

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra geomatiky**

Zpracování a analýza družicových snímků ze syrského Aleppa

Processing and analysis of satellite images from Aleppo, Syria

Diplomová práce

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geodézie a kartografie

Vedoucí práce: Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka

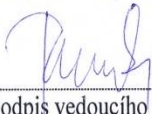
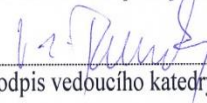
Bc. Petr Hanák

Praha 2018

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE****I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE**


Příjmení: Bc. Hanák	Jméno: Petr	Osobní číslo: 395637
Zadávací katedra: katedra geomatiky		
Studijní program: geodézie a kartografie		
Studijní obor: geodézie a kartografie		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zpracování a analýza družicových snímků ze syrského Aleppa	
Název diplomové práce anglicky: Processing and analysis of satellite images from Aleppo, Syria	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte rešerši ohledně sledování změn měst a jejich růstu či zániku z družicových snímků. Na základě družicových snímků zpracujte plány historického centra syrského města Aleppa a dokumentujte postup destrukce za občanské války. Zhodnoťte užité postupy a proveďte analýzu výsledků.	
Seznam doporučené literatury: Pavelka, K.; Matoušková, E. Combining Different Data Sources for City Growth Analysis and Architectural Heritage Mapping. Monitoring and Modeling of Global Changes: A Geomatics Perspective. Dordrecht: Springer	
Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Dr. Ing. Karel Pavelka	
Datum zadání diplomové práce: 19.2.2018	Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

28.2.2018	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracoval samostatně.
Veškerá použitá literatura a zdroje jsou uvedeny v seznamu zdrojů.

V Praze dne

.....

Petr Hanák

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Prof. Dr. Ing. Karlu Pavelkovi za poskytnutou pomoc, nápady a odborné vedení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, přítelkyni a kamarádům za velkou podporu v průběhu studia.

Abstrakt

Práce je zaměřena na nalezení vhodné metody pro pozorování změn v zástavbě a její vyhodnocení. Na základě časové řady jsou vyhodnoceny družicové snímky z oblasti historického centra Aleppa. Konkrétně se jedná o snímky z družic GeoEye-1, QuickBird-2 a WorldView-2 americké společnosti DigitalGlobe pořízené v rozmezí let 2012 - 2015.

Práce seznamuje s historií a technologickým vývojem dálkového průzkumu ve světě, ale především je pozornost zaměřena na Blízký a Střední východ. V práci je nastíněna i politická situace v Sýrii a především průběh bojů v Aleppu. Následuje metodika zpracování satelitních snímků velmi vysokého rozlišení v programech Geomatica a QGis. Analýza a vyhodnocení výsledných zpracovaných dat a jejich interpretace v podobě rastrových dat s vyznačenými změnami v městské zástavbě historického centra Aleppa se nachází v poslední kapitole. V závěru práce proběhla diskuze a zhodnocení efektivity použitých metod a dosažených výsledků.

Klíčová slova

Dálkový průzkum Země, DigitalGlobe, GeoEye, QuickBird, WorldView, QGis, Geomatica, Sýrie, Aleppo, občanská válka, archeologie

Abstract

The thesis is aimed at finding appropriate methods for observing changes in the status of urban area and its evaluation. The satellite images of the Old city of Aleppo are analyzed by using time series method. Specifically, the images from GeoEye-1, QuickBird-2 and WorldView-2 which are managed by American company DigitalGlobe. The satellite images were taken over the years 2012 - 2015.

At first there is examined history and technological advance of remote sensing but main focus is on Middle East area. In thesis is also partially described political situation in Syria, but mainly on Battle of Aleppo. Following chapter is aimed at analysis of very high resolution satellite images in Geomatica and QGis. In the last chapter is evaluation and interpretation of outcomes which is shown at raster images. In the end of thesis there is discussed effectiveness of used methods for monitoring changes in urban area.

Keywords

Remote sensing, DigitalGlobe, GeoEye, QuickBird, WorldView, QGis, Geomatica, Syria, Aleppo, civil war, archaeology

Obsah

Úvod	9
1 Seznámení s problematikou a rešerše literatury	10
1.1 Dálkový průzkum Země	10
1.1.1 Základní etapy v historii dálkového průzkumu.....	11
1.2 První objevy a projekty v DPZ	13
1.2.1 Letecká fotografie.....	13
1.2.2 Družicová fotografie	14
1.3 Projekty DPZ v současnosti.....	16
1.3.1 Aplikace DPZ k analýze válečných škod	17
1.4 Družicová data.....	18
1.4.1 Vlastnosti družicových dat.....	18
1.4.1.1 Prostorové rozlišení	19
1.4.1.2 Spektrální rozlišení	20
1.5 Klasifikace	22
1.5.1 Neřízená klasifikace	22
1.5.1.1 ISODATA	22
1.5.2 Objektová klasifikace.....	23
2 Popis zájmového území	24
2.1 Historie	24
2.2 Lokalita	25
2.3 Politická situace.....	25
2.3.1 Občanská válka v Sýrii	25
2.3.2 Bitva o Aleppo	26
3 Metodika	27
3.1 Použitá data.....	27

3.2	Zpracování dat.....	29
3.3	Příprava dat	29
3.3.1	Rozdíl družicových snímků.....	30
3.3.2	Neřízená klasifikace	31
3.3.3	Objektová klasifikace.....	33
3.3.4	Vizuální interpretace	35
4	Výsledky	36
	Diskuze a závěr	51
	Použité zdroje.....	55
	Seznam zkratk	58
	Seznam obrázků.....	59
	Seznam tabulek.....	61
	Seznam příloh.....	62

Úvod

Minulé století přineslo průlomové změny nejen v oblasti dálkového průzkumu Země, ale také v mnoha matematicko-fyzikálních oblastech jako jsou informatika, teoretická fyzika a další. Pomocí mnoha nejrůznějších družicových misí bylo dosaženo kvalitního a pravidelného snímání naší planety. V současné době je možné užívat celou řadu družicových systémů a jejich dat. Díky dlouhodobému charakteru snímání Země přináší dálkový průzkum unikátní pohled na pozorování dynamických jevů, jejich vývoj a zároveň umožňuje případné predikce. Zejména s příchodem digitálního snímání pomocí nejrůznějších typů skenerů přichází možnost virtuálně zpracovávat a interpretovat dynamiku změn. Archivací a distribucí nových snímků ve velmi krátké době od jejich pořízení lze získat nový rozměr pro pozorování současných stavů a dlouhodobých změn jak u přírodních objektů tak i objektů antropogenních.

Na tematiku detekce změn je zaměřena tato práce. Pro účely hledání změn bylo vybráno území historického centra syrského města Aleppo. Byly testovány metody vhodné pro zjišťování škod v historické zástavbě, kterými se práce zabývá v následujících kapitolách. Analýza je založena na snímcích z družic QuickBird, GeoEye-1 a WorldView-2 americké společnosti DigitalGlobe. Byl sledován a hodnocen vývoj změn v několika časových obdobích. V případě sledované oblasti se jedná o vzniklé škody na archeologických památkách v průběhu Syrské občanské války, konkrétně Bitvy o Aleppo, která probíhala v letech 2011 - 2016. Cílem je nalezení efektivní metody pro detekci změn v městské zástavbě a následná dokumentace škod způsobených v daném časovém intervalu. Na závěr práce přináší diskuzi a hodnocení použitých metodických postupů.

1 Seznámení s problematikou a rešerše literatury

Tato kapitola zahrnuje základní informace o historii a technologickém vývoji dálkového průzkumu Země od jeho vzniku po současnost. Jsou zde uvedeny i některé přelomové práce, které znatelně posunuly vývoj dálkového průzkumu dopředu. Jedna část je věnována studiu válečných škod, způsobených v nedávných ozbrojených konfliktech, s využitím družicových snímků. V další části jsme seznámeni s terminologií a důležitými informacemi o vlastnostech a typech družicových dat.

Na závěr je teoretické vysvětlení klasifikačních metod použitých v této práci.

1.1 Dálkový průzkum Země

Pozorovat jakoukoli realitu z odstupu znamená vidět ji v její celistvosti i v kontextu okolního světa, což obecně vzato umožňuje nahlédnout do její složitosti. Příkladně to platí o pozorování tak komplexní složky reálného světa, jakou je povrch Země.

Termín dálkový průzkum údajně jako první použila Evelyn Pruittová z U.S. Office of Naval Research v polovině padesátých let minulého století. Od dob kdy byly pořízeny první letecké (přesněji balónové) fotografie, uplynulo tehdy již celé století. Právě v této době, po skončení druhé světové války, se dynamicky rozvíjel moderní vědecký výzkum, jistě umocněný také soupeřením dvou tehdejších velmocí, USA a Sovětského svazu, v rámci studené války. Nástup a rozvoj nových technologií a postupů vedl k významnému přerodu, jímž bylo zavádění počítačů a s ním související přechod k digitalizaci. Právě dálkový průzkum těžil z těchto nových možností beze zbytku. [1]

1.1.1 Základní etapy v historii dálkového průzkumu

Přinejmenším stovky tisíc let využíval člověk a jeho předchůdci dostupné krajinné dominanty a lokální vyvýšená místa k získání přehledu o situaci, ale stanovit kdy se rozhodl dosáhnout pohledu na zem z ptačí perspektivy je obtížné. Nejstarší dosud známé doklady o promyšlených pokusech zkonstruovat létající stroje jsou spojovány s dílem geniálního představitele evropské renesanční vědy a umění Leonarda da Vinci.

Bereme-li v úvahu skutečně důležité faktory, které charakterizují dálkový průzkum, tedy rozvoj prostředků, bez nichž nelze tuto činnost vykonávat jsou to: a) technická zařízení, která umožňují pozorovateli dostat se do výšky i tam, kde to neumožňují přirozené geomorfologické podmínky; b) přístroje, na kterých bude proveden záznam dat. Lze tedy členit historii dálkového průzkumu do těchto základních etap: [2]

Konec 18. - první polovina 19. století

V první polovině devadesátých let 18. století byly ve Francii vytvořeny armádní jednotky, jejichž úkolem je provádět letecký průzkum z balonů. Pro tuto etapu je charakteristické, že senzorem pozorování skutečnosti je lidské oko. Obraz zemského povrchu byl zaznamenáván na papír formou grafického výstupu nebo textu. První etapu tedy charakterizuje balónová vzduchoplavba a provádění dálkového průzkumu bez záznamového média. [3]

Druhá polovina 19. století

Dlouhý vývoj fotoaparátu byl završen konstrukcí použitelnou v gondole balonu. Tato etapa se bere jako začátek rozvoje dálkového průzkumu pro vojenské i civilní účely. Je vymezena datem pořízení první fotografie zemského povrchu z ptačí perspektivy (fotografii Val de Bièvre nedaleko Paříže pořídil v roce 1858 Gaspard Félix Tournachon) a nejstaršími známými snímky krajiny exponovanými z letadla těžšího než vzduch. [3]

První polovina 20. století

První i druhá světová válka znamenaly velký rozvoj technických možností v oblasti letectví a fotografie, který dálkový průzkum Země využívá. Zásadním způsobem tak zvyšuje svůj potenciál pro vojenské i civilní účely. Během první světové války došlo ke zkonstruování prvních výkonných leteckých fotografických kamer. Později, za druhé světové války došlo k zavedení fotomateriálů umožňujících snímání terénu v infračervené části spektra. Také byl vynalezen radar a vyvíjena raketová technika. [2] [3]

Druhá polovina 20. století až současnost

Toto období je charakterizováno přenesením dálkového průzkumu ze vzduchu do vesmíru a nástupem digitalizace. Nástup družicového snímání znamená zásadní kvalitativní posun informačního potenciálu dat. Tento posun souvisí s vývojem a zaváděním nové kategorie snímacích zařízení (skenerů) i přenosových technologií, které umožňují rychlý a bezpečný přenos dat z vesmíru na Zemi. Uplatňuje se také aplikace multispektrálního a později hyperspektrálního snímání.

V posledních dvou desetiletích minulého století je dálkový průzkum obohacen o navigační přístroje GNSS, umožňující velmi přesné určení polohy a výšky kteréhokoliv místa na zemském povrchu. Vznikají také geoinformační systémy (GIS), které umožňují analytické zpracování geografických a prostorových dat. Začaly se využívat radarové zobrazující systémy a tzv. lidary, přístroje skenující zemský povrch z výšky pomocí laserových paprsků. Takto lze dosáhnout velmi přesného trojrozměrného zmapování zemského povrchu (včetně míst pokrytých vegetací). [2] [3]

1.2 První objevy a projekty v DPZ

1.2.1 Letecká fotografie

Počátky integrace leteckého průzkumu do rámce archeologických dokumentačních metod se odehrávaly během první světové války a to převážně v oblasti Blízkého východu, který je bohatý na výskyt plošně rozsáhlých archeologických nalezišť. Právě tam byl realizován první projekt, který byl zaměřen na systematické pořizování leteckých snímků stavebně-historických památek.

Němec Theodor Wiegand, který byl generální inspektor německo-tureckého oddílu na ochranu památek, zařadil do svého Denkmalschutzkommanda pořizování leteckých fotografií římských a byzantských památek na palestinsko-egyptské frontě. Završením jeho letecko-archeologických aktivit byla publikace knihy s výběrem vysoce kvalitních leteckých snímků pořízených nad územím Gazy.

George A. Beazeley, anglický pilot, vytvořil foto-leteckou dokumentaci rozsáhlého urbanistického celku starověké Samary, města založeného v 9. století situovaném asi 100 km od Bagdádu.

Na evropském bojišti se oproti Blízkému východu provádělo letecké snímkování obecně z větší výšky.

Další posun v rozvoji dálkového průzkumu znamenalo uskutečnění prvního archeology organizovaného a systematicky provedeného letecko-průzkumného projektu. Zasloužili se o to Angličané Osbert Guy Stanhope Crawford a Alexander Keiller. Projekt byl uskutečněn v roce 1924, měl za cíl pořizování leteckých fotografií v terénu dochovaných archeologických památek Wessexu a jejich následné vynesení do map.

Ve 30. letech pořídil Paul Strahle kolekci leteckých fotografií některých německých měst. Zásadní dokumentační význam mají fotografie Drážďan, Saské Kamenice a Zwickau, protože jsou jediným obrazovým pramenem o historické podobě urbanismu těchto významných měst a stavu jejich památek, které byly poničeny na konci druhé světové války kobercovými nálety spojenců.

Na Blízkém východě a to konkrétně v Sýrii se ve 30. letech věnoval

leteckému průzkumu Antoine Poidebard. Jeho práce spočívala v rozsáhlých leteckých průzkumech a fotografování starověkých památek. Jeho cílem se stal systematický průzkum celého průběhu římské hranice (limes romanus). Výsledky své práce publikoval v odborném časopisu Syria a v monografii z roku 1934. V letech 1935-1937 realizoval první americký projekt letecké archeologie Orientální ústav Chicagské univerzity, jehož vedením byl pověřen Erich F. Schmidt. Cílem expedice byla letecká fotodokumentace a průzkum Persie (dnes Írán). Výsledky expedice byly zpracovány v podobě knižní publikace, která obsahuje přes sto velkoformátových kolmých a šikmých fotografií.

Za zmínku stojí také americký profesor Paul Kosok, který prováděl dlouholeté archeologické výzkumy v Peru, které začaly roku 1940. V posmrtně vydané monografii z roku 1965 se věnuje velkou měrou mimo jiné geoglyfům nacházejícím se na povrchu náhorní plošiny mezi údolími Nazca a Ica v jižní části Peru, k nimž ho přivedla práce s leteckými snímky.

Nejvýznamnější postavou poválečné letecké fotografie v Anglii je John Kenneth Sinclair St Joseph, univerzitním vzděláním geolog. Hlavním předmětem jeho zájmu byla římská tažení do Skotska, s využitím leteckých snímků se také významně podílel na výzkumu zaniklých středověkých vesnic. Výsledky publikoval v roce 1965 se svým kolegou Mauricem Beresfordem v knize Medieval England, An Aerial Survey. [2] [4] [5]

1.2.2 Družicová fotografie

Spuštění železné opony stálo na počátku dynamického rozvoje studia okolního vesmíru a hledání možností, jak pro utajení přenést technické prostředky špionáže ze vzdušného do vesmírného prostoru. Zprvu družicové snímky využívaly především americké instituce ze dvou důvodů: a) produkovali je sami Američané; b) americké expedice operovaly v částech světa, kde jiný zdroj obrazových informací o zkoumaných lokalitách než z družic nebyl.

První snímky z raket byly pořízeny v roce 1946, Spojené státy vyslaly upravenou německou balistickou raketu V-2, která snímkovala povrch Země v intervalu 1,5 vteřiny z výšky 105 km. Ovšem první skutečnou umělou družici

Sputnik 1 vyslal 4. října 1957 tehdejší Sovětský svaz. Započaly závody o ovládnutí blízkého vesmíru, které měly svou vojenskou i vědeckou část. Úspěchy byly využívány pro mohutnou propagandu.

V roce 1959 vznikla první družicová fotografie Země pořízená Americkou družicí Explorer 6. V tom samém roce vyslaly Spojené státy první družice, které jsou dnes označovány jako program CORONA. Ty prováděly fotografický průzkum vybraných míst na Zemi až do roku 1972. Snímky byly zpřístupněny veřejnosti až v roce 1995. Na počátku 70. let byla vyslána do vesmíru první Americká vědecká družice Landsat 1, první z dlouhé série úspěšných družic pro DPZ. Poprvé v historii dálkového průzkumu byly k dispozici družicové snímky civilnímu obyvatelstvu, avšak rozlišení snímků bylo vůči datům z vojenských družic nesrovnatelně nižší. V 80. a na počátku 90. let začalo přibývat stále více družic, které byly schopny pořizovat snímky zemského povrchu. První Francouzská družice SPOT byla zprovozněna v roce 1986, pořídila např. kolekci snímků havárie jaderné elektrárny v Černobylu v bývalém Sovětském svazu. Fotografie byly vypuštěny do světa o pár dní později, kdyby tak nebylo učiněno, Sovětský svaz by možná tuto katastrofu utajil. V roce 1989 byla publikována vůbec první přehledná studie o tom, v jaké míře byl do té doby využíván potenciál družicových dat v oblasti archeologie.

V devadesátých letech a na konci 20. století pak došlo ke spuštění indického, japonského a dalších programů dálkového průzkumu Země a k vypuštění nových typů družic (např. SPOT 4 a Landsat 7).

Poslední etapa v rozvoji dálkového průzkumu se datuje do období mezi posledním desetiletím 20. století a současností. Její začátek je charakterizován pádem komunistických režimů ve státech Varšavské smlouvy. Poprvé v historii bylo možné provádět neomezený dálkový průzkum teritorií východní Evropy. Nelze si nepovšimnout i širokého záběru aktivit věnovaných dálkovému průzkumu na Blízkém východě. Poslední čtvrtstoletí historie dálkového průzkumu můžeme označit za etapu, která pro tento obor otevřela nové možnosti. Především nové či výrazně vylepšené technologie jako je například výrazné zvýšení rozlišovacích schopností dat dálkového průzkumu, které přinesly komerční družice, financované poprvé z privátního sektoru

(např. Ikonos 1, QuickBird, WorldView). Nezpochybnitelný význam má také zveřejnění a bezplatná dostupnost dat na internetových portálech (např. Google Earth, server mapy.cz), která jsou prezentována většinou formou georeferencovaných ortofotomap. [6] [7]

1.3 Projekty DPZ v současnosti

Je prakticky nemožné postihnout či popsat projekty dálkového průzkumu, které v desetiletích na přelomu tisíciletí proběhly nebo probíhají v současné době. Vzhledem k tématu této diplomové práce a k dlouhodobé tradici zájmu o dálkový průzkum archeologického dědictví na Blízkém východě budou dále popsány projekty v tomto teritoriu.

Jak již bylo řečeno, na Blízkém východě byly uskutečněny první lety cíleně zaměřené na letecké fotografování a objevování zaniklých měst. Po této úvodní etapě průkopnických akcí nastal útlum po druhé světové válce. Zlom proběhl v sedmdesátých letech, kdy Jordánsko zpřístupnilo svůj vojenský archiv leteckých snímků. Na počátku osmdesátých let tam byl založen Archiv leteckých archeologických fotografií, v němž bylo uloženo na čtyři tisíce svislých černobílých snímků vysokého rozlišení pořízených v roce 1954 nad západním Jordánskem. Interpretace a analýzy těchto snímků se ujal David Kennedy, podařilo se mu identifikovat přes dvacet tisíc archeologických lokalit. V roce 1978 založil Archiv leteckých fotografií pro archeologii Středního východu (APAAME), který obsahuje na sedmdesát tisíc snímků a map desítek zemí Blízkého a Středního východu. Hlavní část archivu tvoří fotografie pořízené v průběhu nejrozsáhlejšího projektu v historii letecké archeologie na Blízkém východu, který probíhá pod názvem Letecká archeologie v Jordánsku od roku 1997 do dnes. První etapa jordánského letecko-archeologického projektu je shrnuta v knize *Ancient Jordan from the Air* z roku 2004. Od konce devadesátých let část archeologů pracuje s odtajněnými snímky družicových programů CORONA a GAMBIT. Jason Ur z americké Harvard univerzity je jedním z předních badatelů zaměřených na analýzu těchto snímků. Vysoký potenciál snímků ukazuje výzkum v oblasti severovýchodní Sýrie v okolí města

Tell Hamoukar. V kontextu programu CORONA byl založen volně dostupný internetový portál obsahující snímky pořízené v šedesátých a sedmdesátých letech minulého století. [8] [9] [10] [11]

1.3.1 Aplikace DPZ k analýze válečných škod

Vědecká činnost v oblasti zkoumání vlivu válečných konfliktů na městskou zástavbu pomocí družicových snímků je překvapivě malá. Většina studií se odehrává v rámci armády a je veřejně nedostupná.

Mezi několik málo prací se řadí dálkový průzkum Jugoslávských měst, která byla bombardována Severoatlantickou aliancí (NATO) v průběhu Kosovské války v roce 1999. Snímky byly pořízeny družicemi Landsat TM s prostorovým rozlišením 30 metrů a Indian Remote Sensing (IRS) s rozlišením 6 metrů. K rozpoznání změn v zástavbě je potřeba mít snímky s velmi vysokým prostorovým rozlišením. Škody způsobené Izraelským vpádem do Palestinského města Jenin a nálety NATO na Brest v Makedonii byly dokumentované snímky z družice Ikonos s prostorovým rozlišením 1 metru. Represivní akce vlády Zimbabwe vyústily v destrukci staveb, která byla dokumentována s využitím družice QuickBird, jenž pořizuje snímky s prostorovým rozlišením 60 centimetrů (PAN) v období mezi lety 2002 až 2006. Dokumentace válečných škod ve městě Homs v Sýrii, způsobené občanskou válkou, probíhala s využitím radarových dat družice TerraSAR-X a Sentinel-1A. Změna zástavby byla zpracovávána v letech 2009, 2014 a 2015. [12] [13] [14] [15]

1.4 Družicová data

Základním prvkem pro dálkový průzkum Země je záznamové zařízení a pohyblivý nosič. Na vlastním vybavení a parametrech nosiče závisí níže uvedené vlastnosti a následné možnosti využití snímků. Nosiče se dělí na pilotované (letadla, vrtulníky, drony) a nepilotované (družice).

Použití družicových systémů přináší některé výhody oproti využívání letadel. Operují ve větší výšce, a proto mohou pořídit obraz rozsáhlého území díky velkému úhlu záběru. Další výhodou je opakovatelnost měření neboli tzv. časové rozlišení, kdy družice pořizuje snímky jedné oblasti v určitém časovém intervalu. Například družicové systémy typu Landsat pořizují data zemského povrchu kontinuálně a snímek stejného území vytvoří přibližně každých 16 dní. Komerční družice s vysokým rozlišením jsou programované podle přání zákazníků a jsou schopné zachytit stejné místo každé 3 dny. Nejmodernější systémy tvořené například dvěma družicemi mají kapacitu poskytnout data s časovým rozlišením jednoho dne. Častým přeletem družic nad stejným místem lze vyloučit vliv oblačnosti, je vyšší pravděpodobnost pořízení snímků bez mraků. [16]

1.4.1 Vlastnosti družicových dat

V současné době jsou družicové snímky Země dodávány ve formě digitálních dat. Obraz zemského povrchu je tvořen pixely, jejichž velikost ve skutečnosti určuje jeho prostorové rozlišení. Další důležitou charakteristikou je spektrální rozlišení, to úzce souvisí s prostorovým i časovým rozlišením.

Většina družic k získání co největšího množství informací jedním přeletem snímá zájmové území ve více částech frekvenčního spektra. Pořizuje tzv. multispektrální nebo hyperspektrální snímky.

Data pořízená dálkovým průzkumem se v těchto parametrech liší v závislosti na tom, pokud jsou zdarma nebo za poplatek a účelem jejich využití. [16]

1.4.1.1 Prostorové rozlišení

Prakticky všechna družicová data jsou dnes pořizována v digitální podobě a jsou pro každou družici (nebo každý družicový senzor) dodávána ve standardizované velikosti pixelu. Prostorové rozlišení je reprezentováno velikostí jednoho bodu (pixelu), který tvoří základní jednotku každého digitálního obrazu. Skutečné prostorové rozlišení (minimální velikost objektu, který lze na družicovém snímku identifikovat) není vždy zcela totožné s velikostí pixelu. Např. u šikmých scén se skutečné prostorové rozlišení snižuje s narůstajícím úhlem pořízení scény, je také ovlivněno okamžitými meteorologickými podmínkami v čase pořízení scény. Velmi záleží také na tom, jak je objekt, který se na snímku snažíme rozeznat, kontrastní vůči svému okolí. [16]

Snímky s nízkým a středním rozlišením

Družicová data s nízkým rozlišením jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu km, u dat se středním rozlišením se tato hodnota pohybuje v řádu 100 m. Jedná se o data, která jsou pořizována výhradně v multispektrálním režimu zahrnujícím viditelnou a infračervenou část elektromagnetického spektra. Vzhledem k šířce záběru jsou data pořizována s hodinovou až denní frekvencí. Snímky jsou vhodné pro sledování stavu atmosféry (meteorologii), monitorování rozsáhlých přírodních katastrof nebo pro globální a kontinentální mapování.

Snímky s vysokým rozlišením

Data jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu 10 m. Často jsou pořizována současně v panchromatickém a multispektrálním režimu s významným podílem spektrálních pásem pokrývajících jednotlivé části infračerveného optického spektra. Některé družice pořizují data v pravidelném několikátýdenním intervalu, modernější družice umožňují pořízení dat

na základě požadavku klienta. Snímky jsou vhodné pro regionální mapování, sledování stavu a vývoje vegetace nebo tvorbu digitálního modelu terénu.

Snímky s velmi vysokým rozlišením

Družicová data jsou charakterizována prostorovým rozlišením v řádu 1 m. Snímky jsou k dispozici v panchromatickém režimu, doplněná multispektrálními daty s nižším prostorovým rozlišením. V současnosti se jedná o nejrychleji se rozvíjející sektor dálkového průzkumu Země a většina družic této kategorie představuje nejmodernější družicové systémy disponující velkou flexibilitou v oblasti pořízení dat. Snímky jsou vhodné pro podrobné mapování, urbanistické studie, plánování a organizace humanitární pomoci nebo tvorbu digitálního modelu terénu.

1.4.1.2 Spektrální rozlišení

Většina družic dálkového průzkumu pořizuje snímky v několika spektrálních pásmech. Spektrální rozlišení je dáno množstvím spektrálních pásem a jejich šířkou. Ovlivňuje množství a typ informace, kterou je možné získat. Podle počtu a rozsahu spektrálních pásem, ve kterých byly snímky pořízeny, rozlišujeme čtyři typy dat.

Snímky panchromatické

Panchromatická data jsou pořízena senzorem citlivým na světlo obvykle v celém rozsahu viditelného a částečně i blízkého infračerveného světla. Panchromatický senzor zachycuje světlo všech barev do jednoho obrazového pásma a výsledek je černobílý snímek ve stupních šedi. Vizuálně se příliš neliší od černobílé fotografie.

Snímky multispektrální

Při pořizování multispektrálních dat jsou zvolené intervaly vlnových délek (spektrální pásma) zachycovány do samostatných obrazových výstupů. Spektrální pásma odpovídají určitým barvám viditelného optického spektra a vybraným částem neviditelné části spektra. Nejčastěji se pořizují data ve čtyřech nebo osmi pásmech. Pokud se obrazová data z jednotlivých multispektrálních kanálů zkombinují pomocí RGB syntézy, získáme obraz v tzv. přirozených barvách. Obraz se v tomto případě velmi blíží barvám, v jakých jsou vnímány lidským zrakem.

Pokud se do barevné syntézy použijí pásma jiného spektrálního rozsahu než oblasti viditelného spektra, získáme obraz v nepravých barvách. Ve vhodné zvolené barevné kombinaci může zaškolený zpracovatel rozeznat objekty a jevy, které by byly v kombinaci přirozených barev odlišitelné obtížně, nebo vůbec. Data jsou běžně dodávána s blízkým infračerveným pásmem, které je velmi vhodné pro mapování vegetace. [16]

Snímky hyperspektrální

Hyperspektrální snímání zaznamenává odrazivost v desítkách až stovkách velmi úzkých spektrálních pásem se zaměřením na rozlišení velmi jemných charakteristik zemského povrchu.

Snímky radarové

Popisují odrazivost v mikrovlnné části elektromagnetického spektra, mohou zahrnovat různé typy polarizace nebo měření na více frekvencích. Radarové snímky mohou být pořizeny za jakéhokoliv počasí, ve dne i v noci. V současnosti jsou k dispozici data s prostorovým rozlišením v řádu 1 m. Radarová data vhodně doplňují standardní optická data zejména v situacích nepříznivých vlivů atmosféry, které znemožňují pořízení jiných snímků. [16]

1.5 Klasifikace

Klasifikaci můžeme obecně definovat jako seskupování vzájemně si podobných prvků do určitých skupin. V rámci obrazových dat se v softwaru jedná o operace, umožňující identifikovat v souboru prvků skupiny se společnými vlastnostmi. V obrazových záznamech dálkového průzkumu jsou prvky na nejnižší úrovni reprezentovány jednotlivými pixely. Klasifikace představuje proces, při kterém se jednotlivé pixely originálního numerického záznamu zařazují do tříd a vzniká tak klasifikovaný snímek. Zpracovaný obrazový záznam se tak stává po doplnění mapových prvků tematickou mapou. Cílem klasifikace je získat utříděnou informaci o objektech a jevech na zemském povrchu.

1.5.1 Neřízená klasifikace

Neřízená klasifikace je metoda, která identifikuje přirozené skupiny nebo struktury obsažené v zaznamenaných multispektrálních datech. Při tomto způsobu klasifikace se metodami shlukové analýzy automatizovaně extrahují dominantní skupiny se stejnou spektrální odrazivostí tzv. spektrální třídy. Reálný význam vzniklých tříd se zjišťuje až po klasifikaci s využitím map, leteckých snímků nebo jiných materiálů týkajících se zájmového území.

1.5.1.1 ISODATA

Algoritmus ISODATA je způsob shlukování. Na počátku je definován počet požadovaných shluků a počet iterací. Středů shluků jsou rozmístěny rovnoměrně v analyzovaném prostoru. Vlastní zařazování pixelů do jednotlivých shluků probíhá také v jednotlivých iteracích, které se řídí jasně definovanými pravidly. [17]

1.5.2 Objektová klasifikace

Klasifikace obrazu per-pixel se omezuje jen na spektrální prostor a nezahrnuje práci s kontextuální informací v geografickém prostoru. Metody objektivě orientované klasifikace tuto možnost přinášejí. Vývoj této metody byl inspirován snahou vytvořit automatizované postupy, které budou založeny na procesu interpretace obrazu podobným způsobem jakým je schopen člověk obraz interpretovat vizuálně. Do procesu klasifikace jsou zahrnuty nejen spektrální charakteristiky jednotlivých pixelů, ale i informace o objektech, jejich okolí a vztahy k okolnímu prostředí (tvar, velikost, kontext, textura atd.). Základem je vytvoření objektů v obraze, což se provádí tzv. segmentací obrazu. Segmentace může být provedena pomocí celé řady algoritmů, jejím cílem je však vždy rozdělit obrazová data do segmentů představujících jednotlivé objekty reality. [18]

2 Popis zájmového území

2.1 Historie

Aleppo (Haleb, Halab) je jedno z nejstarších dosud existujících měst nejen Blízkého východu, ale i na celém světě. První zmínka o městě je na kamenných deskách nalezených při archeologickém průzkumu ve městě Tell Mardikh jihovýchodně od Aleppa.

Historie města sahá až do 2. tisíciletí př.n.l., kdy se jmenovalo Halab. Bylo hlavním městem království Yamhad, které patřilo mezi významné společenské útvary Blízkého východu. Na počátku 1. tisíciletí př.n.l. bylo Aleppo dobyto a stalo se součástí Novoasyrské říše. Ve 4. století př.n.l. bylo začleněno do první Perské říše. V roce 333 př.n.l. město dobyl Alexandr Veliký a učinil ho centrem helénistické kultury v severní Sýrii. Po bitvě v roce 64 př.n.l. se město stalo Římskou provincií. Pod nadvládou Říma Aleppo prosperovalo až do 5. století n.l. Bylo třetím největším městem v tehdy známém světě. V 7. století padla syrská oblast pod nadvládu muslimů. V průběhu následujících 300 let se v kontrole města střídali Byzantinci s muslimy. Roku 1124 bylo město obléháno křižáckými vojsky, avšak nikdy nebylo dobyto. V roce 1260 bylo Aleppo dobyto Mongolskými nájezdníky. Po šesti dnech obléhání byly zničeny městské hradby a Citadela byla dobyta o čtyři týdny později. Muslimská a židovská populace byla zmasakrována mongolskými dobyvateli, byli ušetřeni pouze křesťané. Po následujících 200 let bylo město střídavě pod kontrolou Mongolů nebo egyptských Mamlúků. Aleppo se stalo součástí Osmanské říše v roce 1516. V Osmanské říši opět velmi prosperovalo a stalo se hlavním městem obchodu v říši. Po konci první světové války vznikl městský stát Aleppo pod kontrolou Francie. Ta rozdělila Sýrii na pět menších států z důvodu snadného ovládnutí nového teritoria. V roce 1925 proběhla Syrská revoluce, jejímž výsledkem byla nezávislost na Francii a spojení roztržitěné Sýrie do jednoho státu. Po politickém boji se stal v roce 1950 hlavním městem Damašek na úkor Aleppa.[19] [20]

2.2 Lokalita

Aleppo je druhým největším městem Syrské arabské republiky. Ta se nachází v jihozápadní Asii a řadí se mezi země tzv. Blízkého východu. Aleppo má 1,6 milionu obyvatel a je momentálně nejlidnatějším městem v Sýrii. [21]

2.3 Politická situace

2.3.1 Občanská válka v Sýrii

Konflikt začal 15. března 2010 demonstracemi v rámci tzv. Arabského jara, které se syrská armáda snažila potlačit. Později eskaloval do občanské války, jejímž výsledkem je faktické roztříštění země na oblasti kontrolované nesourodými frakcemi s rozdílnými cíli ve velmi nepřehledném konfliktu.

Nejvýznamnější stranou konfliktu je vláda prezidenta Bašára al-Asada, která se snaží potlačit povstání a znovu získat kontrolu nad nestabilními oblastmi pod kontrolou protivládních skupin. Ekonomickou a vojenskou podporu ze zahraničí dostává především od Ruska, Íránu a organizace Hizballáh z Libanonu.

Na druhé straně konfliktu stojí větší počet skupin s různými cíli. Opoziční síly tzv. Syrská opozice usiluje o svržení prezidenta Bašára al-Asada a ukončení vlády jedné strany po dobu několika desítek let. Politickou a vojenskou podporu jim poskytuje Saudská Arábie, Francie a Spojené státy Americké.

Syrské demokratické síly, které jsou aliancí skládající se z Kurdů, Arabů, Asyřanů a dalších místních milic. Spolek byl založen v roce 2015 s cílem vyhnat Islámský stát z teritoria Sýrie. Účastnili se také důležitých bojů o osvobození Aleppa, které bylo pod kontrolou opozičních sil. Vojenské a materiální podpory se jim dostává mimo jiné od Spojených států Amerických a Francie. Kurdové jsou však v poslední době opět od roku 2017 terčem útoků ze strany Turecka, aby zabránilo pokusům o vznik nezávislého území pod kurdskou kontrolou.

Důležitou silou v oblasti Sýrie byl až do konce roku 2017 tzv. Islámský stát, extrémní islámská teroristická organizace usilující a obnovení chalífátu.

Islámský stát a Al-Kaida, která na Syrském území také působí, jsou světově uznané teroristické organizace, které spolu často i soupeří. Podporu dostávají na neoficiální úrovni od tamních radikálních kruhů např. ze Saudské Arábie, Kataru a dalších arabských států. V současnosti je v Sýrii Islámský stát téměř poražen. [22]

2.3.2 Bitva o Aleppo

Boje začaly 19. června 2012, kdy do města pronikly jednotky Syrské opozice (FSA). Po slabém odporu Syrských ozbrojených sil ovládli východní část Aleppa, zatím co severní část byla pod kontrolou kurdských bojovníků a západní čtvrtě ovládaly vládní síly.

V červnu 2013 probíhaly střídavě ofenzívy jedné i druhé strany bez téměř žádných územních zisků. Na podzim 2013 vládní síly obdržely dodávku nových zbraní od Ruska a připojila se k nim skupina Hizballáh. To vedlo k ofenzívě vládních sil, které prolomily obležení a zajistily si nové zásobovací trasy.

Na jaře roku 2014 po zdařilém útoku bylo osvobozeno vězení, ve kterém byla posádka vládních vojáků, kteří odolávali rebelům od počátku konfliktu.

V úvodu roku 2015 se vládní síly pokusily dobýt oblast severně od Aleppa s cílem vyřazení zásobovacích cest rebelů. Polovina územních zisků Syrské armády byla po několika dnech zpět v rukou rebelů. Opoziční síly poté těžce bombardovaly části města pod vládní kontrolou a připravovaly se na novou ofenzívu. Po pár dnech bitvy dostaly pod svou kontrolu část severních a západních čtvrtí, o které následně zase přišly.

V listopadu 2016 zahájily vládní jednotky za pomoci Íránu a ruského letectva finální ofenzívu vůči FSA, která znamenala rozhodující obrát v celém střetnutí. Během několika týdnů přišli rebelové o většinu územních zisků a 13. prosince bylo oznámeno, že vládní jednotky mají nad městem opět plnou kontrolu. [23]

3 Metodika

Válečné škody jsou tak rozsáhlé, že je lze detekovat i z vesmíru. Jelikož v oblasti stále probíhá válečný konflikt, není možné mapovat rozsah škod na místě. Družicové snímky s velmi vysokým prostorovým rozlišením jsou prakticky jedinou možnou alternativou, jak získat data o tomto území.

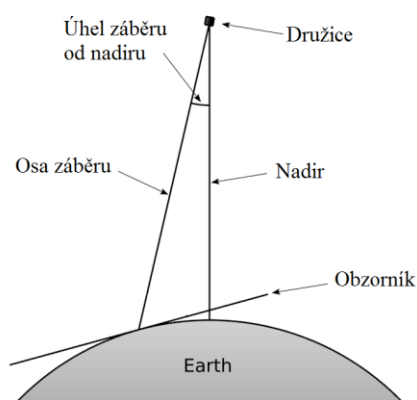
3.1 Použitá data

K analýze byl použit soubor snímků uvedených v tab. 1. Snímky byly zakoupeny od společnosti Gisat. Poskytnutá data byla dodána v 16-bitovém formátu *.tif* a *.jp2* v souřadnicovém systému WGS84/UTM 37 Northern Hemisphere. V následujících odstavcích jsou objasněny jednotlivé parametry použitých snímků, které jsou uvedeny v tabulce.

Družice	Datum pořízení	Typ snímku	Úhel záběru od nadiru	Poloha slunce	Prostorové rozlišení
N/A	29.7.2012	MS	N/A	N/A	N/A
QuickBird-2	14.4.2013	MS	18,54°	52,28°	0,66 m
GeoEye-1	26.5.2013	MS, PAN	20,26°	69,01°	0,45 m
WorldView-2	15.9.2013	MS, PAN	13,85°	56,04°	0,49 m
WorldView-2	23.5.2014	MS, PAN	12,44°	72,17°	0,48 m
WorldView-2	22.10.2014	MS, PAN	5,65°	42,13°	0,47 m
N/A	3.6.2015	MS	24,94°	71,72°	0,71 m

Tab. 1 Vlastnosti použitých družicových dat

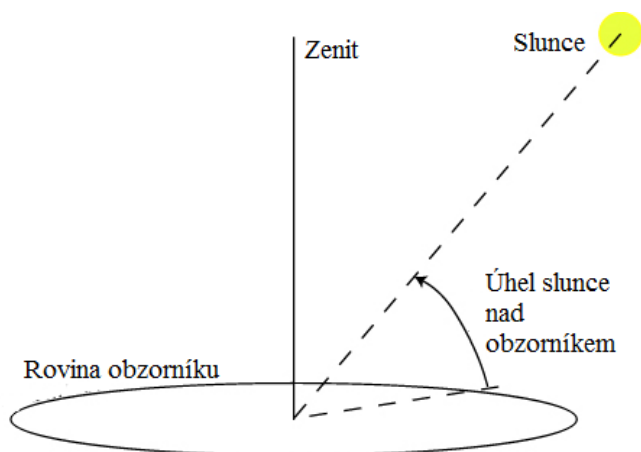
Úhel záběru od nadiru



Obr. 1 Úhel záběru od nadiru

Družicový snímek pořízený v nadiru má úhel záběru 0° , jedná se o svislý pohled z družice na Zemi. Tato možnost pořízení obrazu není častá, a proto se v informacích o snímku uvádí i úhel záběru, který se počítá od osy, která prochází nadírem. Jako maximální možný úhel záběru od nadiru se uvádí 30° . Čím menší úhel, tím menší je zkreslení terénu, hlavně pokud se jedná o vysoké stavby, kdy dochází k takzvanému "building lean" efektu, tj. na snímku jsou vidět horní části budov a zároveň i boční stěny.

Poloha Slunce



Obr. 2 Sluneční úhel nad obzorníkem

Jedná se o úhel, který svírá slunce s rovinou obzorníku. Poloha Slunce ovlivňuje délku stínů, které jsou ve snímku nežádoucí. Čím menší je úhel Slunce nad obzorem, tím delší jsou stíny a velká část snímku je často špatně

použitelná. Faktory ovlivňující polohu Slunce jsou denní doba, roční období a zeměpisná šířka místa, které je snímáno. Ideální podmínky pro pořízení snímku jsou v létě v pravé poledne na místě co nejbliže rovníku.

3.2 Zpracování dat

3.3 Příprava dat

Při zpracování družicových snímků je potřeba provést některé operace, které usnadní jejich další zpracování a usnadní získání důležitých informací. Mezi tyto úkony patří zejména vymezení zkoumané lokality a vylepšení kvality snímků. Při zjišťování informací z časové řady snímků je nutná transformace jednotlivých snímků na snímek v počáteční epoše, který je brán jako referenční.

Postup předzpracování je stejný pro všechny použité družicové snímky. V programu Geomatica, modul Focus je k dispozici algoritmus *Pansharpening*, který po spojení multispektrálních a panchromatických, vytvoří tzv. zaostřený multispektrální snímek s prostorovým rozlišením panchromatického snímku. Získaný snímek byl z hlediska výpočetní náročnosti příliš velký, protože pokrývá oblast celého Aleppa i část jeho okolí. Vzhledem k tomu, že se jednalo o případovou studii na malé části silně poničeného historického centra města, okolní části nebyly dále využity. Ze snímku bylo ořezáno zájmové území, které odpovídá historickému centru města (obr. 3), pomocí funkce *Clipping/Subsetting* v programu Geomatica.



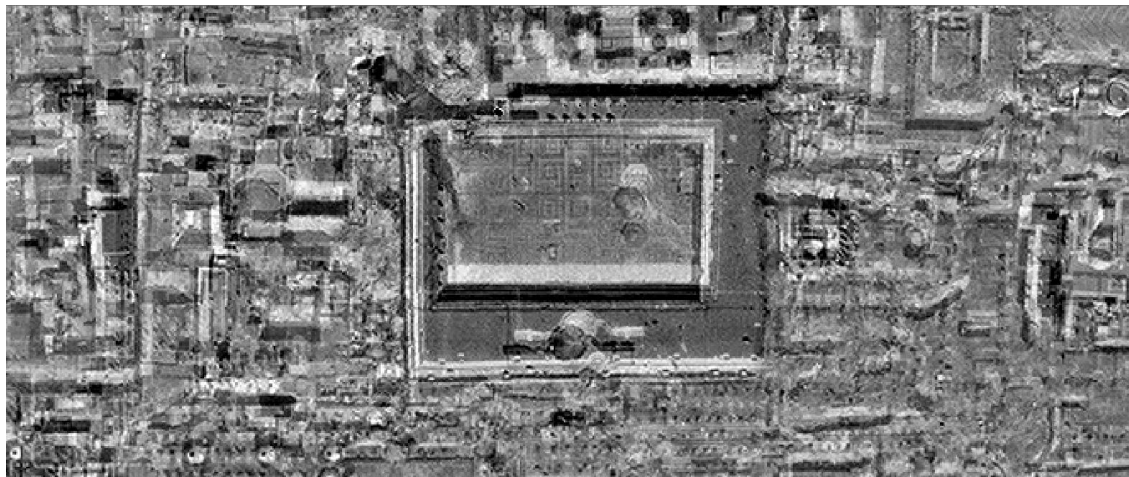
Obr. 3 Historické centrum Aleppa

Všechny snímky jsou sice poskytovány ve stejném souřadnicovém systému, ale vytvořená data mají svoji určitou vnitřní přesnost, proto je nutné provést transformaci na vybraný referenční družicový snímek. Snímek ve formátu *.tif* byl otevřen společně s referenčním družicovým snímkem v programu QGIS, kde byla provedena polynomická transformace 1. řádu pomocí funkce *Georeferencing*. Transformované snímky byly exportovány ve formátu *.tif*. Transformační protokol se nachází v příloze A.

3.3.1 Rozdíl družicových snímků

První zkoumanou metodou zjištění změn v zástavbě bylo odečtení dvou družicových snímků. Jako vhodný snímek k porovnání byl zvolen snímek s datem pořízení 23. května 2014, který byl porovnán s referenčními daty z 29. července 2012. Tato konkrétní testovací data byla vybrána z důvodu předpokládané snadné detekce změn, jelikož v tomto časovém období probíhaly v dané oblasti tvrdé boje a byla zničena velká část historických budov.

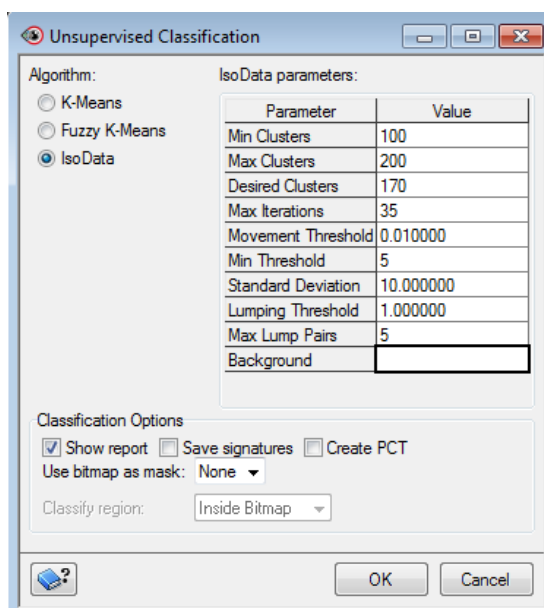
Tato operace byla provedena v programu Geomatica funkcí Raster Calculator jednoduchým odečtením dvou rastrů (obr. 4).



Obr. 4 Detail mešity na západ od Citadely

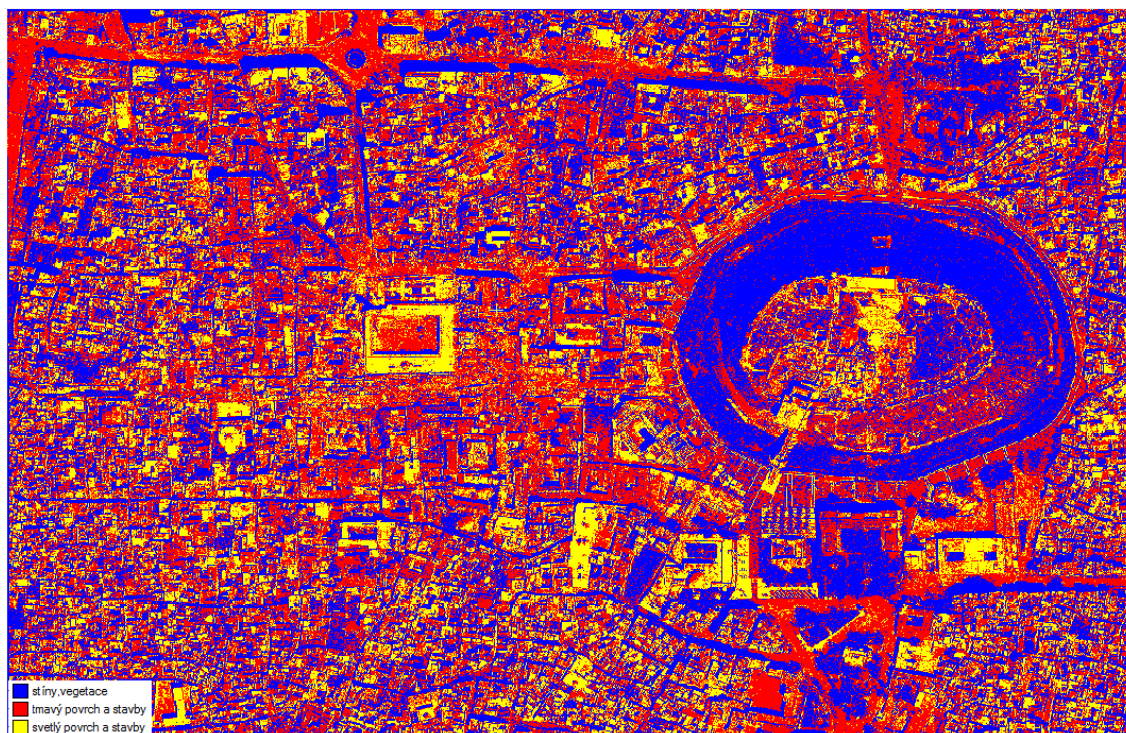
3.3.2 Neřízená klasifikace

Jako druhé bylo testováno poněkud komplexnější řešení. Opět byla zvolena stejná dvojice družicových snímků, které byly klasifikovány neřízenou klasifikací s využitím algoritmu ISODATA (obr. 5) v programu Geomatica.



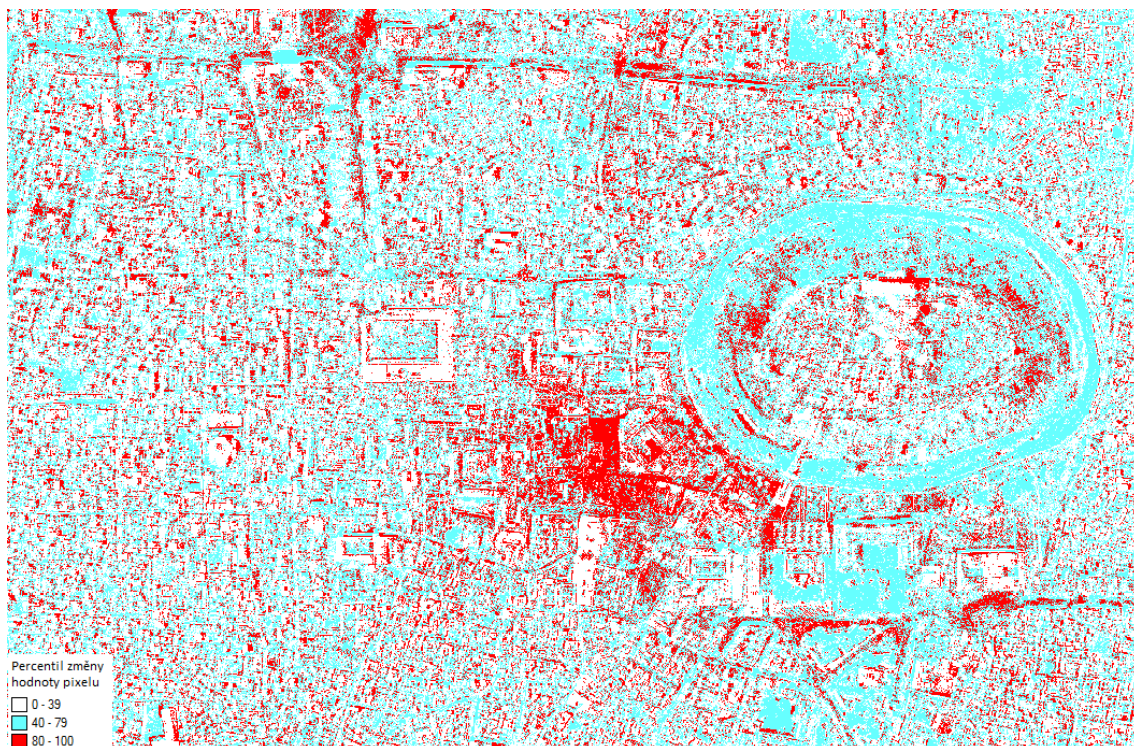
Obr. 5 Neřízená klasifikace - vstupní parametry

Poté byla vytvořeným spektrálním třídám přiřazena tematická informační hodnota pomocí post-klasifikační funkce *Aggregation*, kdy se jednotlivé spektrální třídy shlukují do nových tříd. Byly vytvořeny tři nové třídy, které rozdělují daný snímek na stíny a vegetaci, druhá třída zahrnuje tmavé povrchy a do třetí třídy patří velmi světlé povrchy (obr. 6).



Obr. 6 Neřízená klasifikace

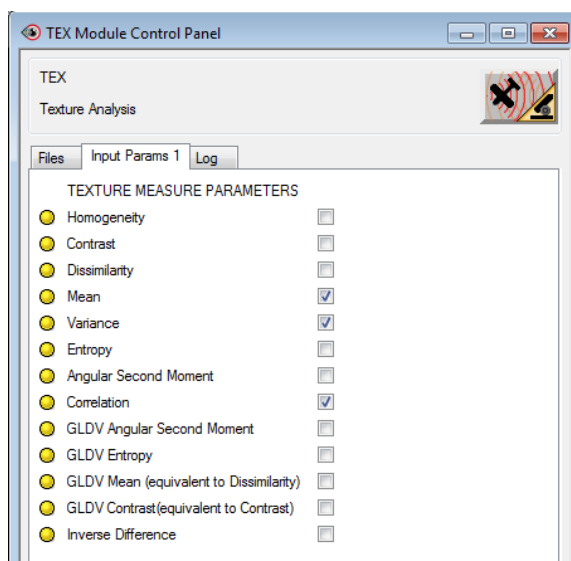
Pro závěrečné vyhodnocení již klasifikovaných snímků byla použita funkce *Change Detection*, pro zobrazení změn bylo využito varianty percentilu. Výsledné hodnoty pixelů jsou zobrazeny na stupnici v rozsahu 0 až 100. Hodnota pixelů, které se změnily minimálně, mají hodnotu bližší nule, největší změny odpovídají hodnotám blízcím se stovce. Pro přehlednost byla celá stupnice rozdělena opět na tři jinak barevné skupiny, čím tmavší barva, tím větší změna hodnoty pixelu (obr. 7). [17]



Obr. 7 Neřízená klasifikace - Výsledek

3.3.3 Objektová klasifikace

Další testovanou možností zpracování byla objektově orientovaná klasifikace. V programu Geomatica je k dispozici výpočetní algoritmus *TEX: Texture Analysis*, po vybrání snímku ke klasifikaci je několik možností, jak si výsledný klasifikovaný snímek zobrazit (obr. 8).



Obr. 8 Objektová klasifikace - Výběr algoritmů

Jako nejvhodnější metody výpočtu klasifikace byly vybrány *Mean*, *Variance* a *Correlation* (obr. 9, 10). Na závěr byly snímky opět použity ve funkci *Change Detection*, kde byly vyznačeny změny v jednotlivých epochách pořízení snímků. [17]



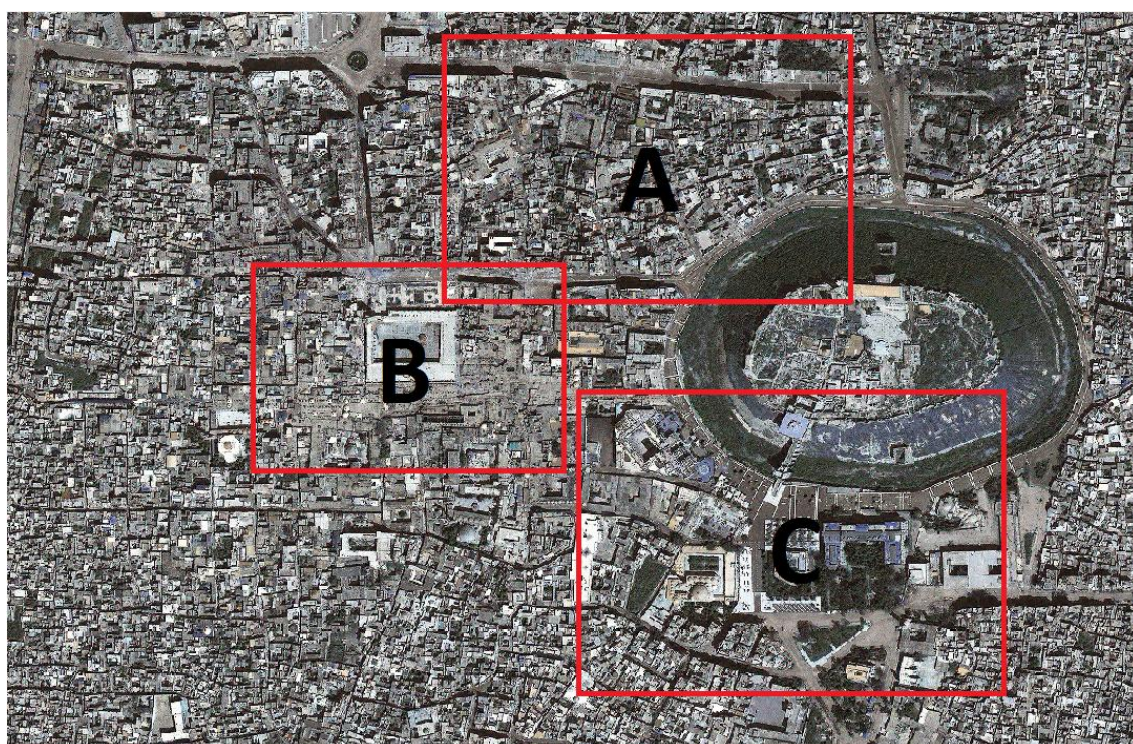
Obr. 9 Texturální klasifikace - metoda výpočtu *Variance*



Obr. 10 Texturální klasifikace - Detail na jih od Citadely

3.3.4 Vizuální interpretace

Na závěr byla provedena vizuální interpretace vzniklých škod na zástavbě ve zkoumané oblasti, jelikož veškeré výsledky automatizovaných metod vyhodnocení družicových snímků měly minimální nebo žádnou informativní hodnotu o změnách v zájmové lokalitě. Pro přehlednost byl zkoumaný družicový snímek rozdělen na tři menší snímky (obr. 10) které mají vhodnou velikost k interpretaci nálezů škod.



Obr. 11 Schéma výřezů

Změny byly vyznačeny barevně odlišenými ukazateli a zničené oblasti byly zvýrazněny barevnými polygony v závislosti na epoše, ve které proběhla změna. V závěru vizuální interpretace bylo vypočítáno procentuální zastoupení zničené části zkoumaného území.

4 Výsledky

Hlavním cílem této diplomové práce je výběr vhodné metody zpracování družicových dat pro detekci změn v městské zástavbě a následná dokumentace poškozených historických budov v centru Aleppa. Testování automatizovaných metod pro vyhledávání změněných míst proběhlo na malém výřezu a jen pro některé časové úseky. Všechny obrazové výstupy uvedené v této kapitole jsou orientovány směrem k severu.

První výstup je výsledkem použití metody prostého odečtení dvou rastrů ze zkoumaných časových období průběhu války. Myšlenka byla taková, že po transformaci a odečtení obou snímků by měly být vidět rozdíly v datech – tedy zničené budovy. Referenční snímek pořízený 29. června 2012 byl porovnán se snímkem s datem pořízení 23. května 2014.

S rozdílu snímků (obr. 12,13) nelze detekovat žádné změny. Důvodem je fakt, že se jedná o různé geometrické podmínky snímání, data by bylo nutno naprosto přesně georeferencovat a hlavně ortogonalizovat na základě velmi přesného digitálního modelu povrchu, který není k dispozici. Problémy jsou samozřejmě i stíny, které po odečtení vypadají jako změněná území.

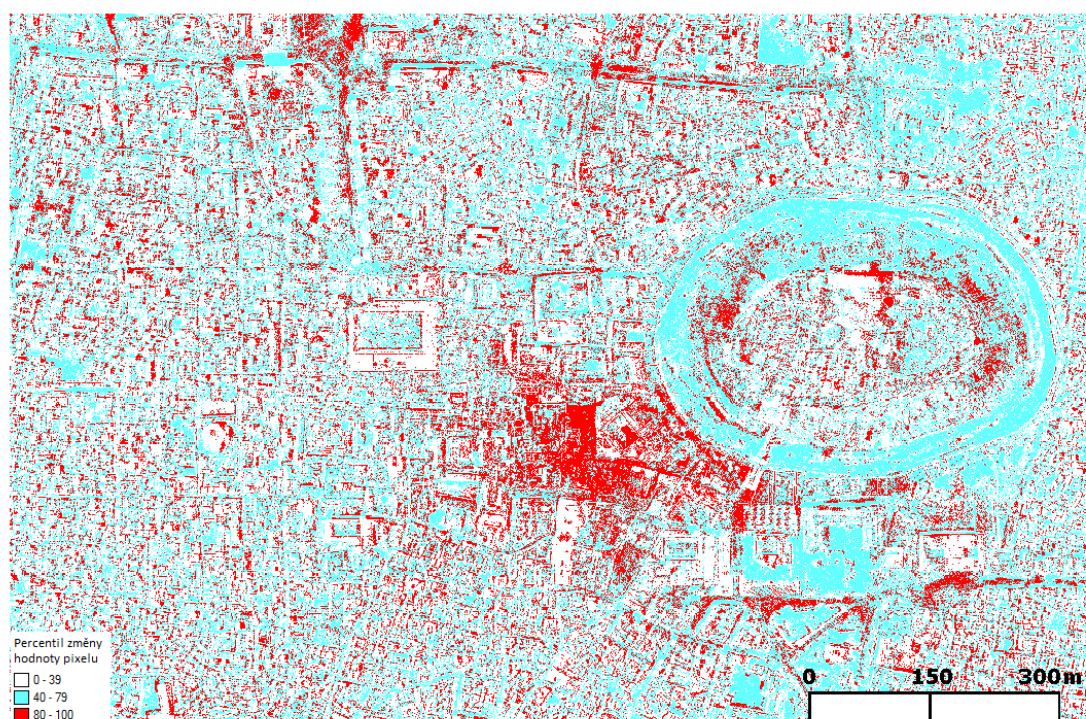


Obr. 12 Rozdíl snímků - Výsledek



Obr. 13 Detail - oblast na jid od Citadely

Další testovanou metodou bylo vyhodnocení snímků pomocí neřízené klasifikace a jejich následný rozdíl (obr. 14).



Obr. 14 Neřízená klasifikace - Výsledek

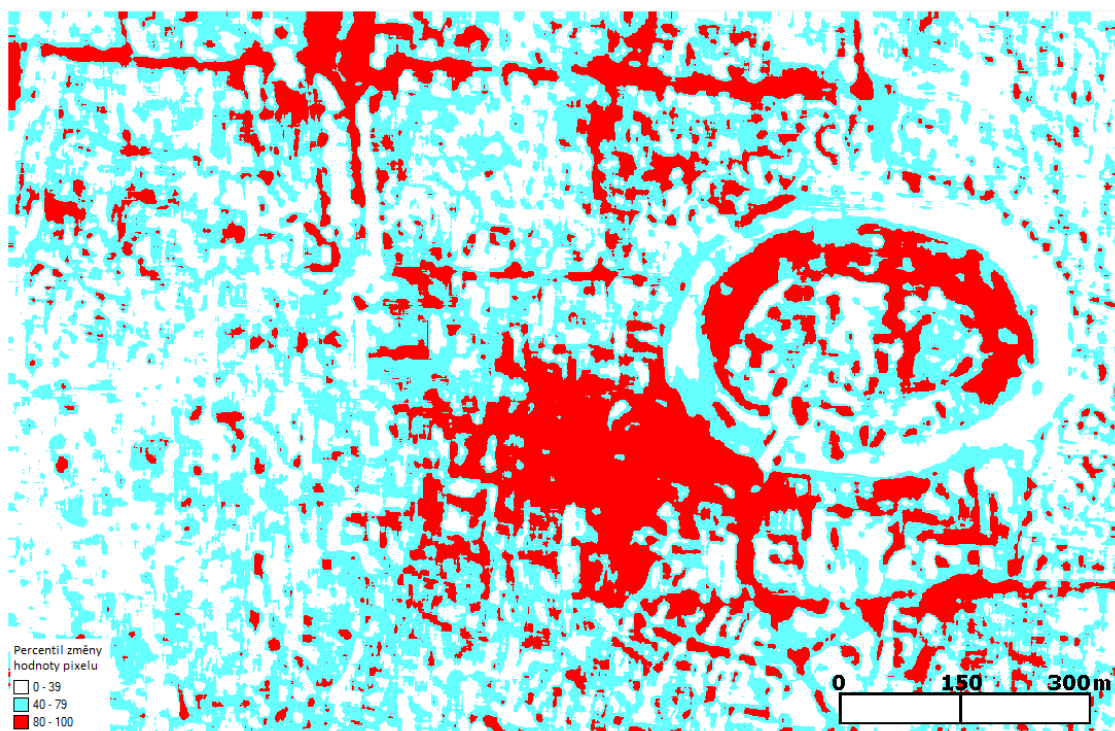
Červenou barvou jsou indikovány nalezené změny mezi zkoumanými epochami. V centrální části obrazu lze vidět větší shluky červené barvy, jejichž

poloha téměř odpovídá místům, kde byly způsobeny největší škody. Možnost identifikace míst s menší mírou poškození je velmi nepravděpodobná, jelikož drobné červené shluky mohou být i stíny nebo identická místa s rozdílnou spektrální odrazivostí.

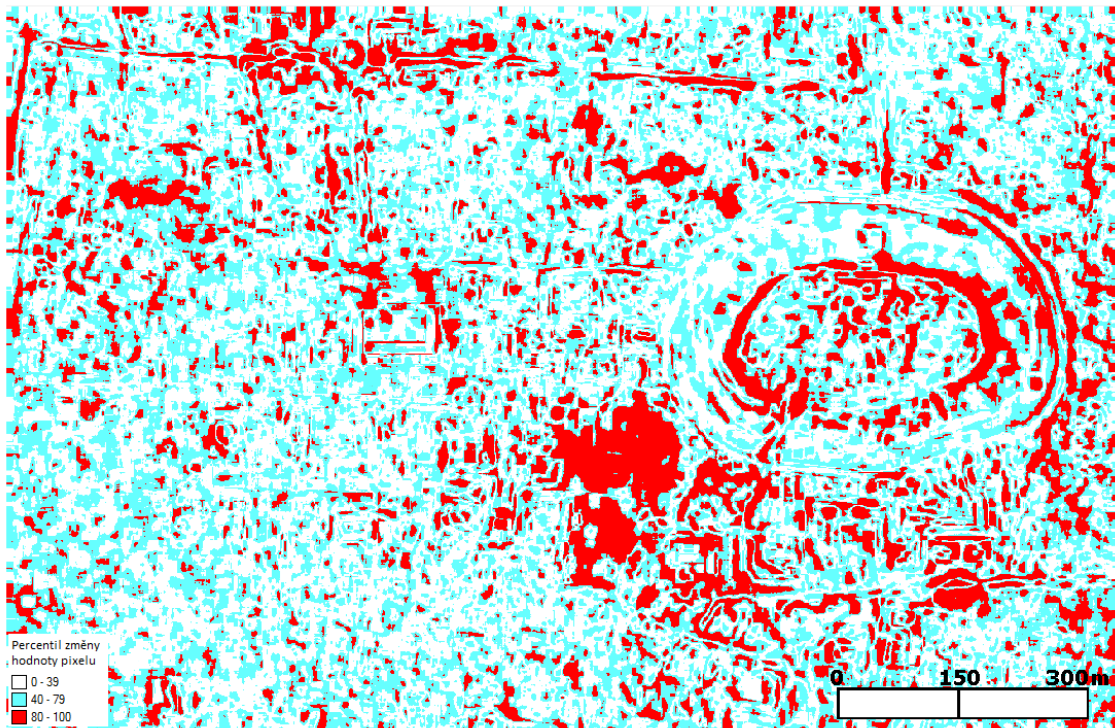
Technologie neřízené klasifikace se opět neukázala jako vhodnou, příčin je více, ale zásadně se jedná o problematiku spektrální odrazivosti, která je pro původní objekty i jejich ruiny téměř totožná.

Objektová klasifikace byla zvolena jako další testovaná metoda zpracování družicových snímků. Byly zvoleny tři typy výpočtu texturální analýzy, *Mean* (obr. 15), *Variance* (obr. 16) a *Correlation* (obr. 17). Červenou barvou jsou opět zvýrazněna místa s největší změnou. Nej kvalitnější výsledek vznikl z metody výpočtu *Mean*, kde jde v centrální oblasti (obr. 13) jasně identifikovat ucelená plocha, kde byla způsobena největší škoda. Opět jsou zde problémy se stíny a rozdílnou spektrální odrazivostí totožných povrchů jako u neřízené klasifikace, i když v poněkud menší míře.

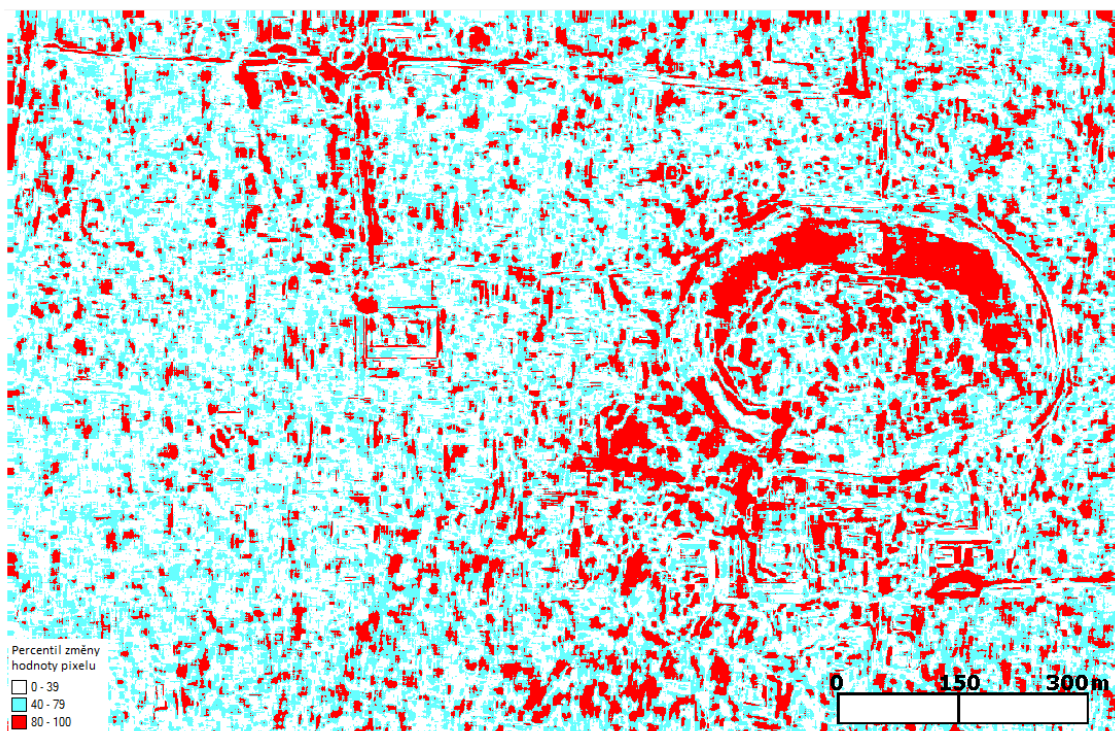
Texturální klasifikace daly nejlepší automaticky generované výsledky ze všech použitých metod. Použitá metoda se zaměřuje více na klasifikaci v závislosti na strukturálním uspořádání a homogenitě okolí klasifikovaných pixelů, což se ukázalo jako vhodné pro tento typ dat.



Obr. 15 Objektová klasifikace - Výsledek *Mean*

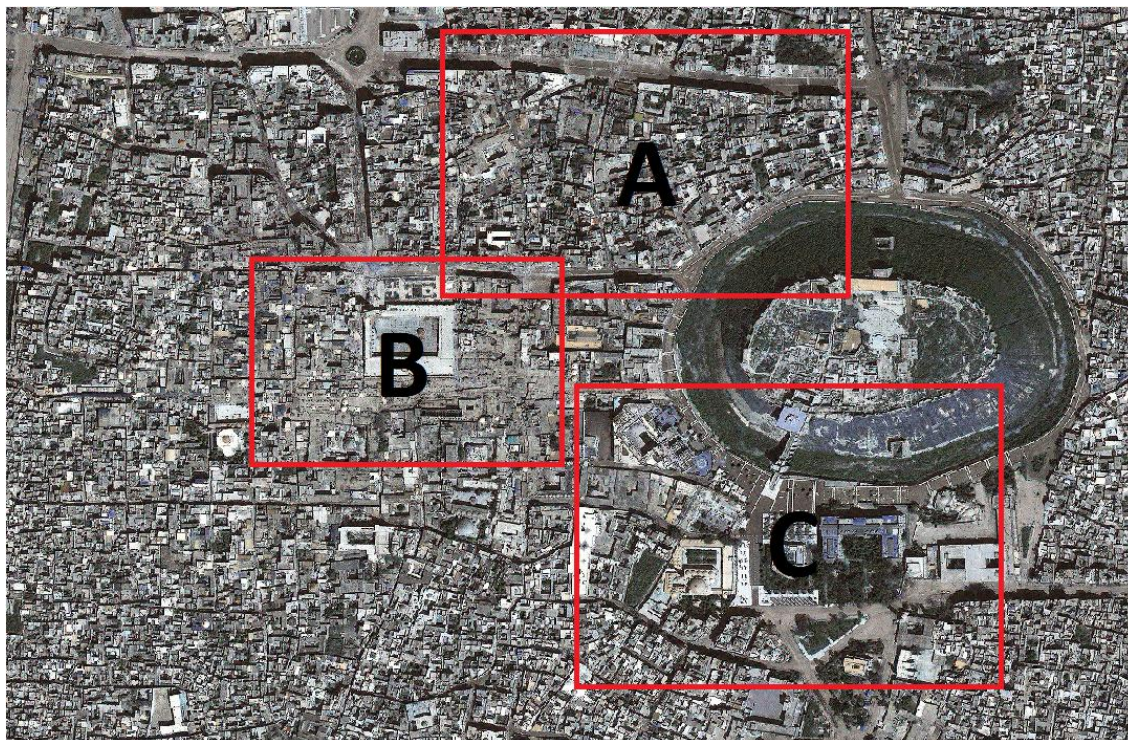


Obr. 16 Objektová klasifikace - Výsledek *Variance*



Obr. 17 Objektová klasifikace - Výsledek *Correlation*

Byla vyzkoušena celá řada automatizovaných metod analýzy pro vyhodnocení družicových snímků, bohužel s poněkud neuspokojivým výsledkem. Proto bylo nutné provést vizuální interpretaci vzniklých změn. Zkoumaná oblast byla rozdělena na tři menší zóny se zvýšenou mírou poškození (obr. 18).

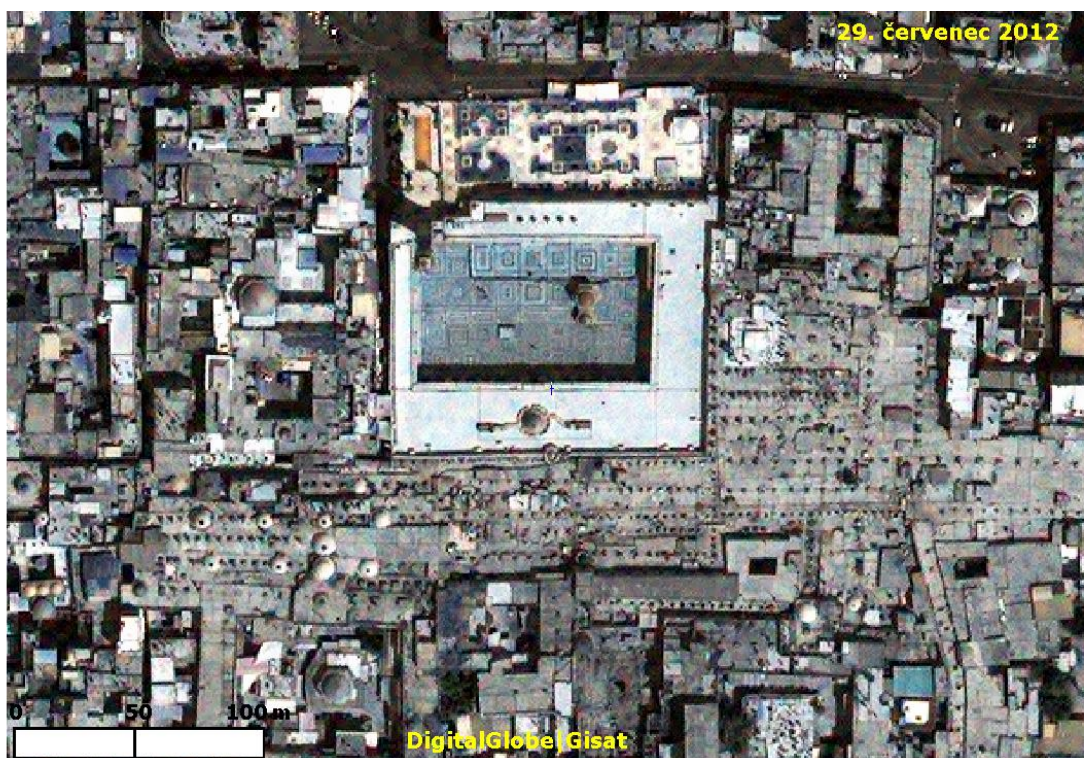


Obr. 18 Schéma výřezů

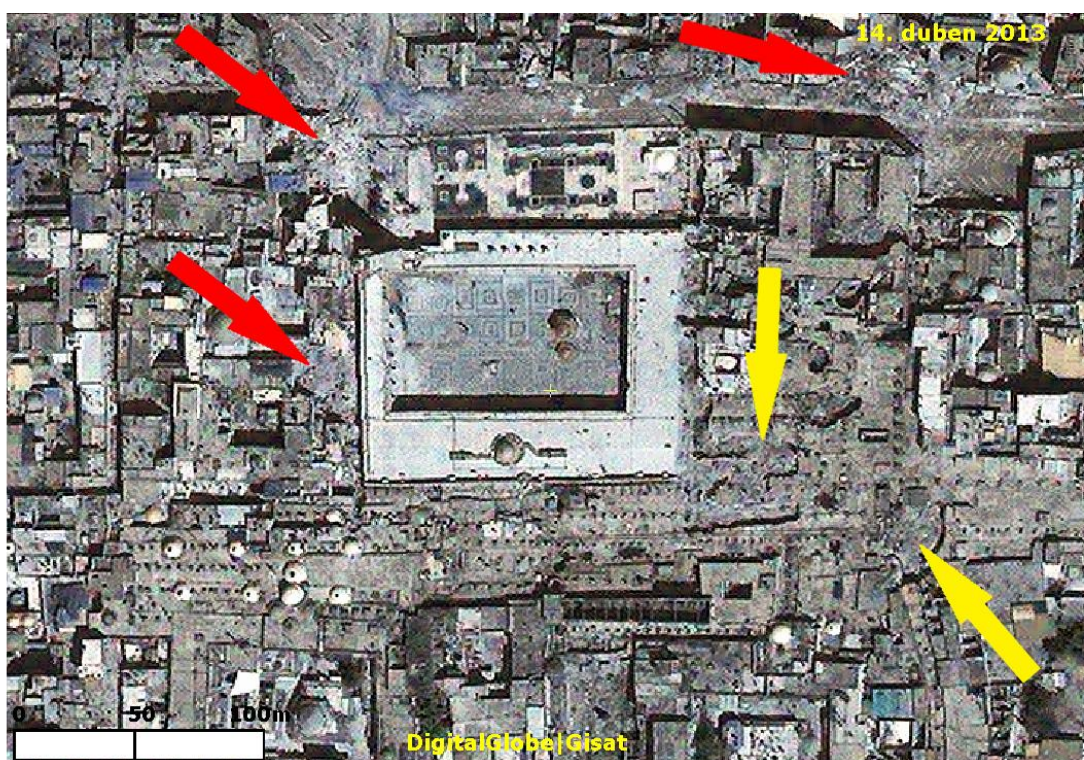
Na západ od Citadely (B) se nachází rozlehlé starověké tržiště Souq al-Madina, Velká Umayyadská mešita postavená v 8. století, a mnoho menších mešit a náboženských škol. Mnoho z těchto historických památek bylo nenávratně poškozeno v probíhající občanské válce.

V období mezi 29. červencem 2012 a 4. dubnem 2013 se zhroutila velká část střechy tržiště Souq al-Madina a poškozeno bylo také několik sousedních budov (obr. 20). Největší škoda z historického hlediska je vidět na snímku z 26. května 2013 (obr. 21). Průběhu tvrdých bojů v okolí Umayyadské mešity byl kompletně zničen 45 metrů vysoký minaret z 11. století umístěný v severozápadním rohu mešity. Na dalším snímku z 23. května 2014 (obr. 22) lze pozorovat dva krátery na východní straně mešity a pokračující kolaps poškozené střechy tržiště Souq al-Madina. Destrukce severovýchodní rohu

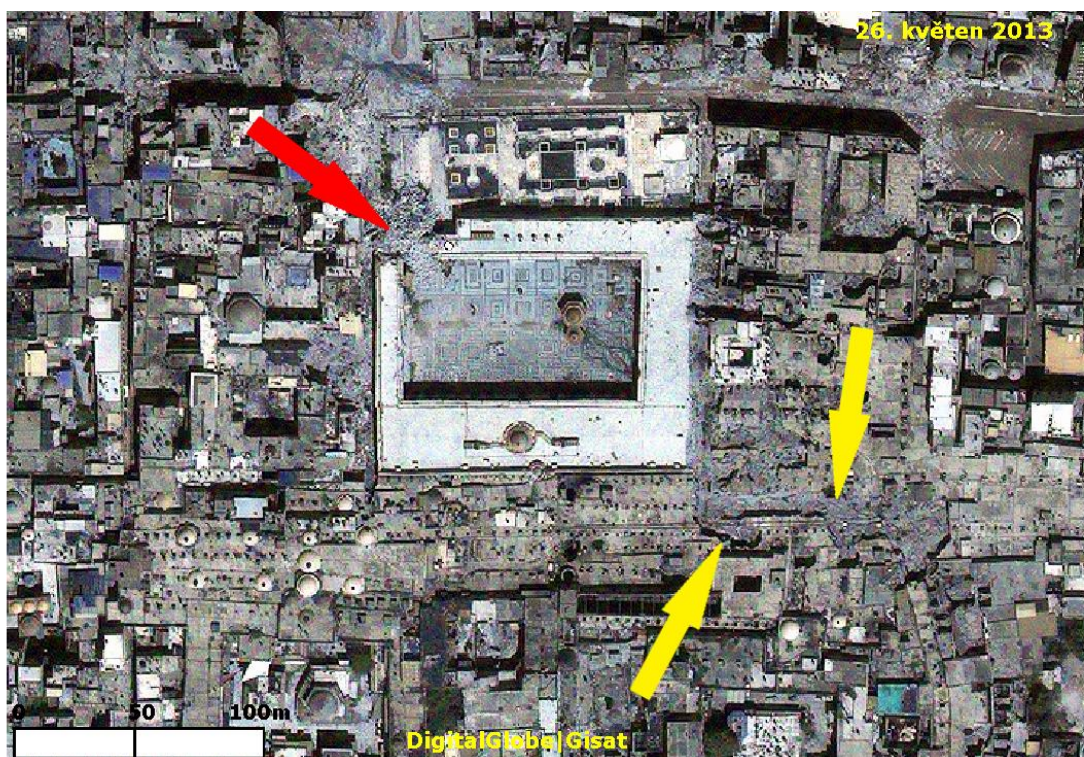
Umayyadské mešity s přilehlými budovami lze pozorovat na snímku z 3. června 2015 (obr. 23). [20]



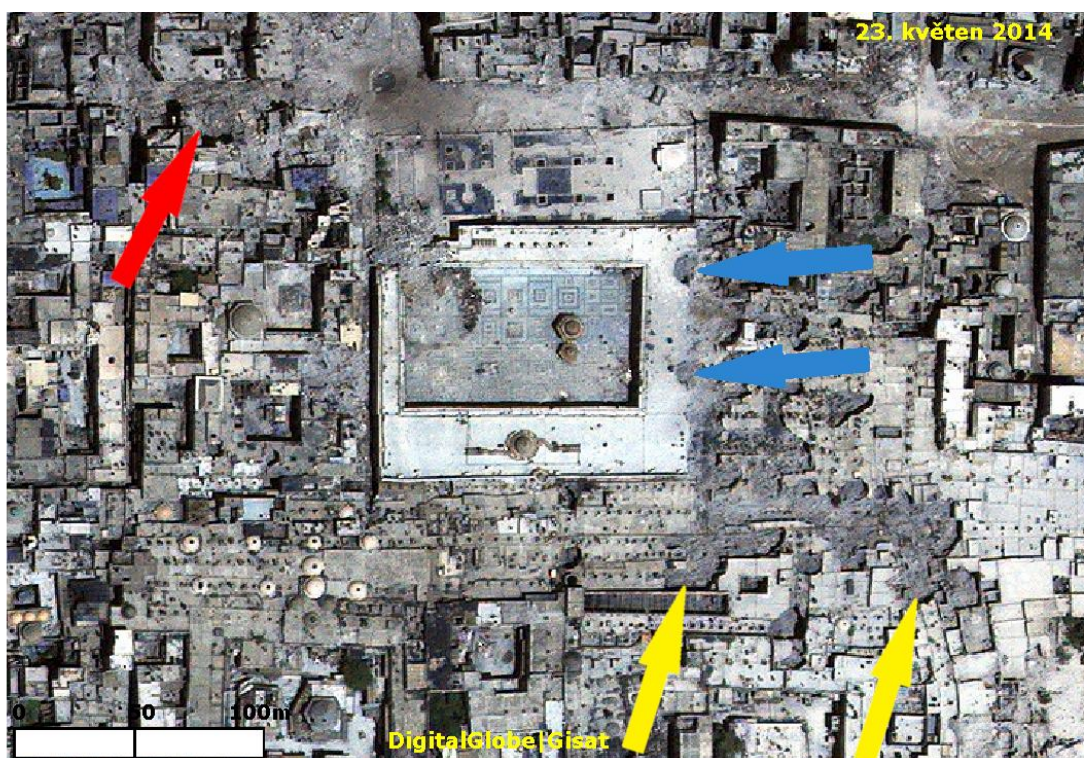
Obr. 19 Počáteční epocha - Výřez B



Obr. 20 Poničená střecha tržiště Souq al-Madina (žluté šipky), zničené okolní obytné domy (červené šipky).



Obr. 21 Kompletní destrukce minaretu (červená šipka), rozšiřující se kolaps střechy tržiště Souq al-Madina (žluté šipky).



Obr. 22 Stále se rozšiřující kolaps střechy tržiště Souq al-Madina (žluté šipky), objevily se dva krátery ve východní stěně mešity (modré šipky), zničeny další obytné domy (červená šipka).



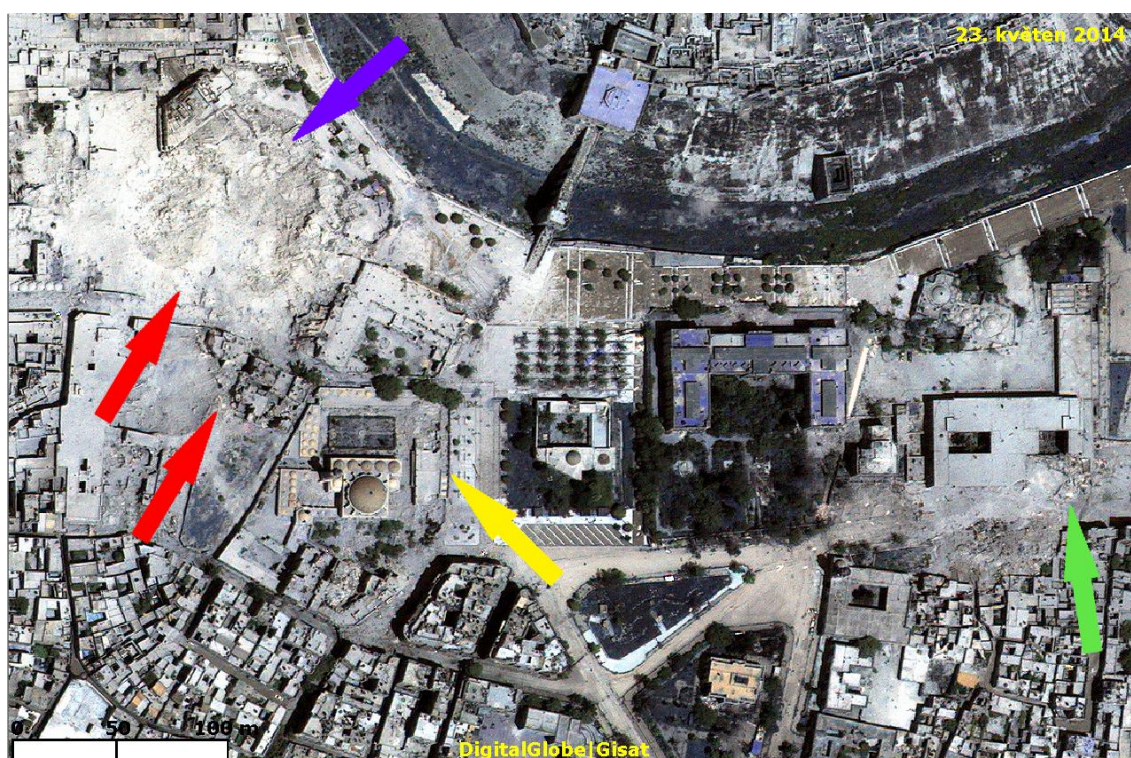
Obr. 23 Zničený severovýchodní roh mešity společně s okolními stavbami (modrá šipka).

Největší koncentrace škod je v oblasti na jih od Citadely (C). V této lokalitě se nachází množství vládních budov jako je Ministerstvo spravedlnosti, Velitelství policie a Grand Serail, což byla hlavní vládní budova, když byla Sýrie ještě pod nadvládou Francie. Další historické budovy nacházející se v této lokalitě jsou veřejné lázně Hammam Yalbougha an-Nasry z 15. století, známý hotel Carlton z 19. století a mešity Khusruwiye (16. století) a al-Sultaniyeh (13. století).

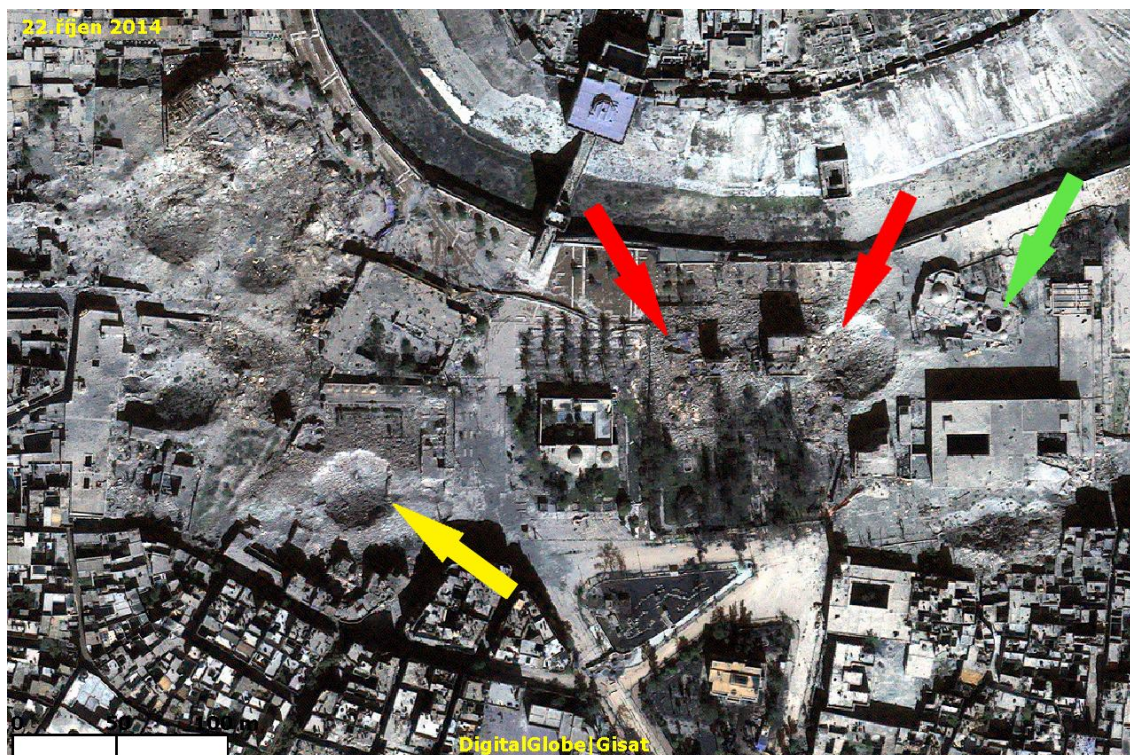
V období mezi 29. červencem 2012 a 23. květnem 2014 (obr. 24) byl srovnán se zemí hotel Carlton s mnoha přiléhajícími budovami. Také byl poškozen jihovýchodní roh budovy Ministerstva spravedlnosti společně s Velitelstvím policie, částečně byla poškozena mešita Khusruwiye v její východní části. Na snímku z 22. října 2014 (obr. 25) je vidět kompletní destrukce vládní budovy Grand Serail, po které zůstal v zemi kráter o průměru 40 metrů. Druhý kráter v zemi zůstal po téměř úplném zničení mešity Khusraw. Také byla zničena střešní kupole veřejných lázní Hammam Yalbougha an-Nasry. Na posledním snímku z 3. června 2015 (obr. 26) lze pozorovat zbytky zničené al-Sultaniyeh mešity. [20]



Obr. 24 Počáteční epocha - Výřez C



Obr. 25 Velmi poničený jihovýchodní roh budovy Ministerstva spravedlnosti (zelená šipka), kompletní destrukce hotelu Carlton (fialová šipka) se sousedními budovami (červené šipky), lehce poškozená východní část mešity Khusraw (žlutá šipka).



Obr. 26 Kompletně zničená Khusraw mešita (žlutá šipka) společně s vládní budovou Grand Serail (červené šipky), rozstřílená střešní kupole veřejných lázní Hammam Yalbougha an-Nasry (zelená šipka).



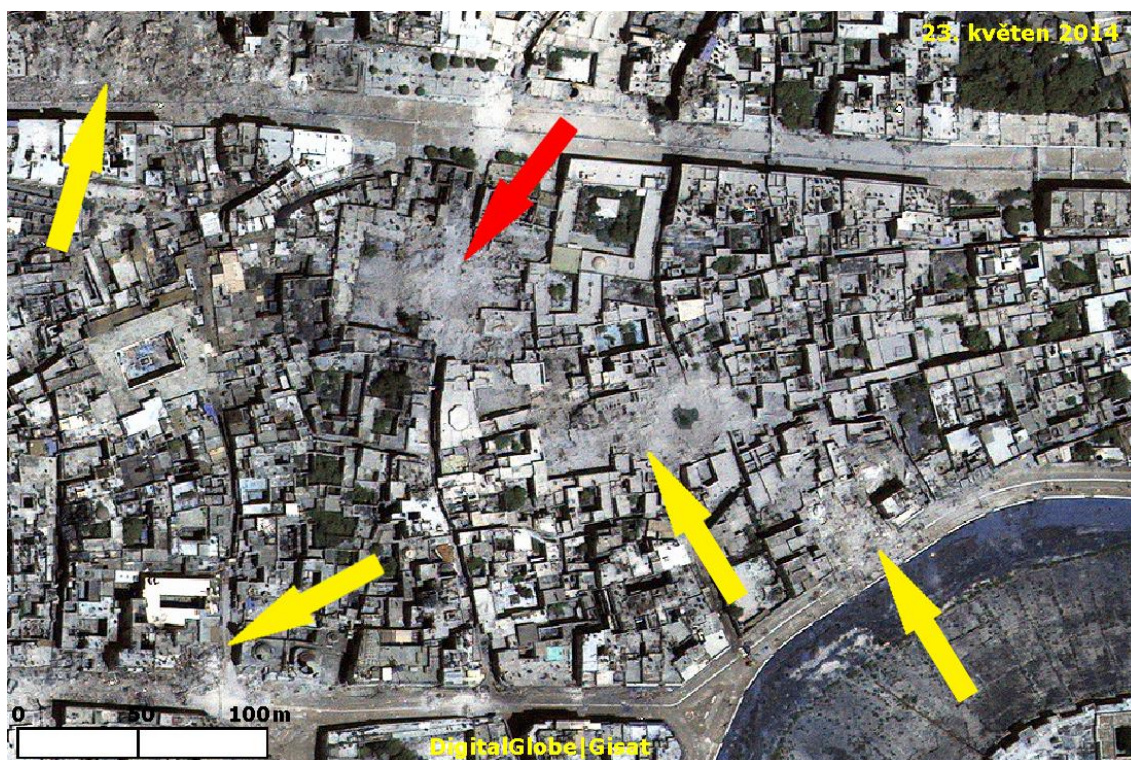
Obr. 27 Kompletně zničená mešita al-Sultaniyeh (červená šipka).

Na družicových snímcích byly nalezeny rozsáhlé škody i na sever od Citadely (A). Tato oblast je z velké části zaplněna obytnou zástavbou, která zahrnuje budovy, jejichž stáří se datuje od doby, kdy město kontrolovali Mameluci (13. století) do 19. století, kdy bylo území pod kontrolou Osmanských Turků. Stojí zde také karavanní stanice Khan Qurt Bey, historická budova, jejíž vznik se datuje do 15. století.

Na snímku z 23. května 2014 (obr. 29) je vidět zničená východní stěna karavanní stanice Khan Qurt Bey, na několika místech byla zničena historická obytná zástavba. Rozšiřující se postupné ničení obytných míst se ukazuje i na snímku z 3. června 2015 (obr. 30). [20]



Obr. 28 Počáteční epocha - Výřez A



Obr. 29 Zničená východní stěna karavanní stanice Kahn Qurt Bey (červená šipka)

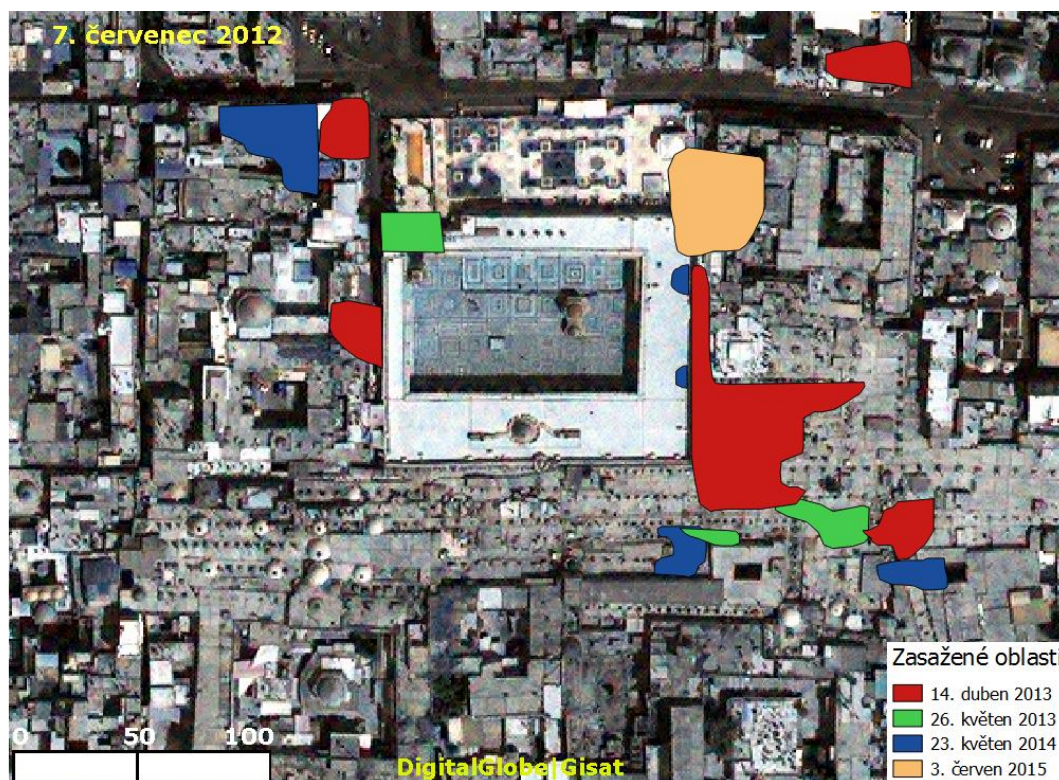


Obr. 30 Další zničené obytné budovy (žluté šipky).

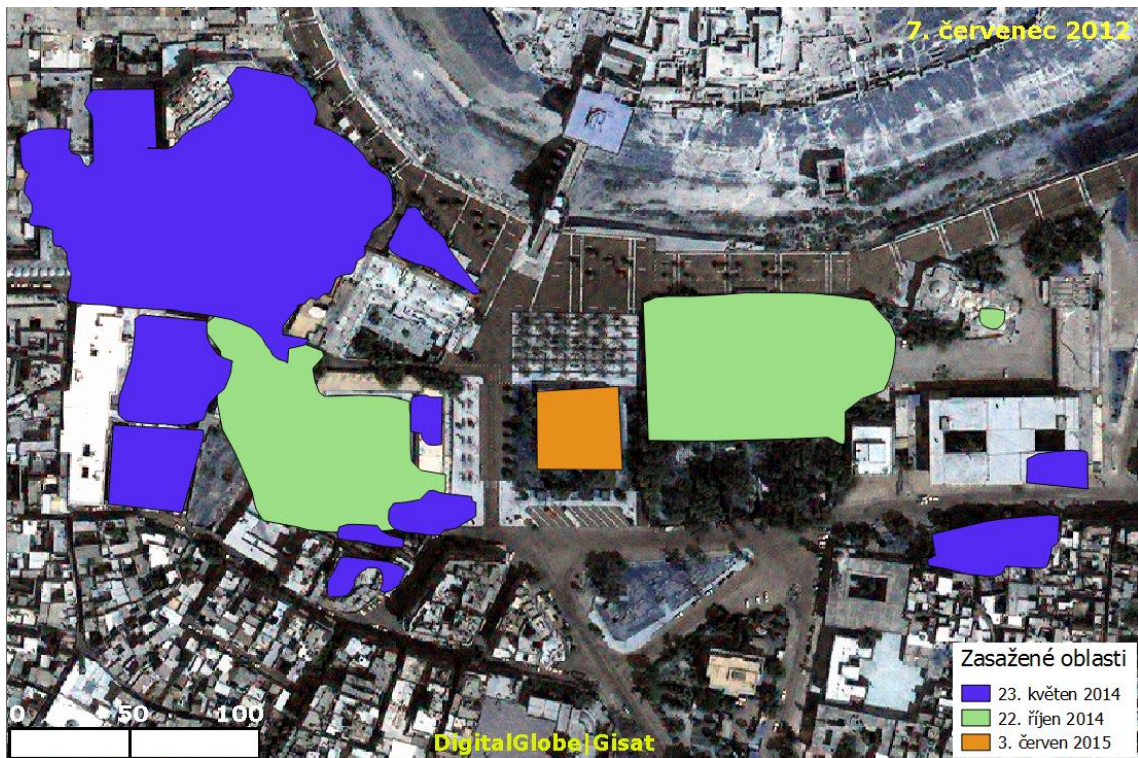
Na závěr této kapitoly jsou přehledně graficky zobrazeny rostoucí škody v průběhu válečných let pro jednotlivé zkoumané oblasti A, B, C (obr. 30-32) a v tabulce (tab. 2) je uvedeno procento zničené plochy.

Výřez	2012	2013	2014	2015	Celková zničená plocha
A	0%	0%	4%	4%	8%
B	0%	4%	1%	1%	6%
C	0%	0%	20%	1%	21%

Tab. 2 Procenta zničené plochy v průběhu let



Obr. 31 Vývoj škod v průběhu let - Výřez B



Obr. 32 Vývoj škod v průběhu let - Výřez C



Obr. 33 Vývoj škod v průběhu let - Výřez A

Diskuze a závěr

Hlavním cílem této práce bylo nalezení vhodné metodiky pro zkoumání růstu či zániku částí měst, speciálně v aplikaci na válkou poničené syrské město Aleppo. Data z dálkového průzkumu Země poskytují značnou výhodu ve zjišťování změn v zástavbě oproti pozemnímu průzkumu, který je v této lokalitě prakticky nemožný. Jako vhodnou oblastí pro využití těchto dat se nabízí špatně přístupné nebo nebezpečné lokality, které mají být monitorovány.

V úvodu práce byl popsán historický a technologický vývoj DPZ, historie a momentální politická situace ve zkoumané lokalitě, byly tam také vysvětleny veškeré základní pojmy, které jsou spjaty s tématem této práce.

Analýza změn byla prováděna z družicových snímků družic ve vybraných časových horizontech. Pro práci byla použita družicová data družic GeoEye-1, QuickBird-2 a WorldView-2, byly k dispozici panchromatické i multispektrální snímky.

K analýze a úpravě snímků byly použity softwary Geomatica a QGIS. Prvním krokem bylo připravení si potřebných dat, což zahrnovalo výběr vhodných snímků k analýze a ořezání snímků zkoumané lokality. Všechna data byla ve stejném souřadnicovém systému, ale i přesto bylo potřeba na sebe jednotlivé snímky transformovat, protože pořízená data byla georeferencována pouze v řádu metrů. Ke zvolenému referenčnímu snímku, který byl pořízen 29. července 2012 byl vybrán snímek pro porovnání, kritériem bylo, aby na snímku bylo zachyceno co nejvíce zničených či jinak poškozených budov. Jako vhodný byl vybrán snímek z 23. května 2014.

První testovanou metodou bylo odečtení dvou snímků, metoda byla zvolena z důvodu snadné rychlé přípravy dat, která spočívala pouze v ořezání, transformaci a následného odečtení snímků. Z výsledného rastru však nebylo možné detekovat žádné velké či malé změny v zástavbě. Předpoklad byl takový, že se mezi sebou odečtou všechny pixely budov či jiných struktur. Tam, kde proběhla jakákoliv změna, nastane po odečtení snímků velký rozdíl. Z důvodu rozdílných parametrů při pořízení zkoumaných družicových snímků, nemohl výpočet proběhnout efektivně. Snímky byly pořízeny v jinou část dne i jinou roční dobu. Z rozdílného naklonění budov je evidentní, že snímky mají i

jiný úhel záběru od nadiru. Aby byla tato i jakákoliv jiná metoda efektivní, je nutné se co nejvíce přiblížit ideálním podmínkám při pořizování družicových dat: všechny snímky zpracováváné v časové řadě by měly být pořízeny jednou družicí, která má vždy co nejmenší úhel záběru od nadiru, měly by být pořízeny ve stejnou roční dobu a ideálně i ve stejný den a hodinu. Ideálním obdobím pořízení družicových snímků je právě poledne v průběhu letních měsíců, kdy se poloha slunce nejvíce přibližuje 90° tzn. úhel mezi sluncem a rovinou obzorníku je maximální.

Po neúspěchu první metody byly snímky zpracovány pomocí neřízené klasifikace. Požadovaný počet tříd byl 200 z důvodu věrnější interpretace povrchu, poté byly třídy v post-klasifikační úpravě sjednoceny do tří výsledných tříd (stíny a vegetace, tmavé stavby a povrch, světlé stavby a povrch). Po těchto úpravách byly snímky opět odečteny. Na výsledném rastru lze pozorovat náznaky oblastí, kde proběhly velké změny, zejména v centrální oblasti. Avšak malé shluky, kde byly detekovány změny, se objevují po celém výsledném rastru. Bylo očekáváno, že budou zobrazena všechna místa, kde proběhly změny s předpokladem založeným na tom, že zničené oblasti budou mít jinou spektrální odrazivost než zastavěná plocha. Je to opět způsobeno již dříve vysvětleným problémem stínu a rozdílných náklonů budov mezi snímky. Ve výsledku se projevuje i nový problém a to spektrální odrazivost materiálu ve zkoumané oblasti. Střechy budov mají stejnou spektrální odrazivost jako komunikace, vegetace má téměř stejnou odrazivost jako stíny. Navíc se ještě liší spektrální odrazivost stejných míst mezi oběma zkoumanými snímky. Bohužel tento problém nelze nijak efektivně eliminovat. Typické pro města na Blízkém a Středním východě a především jejich historická centra je, že byla budována z jednoho typu materiálu, který má stejnou spektrální odrazivost, ať je v podobě trosek nebo v podobě budovy.

Jelikož spektrální odrazivost materiálů v dané lokalitě znemožňuje efektivní vyhodnocení časové řady s využitím metody neřízené klasifikace, byla testována také objektová (texturální) klasifikace. Metoda je založena na automatickém vyhledávání objektů ve snímku na základě homogenity celků reprezentující reálný model. Snímky byly pomocí třech zvolených výpočetních algoritmů klasifikovány a poté od sebe odečteny. Vznikly tři výsledky, na nichž

Ize pozorovat, že tato metoda v porovnání s ostatními testovanými metodami dává nejkvalitnější výsledky. Nejlépe jsou změny pozorovatelné na výsledku, který vznikl s využitím výpočetního algoritmu *Mean*. Oblasti změn způsobené velkými stíny jsou ve výsledku stále vidět (např. velký stín pokrývající severní stranu Citadely), ale byla eliminována většina změn způsobených malými stíny. I když tato metoda dosahuje zatím nejlepších výsledků, stále se zde objevují chybné detekce změn způsobené stíny, rozdílným náklonem budov a spektrální odrazivostí materiálů.

Na závěr byly škody detekovány vizuální interpretací s pomocí barevných značek umístěných do družicových snímků. Celková zkoumaná oblast byla rozdělena na tři zájmová území v závislosti na tom, kde bylo nalezeno největší poškození. Jako první byla vyhodnocena oblast na západ od Citadely v okolí Umayyadské mešity. Největší ztráta z historického a kulturního hlediska je zde vyznačena na snímku pořízeném 26. května 2013, kdy byl zničen minaret v severozápadním rohu mešity. Není jasné, kterou válčící stranou byl zničen, jelikož se obě strany navzájem obviňují a nikde není jasně uvedeno, kdo je za to zodpovědný. Druhá oblast vizuální interpretace se nachází na jih od Citadely, zde bylo během války způsobeno nejvíce škod na historických budovách z celé zkoumané oblasti. Rebelové vyhodili do povětří hotel Carlton, který sloužil jako základna vládních sil. Byla podminována a kompletně zničena většina budov v této oblasti, zejména byla zdemolována historická budova Grand Serai, která sloužila jako hlavní vládní budova, když Sýrii okupovala Francie. Byly zničeny obě mešity a ze snímku lze vidět i rozstřelenou střešní kupoli veřejných lázní. Oblast severně od Citadely je třetí zkoumanou lokalitou. Mimo množství zničených obytných budov zde byla rozstřílena východní část karavanní stanice, která zde stojí od 15. století.

Poslední krok zpracování spočíval v přehledném vyznačení zničených ploch do družicových snímků a následný procentuální výsledek poničení snímané oblasti.

Vizuální interpretace se v tomto výzkumu s těmito konkrétními daty ukázala jako jediná efektivní metoda pro identifikaci a interpretaci vzniklých škod. Je možné identifikovat i velmi malé poškození typu rozstřelené střešní kupole, které by nebylo možné zjistit s použitím automatizovaných metod.

Pomocí klasifikačních postupů použitých v této práci bylo možné detekovat pouze rozsáhlé škody na jih od Citadely.

V návaznosti na provedený výzkum by bylo vhodné vyzkoušet použití družicových dat pořízených za ideálních podmínek, aby byly použité metody zpracovány mnohem efektivněji.

Použité zdroje

- [1] SCHEJBAL C., HOMOLA V., STANĚK F. *Geoinformatika*. Košice: PONT, 2004. ISBN 80-967611-8-8.
- [2] GOJDA M. *Archeologie a dálkový průzkum*. Praha: Academia, 2017 ISBN 978-80200-2644-6.
- [3] NEWHALL B. *The History of Photography: From 1839 to Present*. Rochester, N.Y.: The Museum of Modern Art, 1982. ISBN 978-0870703812
- [4] DEUEL L. *Flights into Yesterday: The story of aerial archeology*. Harmondsworth: St. Martin's Press, 1973. ISBN 978-1199037800.
- [5] SCHMIDT E.F. *Flights Over Ancient Cities of Iran*. Chicago: University of Chicago Press, 1940. ISBN 0-918986-96-6.
- [6] LAVERS CH. *The Origins of High Resolution Civilian Satellite Imaging*. [online], 2013. <https://www.directionsmag.com/article/1652>
- [7] PARCAK S.H. *Satellite Remote Sensing for Archeology*. Alabama, USA, Routledge, 2009. ISBN 978-0415448789.
- [8] KENNEDY D., BEWLEY R. *Ancient Jordan from the Air*. UK, Council for British Research in the Levant, 2004. ISBN 978-0953910229.
- [9] APAAME. [online], 2018. <http://www.apaame.org/>
- [10] UR A.J. *Urbanism and cultural landscapes in northeastern Syria, The Tell Hamoukar survey 1999-2001*. Chicago, Oriental Institute Publications, 2010. ISBN 978-1-885923-73-8
- [11] CORONA. [online], 2018. <http://corona.cast.uark.edu/>
- [12] UNEP, UNCHS *The Kosovo conflict Consequences for the Enviroment and Human settlements*. [online], 1999. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8433/-The%20Kosovo%20Conflict%20Consequences%20for%20the%20Environment%20%26%20Human%20Settlements-1999378.pdf>

- [13] AL-KHUDHAIRY D. *Structural Damage Assessments from Ikonos Data Using Change Detection, Object-Oriented Segmentation, and Classification Techniques*. [online], 2005.
https://www.researchgate.net/publication/259184337_Structural_Damage_Assessments_from_Ikonos_Data_Using_Change_Detection_Object-Oriented_Segmentation_and_Classification_Techniques
- [14] LEMPINEN E.W. *Pioneering AAAS project finds strong evidence of Yimbabwe repression*. Washington DC, American Association for the Advancement of Science, 2006.
https://www.eurekalert.org/pub_releases/2006-05/cp-sio053006.php
- [15] TAPETE D. *Mapping Changes and Damages in Areas of Conflict: from Archive C-band SAR Data to New HR X-band Imagery, towards the Sentinels*. [online], 2015.
https://www.researchgate.net/publication/301449307_Mapping_Changes_and_Damages_in_Areas_of_Conflict_from_Archive_C-band_SAR_Data_to_New_HR_X-band_Imagery_towards_the_Sentinels
- [16] GISAT. [online], 2018. <http://www.gisat.cz>
- [17] PCI GEOMATIC [online], 2018. <http://www.pcigeomatics.com/>
- [18] JUPOVÁ K. Využití objektové klasifikace dat DPZ pro monitorování rozptýlené zeleně v krajině. Praha: UK, 2007. Diplomová práce, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta.
- [19] UNESCO *Ancient City of Aleppo*. [online], [Citace:14.4.2018]. <https://whc.unesco.org/en/list/21>
- [20] WIKIPEDIA *Aleppo*. [online], Poslední editace 8.4.2018, [Citace: 14.4.2018]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Aleppo>
- [21] WORLD POPULATION REVUE *Population of Cities in Syria* [online], [Citace: 16.4.2018].
<http://worldpopulationreview.com/countries/syria-population/cities/>

[22] WIKIPEDIA *Občanská válka v Sýrii*. [online]

Poslední editace 10.4.2018, [Citace: 15.4.2018].

https://cs.wikipedia.org/wiki/Ob%C4%8Dansk%C3%A1_v%C3%A1lka_v_S%C3%BDrii

[23] WIKIPEDIA *Bitva o Aleppo*. [online]

Poslední editace 15.3.2018, [Citace:15.4.2018].

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Bitva_o_Aleppo_\(2012%E2%80%932016\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Bitva_o_Aleppo_(2012%E2%80%932016))

Seznam zkratek

DPZ - Dálkový průzkum Země

GPS - Global positioning system

GIS - geografické informační systémy

SPOT - Satellite Pour l'Observation de la Terre

APAAME - Aerial photographic archive for archeology in the Middle east

NATO - North Atlantic Treaty Organization

IRS - Indian remote sensing

RGB - red, green, blue

ISODATA - Iterative self-organizing data analysis technique

WGS - World geodetic system

UTM - Universal Transverse Mercator

MS - Multispektrální

PAN - Panchromatická

FSA – Free Syrian Army

Seznam obrázků

Obr. 1 Úhel záběru od nadiru	28
Obr. 2 Sluneční úhel nad obzorníkem	28
Obr. 3 Historické centrum Aleppa.....	30
Obr. 4 Detail mešity na západ od Citadely.....	31
Obr. 5 Neřízená klasifikace - vstupní parametry	31
Obr. 6 Neřízená klasifikace	32
Obr. 7 Neřízená klasifikace - Výsledek.....	33
Obr. 8 Objektová klasifikace - Výběr algoritmů	33
Obr. 9 Texturální klasifikace - metoda výpočtu <i>Variance</i>	34
Obr. 10 Texturální klasifikace - Detail na jih od Citadely	34
Obr. 11 Schéma výřezů.....	35
Obr. 12 Rozdíl snímků - Výsledek	36
Obr. 13 Detail - oblast na jid od Citadely	37
Obr. 14 Neřízená klasifikace - Výsledek	37
Obr. 15 Objektová klasifikace - Výsledek <i>Mean</i>	39
Obr. 16 Objektová klasifikace - Výsledek <i>Variance</i>	40
Obr. 17 Objektová klasifikace - Výsledek <i>Correlation</i>	40
Obr. 18 Schéma výřezů.....	41
Obr. 19 Počáteční epocha - Výřez B	42
Obr. 20 Poničená střecha tržiště Souq al-Madina (žluté šipky), zničené okolní obytné domy (červené šipky).	42
Obr. 21 Kompletní destrukce minaretu (červená šipka), rozšiřující se kolaps střechy tržiště Souq al-Madina (žluté šipky).....	43
Obr. 22 Stále se rozšiřující kolaps střechy tržiště Souq al-Madina (žluté šipky), objevily se dva krátery ve východní stěně mešity (modré šipky), zničeny další obytné domy (červená šipka).....	43
Obr. 23 Zničený severovýchodní roh mešity společně s okolními stavbami (modrá šipka).	44
Obr. 24 Počáteční epocha - Výřez C	45
Obr. 25 Velmi poničený jihovýchodní roh budovy Ministerstva spravedlnosti (zelená šipka), kompletní destrukce hotelu Carlton (fialová šipka) se sousedními budovami (červené šipky), lehce poškozená východní část mešity Khusraw (žlutá šipka).	45

Obr. 26 Kompletně zničená Khusraw mešita (žlutá šipka) společně s vládní budovou Grand Serail (červené šipky), rozstřelená střešní kupole veřejných lázní Hammam Yalbougha an-Nasry (zelená šipka).....	46
Obr. 27 Kompletně zničená mešita al-Sultaniyeh (červená šipka).	46
Obr. 28 Počáteční epocha - Výřez A	47
Obr. 29 Zničená východní stěna karavanní stanice Kahn Qurt Bey (červená šipka)	48
Obr. 30 Další zničené obytné budovy (žluté šipky).	48
Obr. 31 Vývoj škod v průběhu let - Výřez B	49
Obr. 32 Vývoj škod v průběhu let - Výřez C	50
Obr. 33 Vývoj škod v průběhu let - Výřez A	50

Seznam tabulek

Tab. 1 Vlastnosti použitých družicových dat	27
Tab. 2 Procenta zničené plochy v průběhu let	49

Seznam příloh

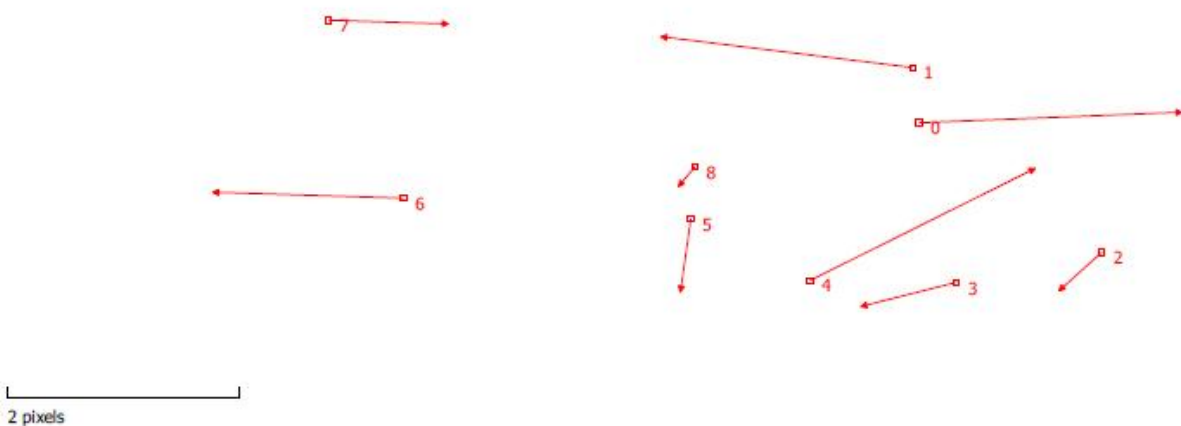
Příloha A *Transformační protokol z programu QGis pro transformaci snímku z 23.5.2014 na referenční snímek z 29.7.2012.*

Příloha B *DVD obsahující originální snímky ve formátu .tif a jp2, ořezané snímky zájmové oblasti ve formátu .tif, veškeré klasifikované snímky ve formátu .tif, výsledky ve formátu .tif a .png*

Příloha A - Transformační protokol z programu QGis pro transformaci snímku z 23.5. 2014 na referenční snímek z 29.7.2012.



Rezidua



ID	Povoleno	Pixel X	Pixel Y	Mapa X	Mapa Y	Rozlišení X (pixelů)	Rozlišení Y (pixelů)	Rozlišení celk. (pixelů)
0	ano	334851	4007797	334853.986	4007798.352	2.27149	-0.0913274	2.27332
1	ano	334844	4007913	334844.169	4007913.994	-2.17296	-0.266164	2.1892
2	ano	335050	4007526	335054.778	4007528.101	-0.370428	0.332877	0.49802
3	ano	334892	4007463	334895.409	4007464.814	-0.827819	0.208919	0.853774
4	ano	334732	4007467	334735.890	4007468.756	1.94095	-0.966441	2.16825
5	ano	334602	4007596	334603.145	4007595.998	-0.0893269	0.628762	0.635075
6	ano	334290	4007639	334286.637	4007638.908	-1.64757	-0.0514103	1.64837
7	ano	334207	4008012	334203.345	4008010.894	1.03885	0.0325994	1.03936
8	ano	334607	4007706	334607.309	4007705.988	-0.143191	0.172184	0.223944