pravé ortofoto z vyznačeným objektem ze serveru mapy.cz.