



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra geomatiky

**Posouzení změn na vybraném ostrově
v Karibském moři po hurikánu v roce 2017 z dat
dálkového průzkumu Země**

Evaluation of changes caused by the 2017 hurricane on a selected
Caribbean island using remote sensing data

Diplomová práce

Bc. Oleksiy Maybrodskyy

Studijní program: Geodézie a kartografie

Studijní obor: Geomatika

Vedoucí práce: doc. Ing. Lena Halounová CSc.

Text zadání

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Napřed bych chtěl poděkovat doc. Ing. Leně Halounové, CSc. za cenné rady, ochotu a trpělivost při vedení mé diplomové práce a za skvělou pedagogickou činnost během mého studia na FSv, ČVUT. Také bych rád poděkoval své rodině, přítelkyni a přátelům za morální podporu během studia a zvláště během zpracování této diplomové práci.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na zpracování pokrytí území ostrova Svatý Martin před hurikánem Irma a po něm. Určování jednotlivých změn ve vegetaci, zástavbě, vodstvu atd. Posouzení kvality a dostupnost použitých nekomerčních získaných dat a jejich časovou vhodnost. V první části je stručně popsán vývoj hurikánu Irma a popis ostrova Svatý Martin. V následující kapitole jsou popsány technické aspekty vývoje dálkového průzkumu Země a použité metody v rámci zpracování diplomové práce. Poslední část je věnována podrobnému popisu jednotlivých kroků průběhu zpracování diplomové práce, popis výsledku.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, PCI Geomatica, Svatý Martin, hybridní klasifikace, hurikán Irma, mapová algebra, Sentinel-2

Abstract

The diploma thesis is focused on the processing of the area of Saint Martin (island) before and after Hurricane Irma. Determining individual changes in vegetation, urban, water, etc. Assessing the quality and availability of used non-commercial data and its timeliness. The first part briefly describes the development of Hurricane Irma and the description of Saint Martin. The following chapter describes the technical aspects of the development of remote sensing and the methods used in the elaboration of the diploma thesis. The last part is devoted to the detailed description of the individual steps of the course of the diploma thesis, description of the result.

Keywords: remote sensing, Geomatica, Saint Martin, hybrid classification, Hurricane Irma, Map Algebra, Sentinel-2

Obsah

Úvod	7
Dálkový průzkum Země při řešení obdobných situací.....	8
Teoretický přehled	10
1.1 Tropická cyklóna.....	10
1.2 Hurikán Irma.....	11
1.3 Návětrné ostrovy.....	14
1.4 Svatý Martin	15
Dálkový průzkum Země	19
2.1 Definice, popis a historický vývoj dálkového průzkum Země.....	19
2.2 Elektromagnetické záření	21
2.3 Interaktivní vlastností objektů.....	24
2.4 Obrazová data	26
2.5 Digitální zpracování obrazových dat	27
2.6 Operační systémy DPZ.....	30
2.7 Software pro zpracování dat DPZ.....	34
Posouzení změn na území ostrova Svatého Martina a přilehlých ostrovů v následku působení hurikánu Irma	35
3.1 Volba území.....	35
3.2 Pořízení nekomerčních družicových dat.....	37
3.3 Korekce dat.....	43
3.4 Neřízená klasifikace	45
3.4 Řízená klasifikace.....	52
3.5 Postklasifikace	56
3.5 Mapová algebra.....	62
3.6 Výsledky.....	64
Závěr	73
Použitá literatura.....	75

Úvod

Motivací k sepsání diplomové práce byl zájem o prohloubení znalostí Dálkového průzkumu Země. V době volby zadání diplomové práce na území Karibského moře vrcholil hurikán Irma. Hurikán Irma je jeden z nejničivějších hurikánů za posledních několik let. To byl důvod soustředit se na toto téma, které se objevilo současně s rozhodováním o tématu diplomové práce. Před začátkem zpracování nebyla známa kvalita dat nad zájmovým územím ani obsah změn. Jelikož autor nemohl fyzicky se na daném území ocitnout, byla diplomová práce provedena prakticky jen pomocí metod DPZ.

Diplomová práce je zaměřena na zpracování pokrytí území ostrova Svatý Martin před hurikánem Irma a po něm. Cílem bylo určit jednotlivé změny ve vegetaci, zástavbě, vodstvu, posouzení kvality a dostupnosti použitých nekomerčních získaných dat.

V první části je stručně popsán vývoj hurikánu Irma a ostrov Svatý Martin. V následující kapitole se popisují technické aspekty vývoje dálkového průzkumu Země a použité metody v rámci zpracování diplomové práce. Poslední část je věnována podrobnému popisu jednotlivých kroků průběhu zpracování diplomové práce, popis výsledku.

Ve druhé kapitole je sepsán obecný přehled problematiky dálkového průzkumu Země: vývoj DPZ, fyzikální základy, jednotlivé metody zpracování dat, druh satelitních dat, použité softwary v rámci zpracování diplomové práce.

V závěrečné kapitole je uveden popis zpracování praktické části diplomové práce. Výsledek této práce je uveden v závěru. Součástí odevzdání jsou mapy změn tříd vlivem hurikánu Irma a jednotlivé mapy stavu území před hurikánem a po něm.

Dávkový průzkum Země při řešení obdobných situací

Jak bude zmíněno v první kapitole, hurikán Irma patří k nejsilnějším jevům v Karibiku za posledních několik let, a však nejedná se o zcela výjimečný případ. V daných zeměpisných šířkách výskyt tropických cyklonů je pravidelný a jejich následky jsou vždy zaznamenávány aj v rámci využití metod DPZ. Tato rešerše slouží jako **obecný přehled** nejlepších volně dostupných inspiračních zdrojů, které již řešily podobnou problematiku v minulosti s využitím zpracování dat na základě metod dávkového průzkumu Země. Uvedené zdroje nezahrnují jen otázky řešení změn vlivu tropických cyklonů, ale taky poukazují na specifickou faunu a mořské tropické prostředí jako takové, jelikož způsob zpracování a výsledky dat, mohou být odlišné od způsobu zpracování obdobných dat a výsledky v územích umírněném kontinentálním prostředí, ve kterém se nachází území České republiky.

V rámci vědecké práce od autorů (Servan a kol, 2009) – **Mapping and detecting land use/cover change in Tobago using remote sensing** bylo vypracováno porovnání změn na ostrově Tobago od posledního mapování v roce 1956 až po rok 2001. Pro zjištění moderního stavu byly využity data z rodiny družic Landsat. Ostrov Tobago je velmi podobný ostrovu Svatého Martina (oba ostrovy patří ke skupině Návětrných ostrovů), neboť obě souostroví mají hornatý tvar. Mezi užitečné poznámky pro zpracování této diplomové práce patří problém se složitějšího, až prakticky skoro nemožného využití klasických atmosférických korekčních algoritmů v důsledku nadměrné oblačnosti v tomto regionu. Oblaka na snímku neumožňují prozkoumání terénu pod nimi, a taky znevýhodňují zpracování území pod oblačnými stíny (je možné část dat z pod stínu získat, například jen cesty a budovy, a však je praktické nemožné v některých případech zaznamenat, jestli se jedná o savanu nebo les). Kolegové nabízejí možnost vytvoření masky oblaků a stínů bez použití atmosférické korekce. [1].

(Nicholson, 2017) – **Evaluating the Impact of Hurricane Irma on Long Key Island, FL Using Object-based Change Detection Techniques**. Autor popisuje problematiku následku hurikánu Irma na ostrovu Long Key na Floridě (USA). Popis výsledku přibližně shoduje s výsledky dosažené v této diplomové práci. Bohužel volně dostupná je jen část práce. [2]

(Fugui Wang a Y. Jun Xu, 2009) – **Comparison of remote sensing change detection techniques for assessing hurricane damage to forests**, kde jsou srovnávány jednotlivé metody zaznamenávání změn na příkladu jednoho z nejsilnějších hurikánů 21 století – hurikánu Katrině. Jsou popsány procentuální odhady správností jednotlivých metod pro specifické území. [3].

(Gilbert, 2015) **Review of Remote Sensing Utilization for Identifying and Monitoring Change of Land Cover within Coastal Ecosystems of the Caribbean**. Autor popisuje obecný

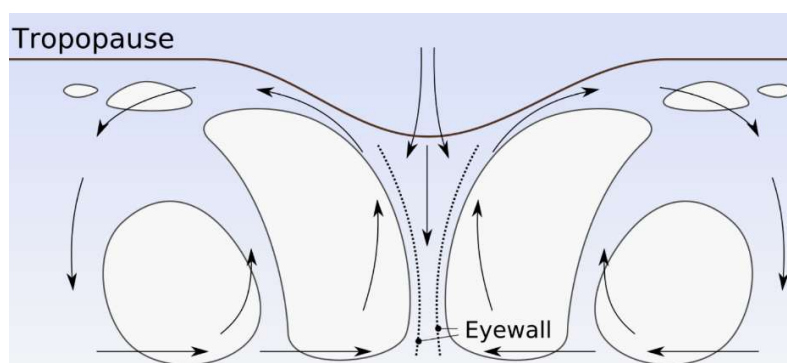
vývoj dlouhodobých změn ostrovů vlivem nejen přírodních kataklyzma, ale taky vlivem větší urbanizací ostrovů. [4].

(Cangialosi a kol, 2017) – **Hurricane Irma (AL112017)**. Je závěrečná zpráva od americké státní agentury NOAA – oddělení National Hurricane Center, kde podrobně popsán průběh a následky hurikánu Irma. Výsledky zprávy byly využité pro analytické vyhodnocení poškození ostrova Svatý Martin. [5].

Teoretický přehled

1.1 Tropická cyklóna

Tropická cyklóna je nízkotlaký atmosférický útvar, jehož základem je rozsáhlý rotující bouřkový systém se středem ve tvaru kruhu (okem hurikánu). Ke vzniku tropických cyklón dochází po celé zeměkouli v subtropické mořské oblasti (anglicky marine zone) prohřáté do určité hloubky a do určité teploty, a je doprovázen silnými bouřkami, abnormálním počtem dešťových srážek. Svou energii získávají na základě stoupání vlhkého vzduchu a kondenzaci teplé vodní páry v podobě deště. To zapříčiní snižování suchého vzduchu směrem k zemi. Tropické cyklóny se tímto zásadně liší od extratropických a polárních cyklónů, protože vznikají na základě teplého vzduchu. Síla tropických cyklón klesá směrem do vnitrozemí až se zcela ztrácí. Důvody a proces vzniku hurikánů nejsou stále zcela vyřešeny. Zapříčiňuje největší škody hlavně na ostrovech a pobřeží kontinentů. Mohou dosahovat poloměru až několika tisíc kilometrů a rychlosti až 500 kilometrů za hodinu. Dle Beaufortovy stupnice se bouřka stává tropickým cyklónem, respektive hurikánem při překročení rychlosti větru 117 kilometrů za hodinu (nebo 30 metrů za vteřinu). Za posledních 200 let tropické cyklóny zapříčinily smrt více než 2 milionů lidí. [4], [11].



Obr. 1. Ukázka vzniku hurikánu. [10]

Tropické cyklóny jihovýchodní Asie se nazývají tajfuny v Jižní a Severní Americe se nazývají hurikány. Existenci tropických cyklónů lidstvo zaznamenává již od prehistorických časů, kdy jejich vliv připisovalo nadpřirozeným bytostem. Hurikán (maysky U K'ux Kaj – „Srdce nebe“) je jeden z nejznámějších bohů v mayské mytologii. Hurikánová sezona v severovýchodním Atlantiku začíná začátkem července a končí koncem listopadu. Jejím vrcholem jsou měsíce srpen a září. Pro identifikaci síly hurikánů se používá **Saffirova-Simpsonova hurikánová stupnice**. Stupnice je rozdělená do 5 kategorií dle intenzity trvalých větrů. Klasifikace slouží ke zjištění jednotlivých škod vlivem hurikánu. Níže jsou popsány jednotlivé kategorie. [4], [10], [11].

Bouřka se stává hurikánem *první kategorie*, když síla a vytrvalost větrů dosahuje 119 km/h, případně 33 m/s. Atmosférický tlak se snižuje na hodnotu i níže 980 mBar. Hurikán kategorie 1 nezpůsobuje velké poškození infrastruktury a krajiny. Dochází k poničení vnějších fasád kamenných, případně k poničení dřevěných budov. Dochází k lámání stromů. [4], [10], [11].

Hurikán první kategorie se stává hurikánem *druhé kategorie*, když síla a vytrvalost větrů dosahuje 154 km/h, případně 43 m/s.. Atmosférický tlak se snižuje na hodnotu i níže 965 mBar. Bouře této intenzity může vážně poškodit budovu a zcela ničit dřevěné budovy. Značné škody vznikají na vegetaci. Hrozí značné zničení objektů nacházejících se na pobřeží. [4],[11].

Hurikán druhé kategorie se stává hurikánem *třetí kategorie*, když síla a vytrvalost větrů dosahuje 178 km/h, případně 50 m/s. Atmosférický tlak se snižuje na hodnotu i níže 945 mBar. Hurikán třetí kategorie způsobuje strukturální narušení nejen dřevěných, ale aj kamenných budov. Budovy bez pevných základů jsou často naprosto zničeny. Velké škody na vegetaci. Dochází k povodním. [4], [10], [11].

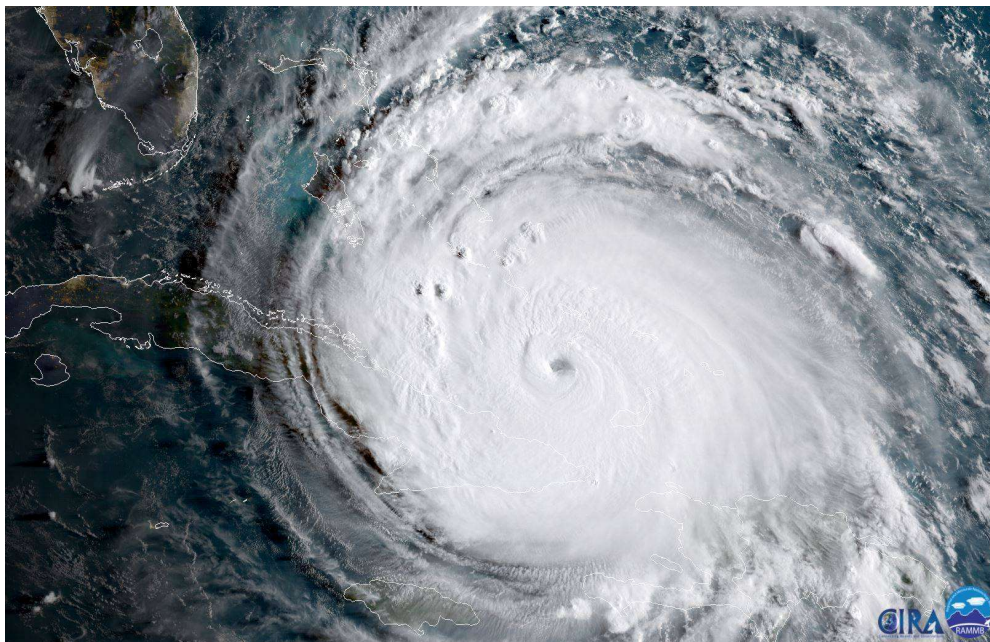
Hurikán třetí kategorie se stává hurikánem *čtvrté kategorie*, když síla a vytrvalost větrů dosahuje 210 km/h, případně 60 m/s. Atmosférický tlak se snižuje na hodnotu i níže 920 mBar. Hurikán této kategorie je velmi nebezpečný pro obydlené oblasti. Vznikají rozsáhlejší poškození, které mohou dosahovat nenapravitelných poškození, až téměř úplných zničení. Katastrofické vlivy na vegetaci. Dochází ke vznikům erozi pobřežních oblastí, povodně vznikají i ve vnitrozemských oblastech. Provádí se evakuace obyvatelstva. [4], [10], [11].

Hurikán čtvrté kategorie se stává hurikánem *páté a poslední kategorie*, když síla a vytrvalost větrů přesahuje 250 km/h, případně 70 m/s. Atmosférický tlak je nižší než 920 mBar. Tyto tropické cyklóny způsobují naprosté zničení budov do takové míry, že některé mohou být přímo odfouknuty. Zhroucení mostů, zničení dopravních sítí nejsou ojedinělé případy. Ve vnitrozemí dochází k rozsáhlým škodám. Hrozí velké eroze, sesuvy půd a nenapravitelné změny fauny, flory, tvaru území a krajiny jako takové. Provádí se masivní evakuace obyvatelstva. Velké ztráty na životech. [4], [10], [11].

Někteří experti uvádí existenci ještě šesté kategorie Saffirove-Simpsonové stupnice, avšak počet hurikánů v dějinách lidstva, které by do dané kategorie mohly být zahrnuté je minimální a nepřevyšuje dvacítku případů. [4], [10], [11].

1.2 Hurikán Irma

Hurikán Irma je nejdéle trvající hurikán 5. kategorie (nejvyšší kategorie) dle Saffirove – Simpsonove stupnice hurikánů od začátku pozorování severoatlantických atmosférických cyklónů. Byl zároveň nejsmrtelnějším tropickým cyklónem minulého roku a nejničivějším hurikánem od roku 2005. Irma vznikla v okolí souostroví Kapverd (souostroví západní Afriky a východní část Atlantického oceánu) ze tropických vln v Africe. [5], [10], [21].

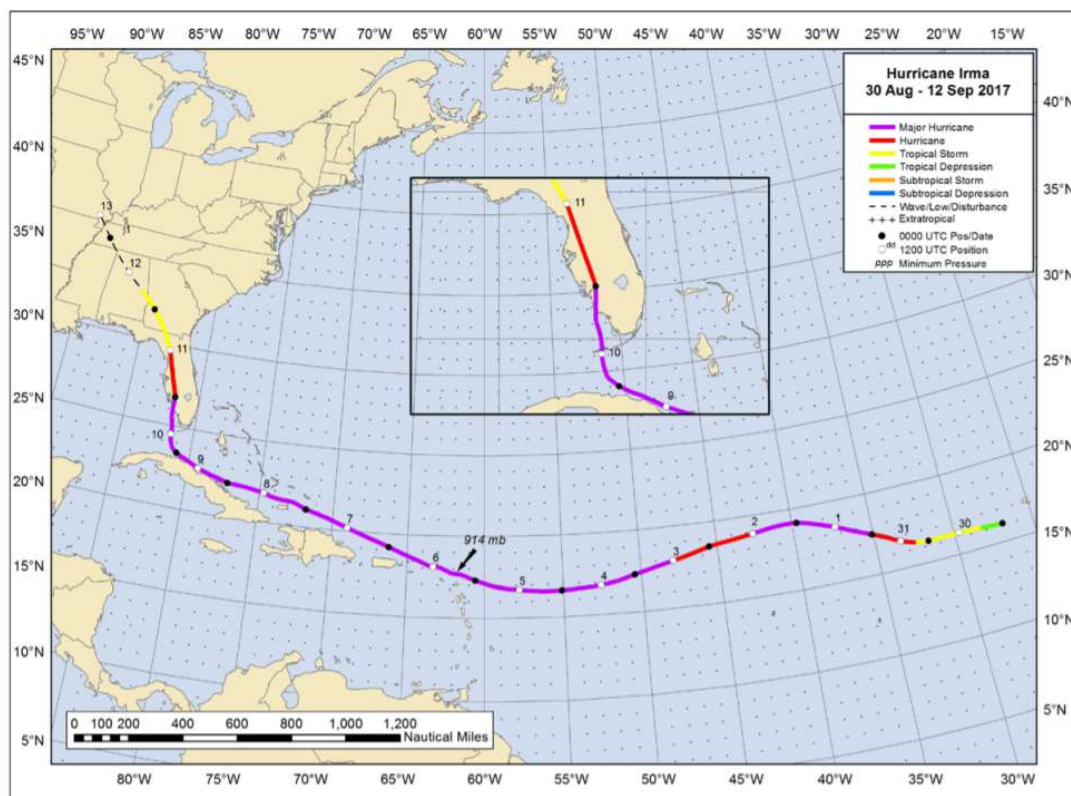


Obr. 2. Hurikán Irma zachycen NOAA satellite GOES-16. [12]

Dne 26 srpna NHC (National Hurricane Center – americká státní instituce monitorující vznik a vývoj meteorologických jevů) poprvé začala předvídat možný vznik hurikánu, když ohlásila velké seskupení tropických vln na pobřeží západní Afriky. V průběhu následujících třech dnů se tropické vlny začaly spojovat a pohybovat se směrem do Atlantiku. 29 srpna na Kapverdách vzniká velká tropická bouře. 30 srpna bouřka se stává hurikánem prvního stupně a pohybuje se směrem na západ. Následující den hurikán začal se zvětšovat a dosáhl druhé kategorie. 3. září hurikán dosáhl hodnot třetí kategorie a byl v bezpodmínečné blízkosti k prvním karibským ostrovům. K navýšení síly hurikánu přispěla abnormálně zahřátý oceán v nedaleké blízkosti od **Návětrných ostrovů**. Dne 4. září bylo oficiálně vyhlášeno NHC varování a začala příprava a evakuace před hrozícím nebezpečným na Závětrných ostrovech, Portoriko a Haiti. V 18:00 téhož dne dle místního času hurikán překročil hranici čtvrté kategorie. O necelých 20 hodin později, tedy kolem poledne 5. září, hurikán dosáhl maximální kategorie. 5. září o 5:45 místního času dorazil na první ostrov Barbuda. **6. září v 11:45** Irma dorazila na ostrov **Svatého Martina** s rychlostí 285 km/h a jak se později ukázalo, byla na svém vrcholu. Během téhož dne se ještě dostal na Virgin Gordu, Buck Island. 7. září hurikán se vydal směrem severozápad-západ a prošel přes Portoriko (větší škody zaznamenaly severní části ostrova) a jen částečně byl přítomen na ostrově Hispaniola, kdy poškození byla zaznamenána jen na severním pobřeží Hispanioly. Hurikán mírně zeslábl a přesunul se do 4. kategorie dle Saffirove – Simpsonove stupnice hurikánů. Dopoledne 8. září prošel skrz zámořské území Velké Británie Turks a Caicos. Oproti předpokladům expertů Irma nejen, že nezeslábla, ale dokonce zesílila a o 60 hodin později se znovu stala hurikánem 5. kategorie. Její příchod zaznamenali na Kubě a Bahamách, kde se zdržela v rekordním čase, déle v historii se na tomto území jen zdržel kubánský hurikán z roku 1924. Během svého působení na Kubě a Bahamách intenzita hurikánu začala klesat. 10. září v 6:00 Irma dorazila na Floridu, kdy se změnila na 4. kategorii. Vláda evakuovala celkem přes 6,3 milionu osob, což činí víc než čtvrtinu obyvatelstva státu. Následně směřovala podél západního pobřeží Floridy na sever. Jak se předpokládá u

podobných hurikánů, cesta na pevninu znamenala postupné rozpuštění a klesání intenzity hurikánu. Přes státy Alabamu a Tennessee došel hurikán až do vnitrozemí spojených států, kde již měl slabý charakter a spadl do první nebo druhé kategorie dle stupnice Saffir – Simpson. 13 září Irma se rozpustila a přestala existovat. [2], [5], [11], [21].

Na níže uvedeném obrázku lze sledovat vývoj hurikánu Irma a jeho pohyb. Zelená barva je hurikán druhého stupně, žlutá je hurikán třetího stupně, červená je hurikán čtvrtého stupně, fialová je pátý a nejvyšší stupeň hurikánu.



Obr. 3. Směr pohybu hurikánu Irma. [5]

Celková statistika hurikánu Irma:

- Nejnižší zaznamenaný tlak: 914 mbar
- Nejvyšší rychlost: 285 km/h
- Území: souostroví Kapverd, Návětrné ostrovy (Barbuda, Svatý Bartoloměj, Anguilla, Svatý Martin, Panenské ostrovy), Kuba, Portoriko, Turks and Caicos, Bahámy, USA (hlavně západní pobřeží Floridy).
- Škody: prozatím spočítána odhadovaná částka kolem 64,5 miliardy dolarů
- Oběti: 134 mrtvých, tisíce zraněných.

Diplomová práce se zaměří na území, které bylo poškozeno nejvíc. Vzhledem k průběhu hurikánu, bylo rozhodnuto, že vybrané zajímavé území bude vybráno z Návětrných ostrovů. Na základě poškození jednotlivých ostrovů hurikánem Irma a na základě posouzení

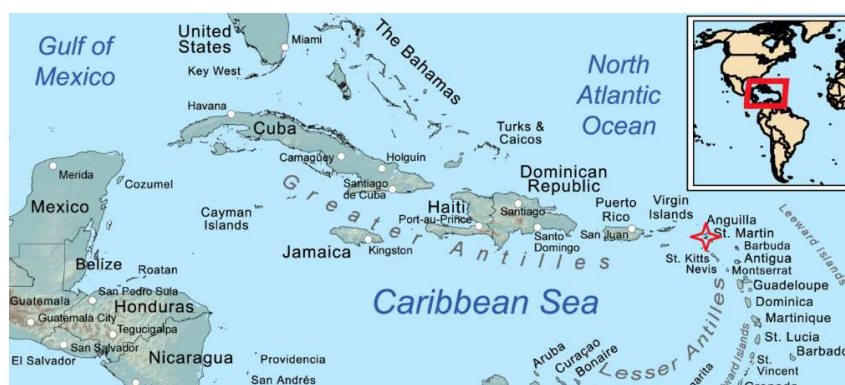
kvality dostupných dat dálkového průzkumu Země, byl proveden výběr mezi jednotlivými ostrovy. Pro zpracování byl vybrán ostrov **Svatého Martina**. Jelikož patřil k nejvíce postiženým územím a zároveň obsahoval použitelné scény za jednotlivé časové období. [2], [5], [11], [21].

1.3 Návětrné ostrovy

Ostrov Svatý Martin (anglicky Saint Martin, francouzsky Saint-Martin, holandsky Sint Maarten) leží ve východní části Karibského moře. Spolu s ostrovy Barbados, Grenada, souostroví Grenadiny, Martinik, Svatá Lucie (anglicky Saint Lucia), Americké Panenské ostrovy (anglicky United States Virgin Islands), Anguilla, Svatý Vincenc (anglicky Saint Vincenc), Tobago a Trinidad a přibližně 90 menšími ostrovy patří do geografického seskupení zvaného Návětrné ostrovy (Windward Islands), které jsou jižní větví Malých Antil (Lesser Antilles). [4], [11].

Návětrné ostrovy svůj název získaly na základě silného působení severo-východních pasátových větrů, které umožňovaly rychlejší cestu pro mořeplavce k Návětrným ostrovům z Evropy než k jiným ostrovům v Karibském moři. Leží přibližně mezi 12° až 16° severní šířky a 60° až 62° západní délky. [11].

V některých literaturách se uvádí Závětrné ostrovy, které jsou severní částí Návětrných ostrovů. V anglosaské literatuře se uvádí jiné rozdělení než v ostatních západních literaturách, případně jiných jazykových zdrojích. Proto rozdělení ostrovů Malých Antil je sporné. Mezi Závětrné ostrovy se povětšinou uvádí Americké Panenské ostrovy, Anguilla, Antigua, Svatý Martin, Svatý Bartoloměj, Guadeloupe a další. [4], [11].



Obr. 4. Karibik. [11]

Terénní útvary na většině Návětrných ostrovů jsou hornaté a korálového nebo vulkanického původu. Na ostrovu Guadeloupe je zaznamenána nejvyšší nadmořská výška v souostroví, která dosahuje až 1467 metrů nad hladinou moře. Nejvyšší vrchol je 200 tisíc let živá stratovulkánová sopka La Grande Soufrière, jejíž poslední erupce byla zaznamenána v roce 1979. Ostrovy mají tropické a vlhké klimatické podnebí. Teplota vody v okolí ostrovů

povětšinou nepřekračuje hranici 28°C. Celková rozloha ostrovu je 3232,5 km². Největší ostrovem je Martinik (anglicky Martinique) o rozloze 1,128 km². [11].

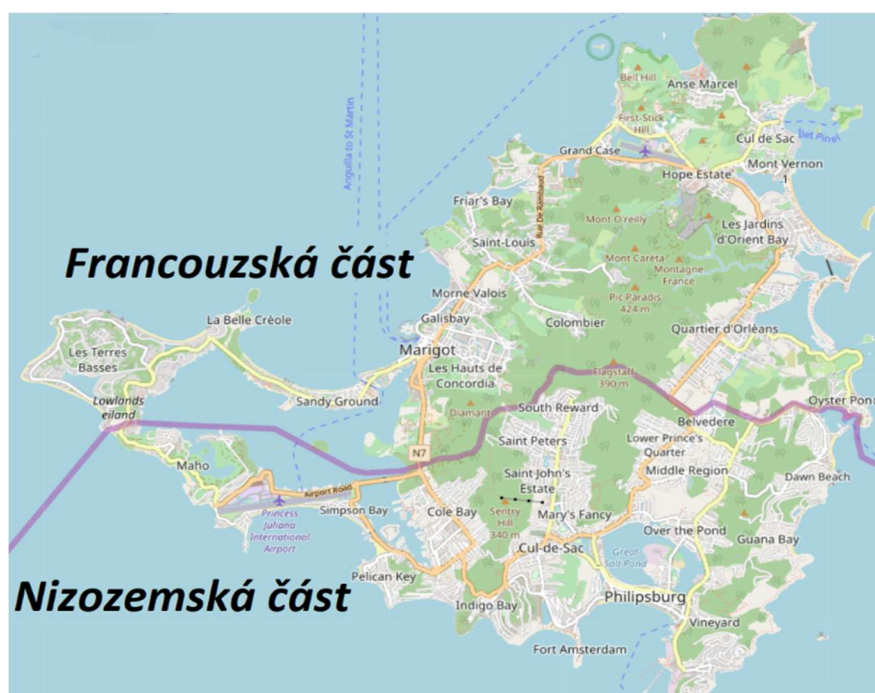
Souostroví byly objeveno mořeplavcem Kryštofem Kolumbem v létech 1493 až 1495, které obývalo původní Indiánské obyvatelstvo. Následně souostroví patřilo do světového území známého jako Západní Indie (anglicky West India). V koloniálním období byl na Návětrné ostrovy přestěhován značný počet obyvatel západní Afriky, což způsobilo změnu populace na tomto území. Kromě změn v populaci došlo ke značným změnám i vegetačního pokryvu, kdy věčně zelené tropické lesy byly proměněny na plantáže, což způsobilo neodvratitelný vliv na místní faunu. Po druhé světové válce začaly části území získávat nezávislost od koloniálních mocností. K dnešnímu dni kromě nezávislých států Antigua a Barbuda, Barbadosu, Společenství Dominiky, Svatého Kryštofa a Nevis, Grenady, Svaté Lucie, Svatého Vincence a Grenadiny, se na souostroví nachází velký počet závislých území a zámořských teritorií Spojeného království Velké Británie a Severního Irska, Francouzské republiky, Spojených států amerických a Nizozemského království.

Celkový počet obyvatel dle údajů za rok 2009 je kolem 1,75 milionu obyvatel. Z toho na Martiniku žije kolem 400 tisíc obyvatel, na Barbadosu kolem 300 tisíc obyvatel a na Grande-Terre a Svaté Lucii kolem 200 tisíc obyvatel. Celková střední hustota zalidnění na jeden metr čtvereční je 291,667 obyvatel/m². Největší hustota zalidnění je zaznamenána na ostrově Svatý Martin 744,09 obyvatel/m². Největší města jsou Fort-de-France (Martinik) s celkovou populací kolem 86 tisíc obyvatel, Pointe-à-Pitre (Guadeloupe) kolem 17 tisíc obyvatel a Basse-Terre (Guadeloupe) kolem 12 tisíc obyvatel. [11], [13], [14].

Na ostrovech je rozšířeno tropické hospodářství hlavně plantáže cukrové třtiny, citrusů, kaka, banánů. V posledních desetiletích se státy Malých Antil vzdávají tradičních odvětví ekonomiky vázaných na hospodářství a rybolov a více se zaměřují na turismus. [11].

1.4 Svatý Martin

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2, diplomová práce je zaměřena na zkoumání území ostrova Svatého Martina, jelikož daný ostrov byl jednou z nejpostiženějších oblastí od hurikánu. Svatý Martin patří k Návětrným ostrovům, případně Závětrným ostrovům (dle literatury), které jsou součástí Malých Antil. Zeměpisné souřadnice: 18°4' s. š., 63°3' z. d. Sousedními ostrovy jsou Anguilla a Svatý Bartoloměj (Saint Barthélemy). Anguilla se nachází severním směrem od Svatého Martina a Svatý Bartoloměj se nachází jižním směrem. Přibližně 300 km na západ od ostrova se nachází Portoriko a přibližně 240 km na jihovýchod se nachází Guadalupe. Západní pobřeží ostrova spadá do Karibského moře, východní část do Atlantického oceánu. Ostrov se nachází v časovém pásmu UTC – 4. [11], [13], [14].



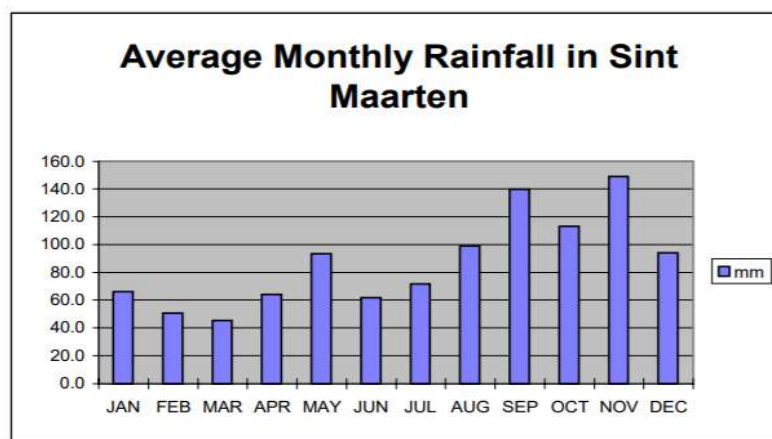
Obr. Svatý Martin. [15]

Jedná se o nejmenší trvale obydlený ostrov na světě, který je rozdělen mezi dva samosprávné územní celky. Území ostrova spolu sdílí Francouzská republika a Nizozemské království, zároveň je to jediná pozemní hranice mezi těmito dvěma státy. Celková rozloha ostrova je 87 km². Území je rozděleno v přibližném poměru 40:60, kdy větší část ostrova patří Francii a menší Holandsku. Hranice mezi státy je dlouhá kolem 10 km. Ostrov je 15 kilometrů dlouhý a 13 km široký. Nejvyšším bodem ostrovu je *Pic Paradis* s nadmořskou výškou 424 metrů. Střední nadmořská výška daného území je 20 metrů. Terén ostrova je členitý a je tvořen velkým počtem kopců a údolí. Vrcholy kopců jsou pokryté věčně zelenými lesy a pastvinami. Krajina je plná suché zeleně, ostrovní flora je tvořena převážně palmovými stromy, ibišky a kaktusy. Na ostrově prakticky nejsou žádné řeky. Je zaznamenán nadprůměrný počet sladkých vod a jejich kvantita závisí na odsolování mořské vody, což způsobuje velký počet soli na ostrově, čímž dané území bylo známo v koloniální éře. Zemědělství není rozvíjeno kvůli nedostatku zdrojů pitné vody, rybolov se provádí v malém měřítku. Prakticky všechny potraviny, stejně jako průmyslové zboží a palivo – jsou dováženy. Hospodářská činnost se soustřeďuje na turismus. [11], [13], [14].



Obr. 6. Pohled z Pic Paradis. [14]

Území Svatého Martina patří do tropického monzunového podnebí. I když povětrné podmínky jsou po většinou roku stejné, lze roční období oddělit na základě atmosférických podmínek. Střední roční teplota je 27,2 °C. Od druhé poloviny dubna do první poloviny listopadu jsou časté krátkodobé přeháňky. Silné suché pasátní větry pohlcují pocit silné vlhkosti vzduchu v tomhle období. V období od druhé poloviny listopadu do první poloviny dubna teplota vzduchu mírně klesá a přeháňky jsou ojedinělé. Svatý Martin leží v pásmu výskytů hurikánů. Největší výskyt hrozí v období od června do listopadu. Průměrné roční srážky znázorňuje níže uvedená tabulka. [13], [14].



Obr. 7. průměrné roční srážky. [12]

Svatý Martin byl poprvé osídlen před 3,5 tisíce lety prvním pra-etnikem Aravaků v Karibiku. Další velká skupina Aravaků přišla na ostrov z území dnešní Venezuely na přelomu VIII až IX století našeho letopočtu. Aravakové pojmenovali toto území „Zemi soli“. Těsně před prvním příchodem Evropanů do Nového světa začala probíhat invaze Karibiků (další indiánský národ, který se postupně přesunul na Malé Antily z ústí Amazonky). 11 prosince 1493 janský mořeplavec ve službách španělských králů Kryštof Kolumbus během své druhé výpravy do Ameriky objevil „Zemi soli“. Objevený ostrov byl pojmenován Svatým Martinem, jelikož 11 prosince je svátek svatého Martina. První menší trvalá kolonie vznikla až v roce 1620, kdy Francouzi začali pěstovat tabák na ostrově. V roce 1631 Holanďané založili svoji kolonii s hlavním městem Nový Amsterdam. Kolonie byla velmi prosperující díky těžbě soli. Během Nizozemského boje o nezávislost nad Španělskem, Španělská říše okupovala a převzala kontrolu nad ostrovem. Po ukončení války Španělé ostrov opustili a Francouzi a Holanďané znovu se vrátili na ostrov. Hádka o ostrov mezi Holanďany a Francouzi docházela do takové míry, že hrozil vojenský konflikt mezi oběma státy. Konflikt byl zažehnán podepsáním smlouvy Traité de Concordia v roce 1648 a rozdělením ostrova na 2 části. Vyznačená hranice platí dodnes. Na přelomu XVII a XVIII století byly vytvořeny plantáže cukrové křtiny, převážně v severní části ostrova. Pro nucenou práci byli násilím přistěhováni afričtí otroci, což ještě více poznamenalo různorodý tvar místního obyvatelstva. Otroctví na ostrově bylo zrušeno až v roce 1848. [11], [13], [14].

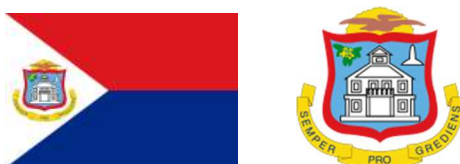


▪ Obr. 8. Saint-Martin. [14]

Collectivité de Saint-Martin je oficiální název zámořské společnosti Francie. Před rokem 2007 patřilo pod součásti francouzského zámořského departementu Guadeloupe. Nachází se v severní části ostrova. Celková rozloha území 53,2 km². Nejvyšší nadmořská výška je totožná s nejvyšší nadmořskou výškou celého ostrova 424 metru. Celkový počet obyvatel dle posledního sčítání lidu z roku 2014 je přibližně 35 tisíc. Hustota obyvatelstva je 660 osob na 1 km². Hlavním městem francouzské části ostrova a zároveň největším městem na ostrově je Marigot s přibližně 6 tisíci obyvateli. [11].



Obrázek 9. Marigot [14]



Obr. 10. Sint Maarten. [14]

Sint Maarten je konstituční země Nizozemského království. Plnou autonomii získalo až v roce 2010. Před tím, bylo součástí Nizozemských Antil. Nachází se v jižní části ostrova. Celková rozloha území je 34 km². Nejvyšší nadmořská výška je vyhořelý vulkán Maunt-Flagstaff s nadmořskou výškou 386 metru. Slané jezero Gray-Salt-Pond obsahuje skoro 20 % celkové plochy Sint Maartenu. Součástí Sint Maartenu je proslulá laguna Simpson-bay. Na severu území se nachází mírné pohoří, které přiléhají k francouzské části ostrova. V jižní části ostrova se nachází jedna z nejnámějších pláží v Karibiku – Maho, která je proslula tím, že na ní se nachází přistávací a odlétávající dráha Mezinárodního letiště princezny Juliany prakticky u turistické zóny. Počet obyvatel v Sint Maartenu dle posledních údajů sčítání lidu za rok 2014 je přibližně 37 000 obyvatel. Hustota obyvatelstva je 1100 osob na 1 km². [11].

Dálkový průzkum Země

2.1 Definice, popis a historický vývoj dálkového průzkumu Země

V dané diplomové práci autor se zabývá zpracováním pokrytí území s využitím metod dálkového průzkumu Země. V dnešní době družicová data jsou používána neomezeně a slouží primárně jako podklad pro GIS (Geografické informační systémy), kde dochází k následnému vyhodnocování území. Družicová data se používají v hojném počtu v hospodářském, vojenském, lesnickém, krajinářském inženýrství, meteorologii a dalších disciplínách a jsou proto neoddelitelnou součástí moderního technického vývoje. Pro lepší pochopení problematiky dálkového principu Země, jsou níže uvedeno několik definic dálkového průzkumu Země:

➤ dle **Lillesanda a Kiefera** [6]:

„Dálkový průzkum země je to metoda i umění, která umožňuje získávat a zpracovávat data naměřená bezkontaktním způsobem většinou o zemském povrchu nebo atmosféře. Pro měření je využívána část elektromagnetického záření různých vybraných vlnových délek.“

➤ Dle programu **Copernicus** [16]:

„Dálkový průzkum Země je metoda získávání informací o objektech na zemském povrchu bez přímého kontaktu s ním. DPZ zahrnuje kompletní proces získávání informace od pořízení dat, jejich zpracování, analýzu až po výslednou vizualizaci a interpretaci obrazu.“

Vývoj dálkového průzkumu země (dále DPZ) neoddelitelně souvisí s vývojem letecké fotogrammetrie a kosmického průmyslu. Za předchůdce vzniku DPZ lze pokládat již první snímky fotografované z leteckých balounů v roce 1858 (vesnice u Paříže) a 1860 (Boston) atd. Následný rozvoj leteckého mapování během první světové války a rozvoj letecké fotogrammetrie před druhou světovou válkou a těsně po ní. Za skutečný vývoj DPZ lze ale považovat až po rozjždění kosmického vývoje lidstva, kdy aktivně docházelo k rozvíjení družicových systémů a snah využít obrazové záznamy pořízené z vesmíru pro vojenské, civilní a vědecké účely. [7], [16].

Vývoj družicových systémů lze rozdělit na následující etapy:

- Období po druhé světové válce až 1972: Vývoj kosmického inženýrství až do vypuštění tehdejšího SSSR (Sovětský svaz socialistických republik) první umělou vesmírnou družicí – *Sputnik-1* 4 října 1957 z kosmodromu Bajkonur (dnes Kazachstán). Vývoj a aktivní využití prvních meteorologických družic, fotoprůzkumné družice, multispektrální systémy. V roce 1958 první snímek

zemského povrchu z americké družice *Explorer-1*. 1960 až 1964 vypuštění systému amerických družic *TIROS* (Television and Infra-Red Observation Satellite) s použitím televizních kamer pro snímání povrchu Země a u některých družic aj infračervené radiometry, což znamenalo reálný počátek družicového DPZ. [7], [8].

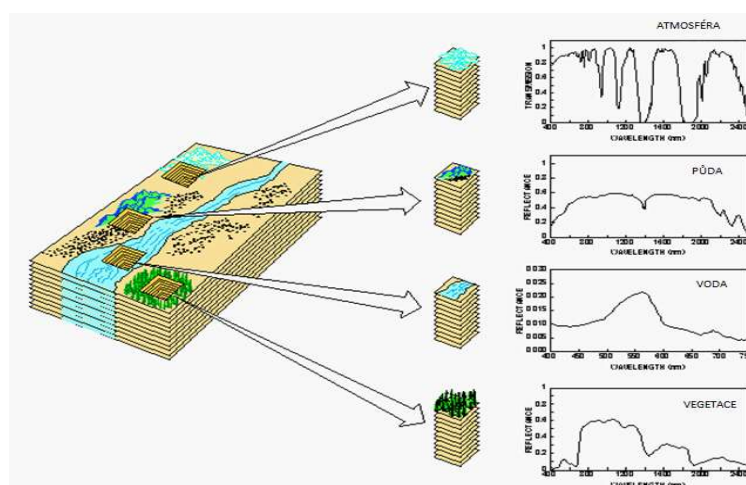
- 1972 až 1995 první pilotované kosmické léty, aktivní vývoj výpočetní techniky (počítače, elektronické skenery, prvky CCD, intranet, internet), globální monitorování Země. Nimbus 1-7 (1964-1978) další experimentální meteorologický systém družic, který vylepšoval TIROS. Velký počet dat pořízených družicemi Apollo, Merkury a dalšími. Vznik amerického globálního navigačního satelitního systému – GPS (Global Positioning System) v roce 1978, vznik sovětského globálního navigačního satelitního systému – GLONASS (**Г**ЛОБАЛЬНАЯ **Н**АВИГАЦИОННАЯ **С**ПУТНИКОВАЯ **С**ИСТЕМА, transkripce: Globalnaja navigacionnaja sputnikovaja sistema) v roce 1981. Aktivní vývoj návrhu vyslání komplexnějších družic pro použití výlučně v rámci DPZ: vznik Landsat (1972 až 1983) pro výzkum primárně pevniny a SeaSat (1978) pro výzkum oceánů. Aktivní výzkum hyperspektrálních dat ve formátu JET (Jet Propulsion Laboratory v Pasadeně). [7], [8].
- 1996 až současnost úspěšný rozvoj privátního sektoru v DPZ. Vývoj družic s metrovou až decimetrovou přesností. Vznik rodiny družic Sentinel. Propojení DPZ se značnou částí oboru. V roce 2002 vypuštění první družice poskytující hyperspektrální data – Evropská družice ENVISAT. Rozvoj open source dat a softwaru pro poskytování a zpracování dat v dálkovém průzkumu Země např. (Google Earth Pro, SNAP atd). Data DPZ jsou základy dat pro vytvoření dat v Geografických informačních systémech. [7], [8].

Získávání dat se provádí měřením množství elektromagnetického záření odraženého od Země nebo objektů na Zemi (případně objektů v zemské atmosféře) jejichž teplota převyšuje hodnoty absolutní nuly $-273,15$ °C. Sběr družicových dat neprobíhá jen na základě záznamu zemského povrchu, ale taky transformací mikrovlnné částí spektra do obrazové podoby, výsledky těchto transformací zobrazují například radary. Další sektor získání dat se provádí na základě využití rozšířeného spektra elektromagnetického záření, laserová měření, měření ozonu v atmosféře atd. [6], [7], [8], [16].



Obr. 11. Princip DPZ. [17]

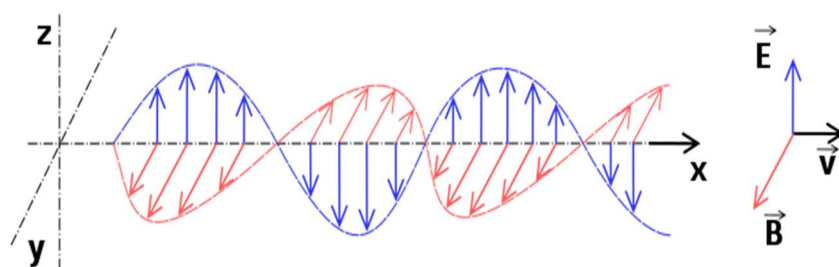
Oproti klasickým metodám pozemních měření jsou družicová data poměrně rychle a pokrývají rozsáhlá území za celou plochu. Měření jsou po určitých časových intervalech opakovatelná, což umožňuje sledování zájmového území na základě kombinaci několika scén. DPZ zároveň umožňuje získávání informací i ze špatně přístupných míst. Díky možnosti automatizace celého procesu zpracování družicových nebo leteckých snímků je možné lépe provádět dlouhodobý a udržitelný monitoring potřebné oblasti. V posledních letech dochází k rozvoji open source v rámci DPZ. Příklad nový program Copernicus, který je financován Evropskou unií. Copernicus poskytuje široké portfolio družicových dat zdarma. Lze předpokládat, že daný trend v oblastech otevřených dat bude jen zvětšovat a v blízké budoucnosti kvalita nekomerčních dat bude lepší, než tomu je dnes. [6], [7], [16].



Obr. 12. projev různých typů povrchu na družicovém snímku. [16]

2.2 Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření je fyzikálním jevem, při němž dochází k přenosu všech kvant energie elektromagnetického pole geometrickým prostorem. Elektromagnetické záření je všude přítomné a vytváří se prakticky kolem všech fyzikálních částic a provádí interakci mezi nimi. Elektromagnetické pole, kde probíhá interakce mezi nabitými částicemi, se skládá z magnetického a elektrického pole. Nejlépe elektromagnetické záření je popsáno na základě elektromagnetického vlnění, které je tvořeno příčným pohybem elektrických a magnetických vln. Existence elektromagnetických vln byla popsána skotským fyzikem Jamesem Maxwellem v roce 1865. Elektromagnetické vlnění je charakterizováno rychlostí šíření světla, vlnovou délkou a frekvencí. Binární částice elektromagnetického vlnění je foton. [6], [7], [8], [11].



Obr. 13. Elektromagnetické vlny. Modrá je elektrická vlna, červená je magnetická vlna. [11]

$$\lambda = T \cdot c \quad [m] \quad (1)$$

kde λ je vlnová délka, $c \left[\frac{m}{s}\right]$ je rychlost světla a T [s] je doba jedné periody.

- Frekvence uvádí počet vrcholů během jedné vteřiny:

$$f = \frac{1}{T} \quad \left[\frac{1}{s}\right] \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [m] \quad (3)$$

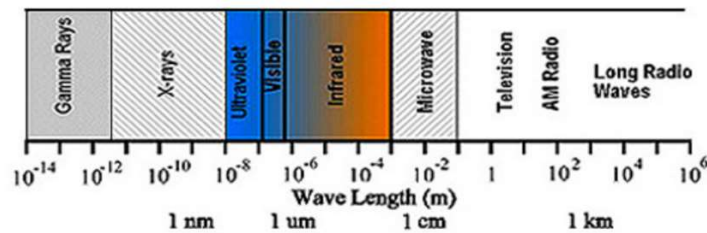
$$E = h \cdot f \quad \left[\frac{J}{s^2}\right] \quad (4)$$

Kde E je energie fotonu, h je *Planckova konstanta* vyzařovacího zákona černého tělesa. Planckův vyzařovací zákon popisuje závislost intenzity záření M absolutně černého tělesa na frekvenci ω .

Vzniklou energii během elektromagnetického záření je možné popsat následovně:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad \left[\frac{J}{s^2}\right] \quad (5)$$

Elektromagnetické spektrum popisuje rozdělení fotonů na základě odlišné frekvence u elektromagnetického záření. Během dělení na jednotlivá spektra často dochází k překryvům sousedních typů. Pro případ stojí zmínka, že některé rentgenové záření má kratší vlnovou délku nežli gama záření. Překročení hranic dochází primárně proto, že paprsky se určují dle původu, a ne dle frekvence. V dálkovém průzkumu Země se pracuje s vlnovými délkami v intervalu od 3 nanometrů do 1 metru. Jednotlivé rozsahy jsou uvedeny rozdělení je uvedeno na níže uvedeném obrázku. [6], [8], [11].



Obr. 14. Rozdělení elektromagnetických vln. [6]

Jednotlivé radiové vlny (angl. radio waves) – vznikají a jsou vedeny pomocí radiových antén. Velikost jednotlivých radiových vln dosahuje přibližně totožné velikostí jednotlivých radiových antén. Užití hlavně pro přenosy informací během rádiové vysílání, televize, mobilní telefony atd. [11].

Mikrovlnné záření (angl. microwave) – toto záření je známé tím, že jednotlivé molekulární tekutiny (obzvláště voda) dokáže prakticky zcela absorbovat mikrovlnné záření. Tato vlastnost je využívána v rámci metod dálkového průzkumu Země. Dále v rámci DPZ mikrovlnné záření se používá například pro zjišťování reliéfu, geologie a zemědělství. Jedná se o největší elektromagnetické vlny používané v rámci DPZ. [7], [8], [11].

Infračervené záření (angl. Infra Red) je velmi rozšířené záření používané v rámci dálkového průzkumu Země, nejčastěji v rámci rozpoznávání vegetace:

- *Infračervené záření daleké* je známo hlavně vyzařováním samotné Zemí. Použití hlavně pro zjišťování teploty oceánů, lokalizace lesních požárů.
- *Střední infračervené záření* – primární využití k rozlišení jednotlivých druhů vegetace, rozpoznávání ledu a sněhu. [8], [11].
- *Blízké infračervené záření* – je jedním z nejrozšířenější částí spektra elektromagnetického záření méně. Nejčastěji využívané infračervené záření v rámci dálkového průzkumu Země. Scény pořízené v rámci blízkého infračerveného záření, byly aktivně použity v rámci praktické částí této diplomové práce, víc dále. [8], [11].

Viditelné spektrum (angl. visible light) – je viditelná část elektromagnetického záření. Lidské oko dokáže zaznamenat pouze vlnové délky v intervalu od 380 do 720 nanometrů, což je nepatrný zlomek ve srovnání s ostatním elektromagnetickým spektrem. Barvy červená, zelená a modrá (RGB) jsou primární barvy viditelné části spektra. [6], [7], [8], [11].

Ultrafialové záření (angl. ultra violet) – je elektromagnetické záření s nejmenším vlnovou délkou (400 až 100 nanometrů). V rámci DPZ je neúčinnější pro rozpoznávání jednotlivých hornin a skal. [8], [11].

Rentgenové záření (angl. X-rays) – je elektromagnetické záření, použití v biomedicíně. V DPZ není žádné využití. Vlnové délky jsou v intervalu 0,01 až 10 nanometrů. [11].

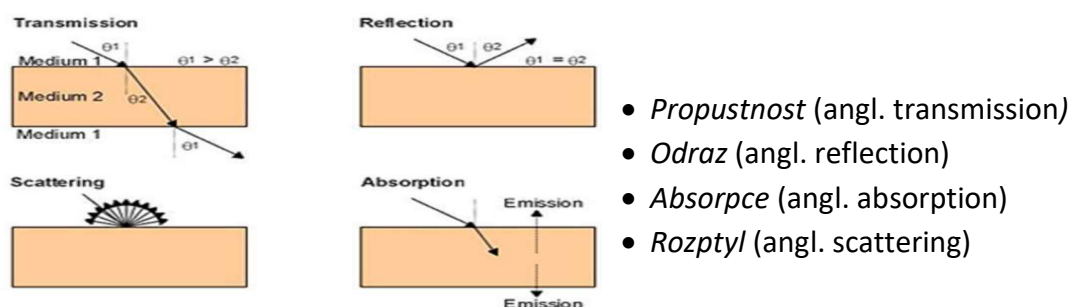
Gamma záření (angl. gamma rays) – je nejmenší elektromagnetické záření které se projevuje v rámci jaderných dějů. Žádné využití v rámci DPZ. Maximální dosah záření je 0,01 nanometrů. [11].

Na níže uvedené tabulce jsou uvedeny jednotlivá spektra a jejich rozsah v rámci metod DPZ. Ultrafialové, infračervené a mikrovlnné záření jsou v tabulce zabarveny v rámci pseudobarev.

Vlnové délky užívané v DPZ		
Popis	rozsah	
Ultrafialové záření	3 nm	380 nm
Viditelné záření – fialová	380 nm	446 nm
Viditelné záření – modrá	446 nm	500 nm
Viditelné záření – zelená	500 nm	578 nm
Viditelné záření – žlutá	578 nm	592 nm
Viditelné záření – oranžová	592 nm	620 nm
Viditelné záření – červená	620 nm	720 nm
Infračervené záření blízké	0.72 μm	1.3 μm
Infračervené záření střední	1.3 μm	4 μm
Infračervené záření tepelné	8 μm	14 μm
Infračervené záření daleké	4 μm	25 μm
Mikrovlnné záření	1 mm	1000 mm

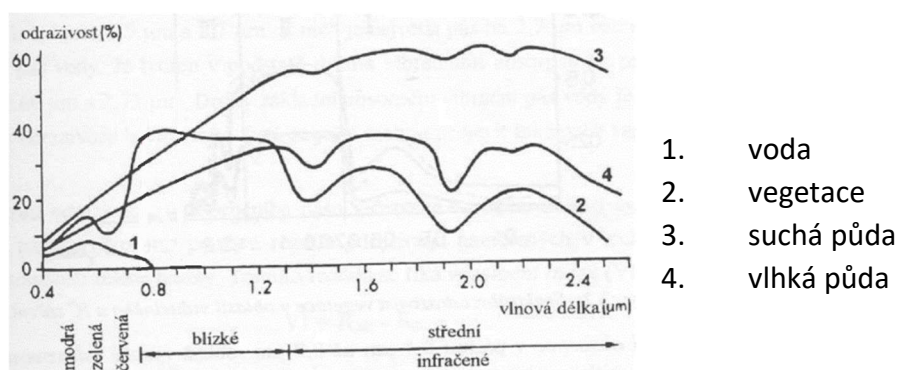
2.3 Interaktivní vlastností objektů

Elektromagnetické záření se mění během svého pohybu skrz nehomogenní prostředí. Tyto změny závisí na jednotlivých fyzikálních vlastnostech průchozích objektů. Na základě změn elektromagnetického záření, lze zpětně určit druh látky (princip DPZ), která pozměnila elektromagnetické záření. Vysíláním záření z družicové aparatury procházejícím atmosférou a odraženého/vysílaného dosahem zemský povrch, dojde k fyzikální interakci mezi elektromagnetickým zářením a jednotlivými objekty na Zemi. Jednotlivé interakce můžeme rozdělit dle níže uvedených kategorií. [6], [7], [8], [11].



Obrázek 15. druhy odrazivosti. [6]

Odrazivost látek na povrchu Země závisí na různých faktorech (více dále), znalost všech těchto faktorů, umožní získat nejpravděpodobnějšího stavu objektu ve skutečnosti. Ovlivnit odrazivost látky může například roční období, větší/menší vlhkost objektu, oblačnost, teplota, tedy stavové parametry. Tyto faktory jsou spektrální charakteristikou, která popisuje chování jednotlivých typů látek v různých vlnových délkách na základě jednotlivých vlnových délek λ – spektrálních pásem. Pomocí těchto spektrálních pásem lze objekty klasifikovat na jednotlivé třídy (lesy, vegetace, vodstvo, skály atd), případně stavové parametry (porovnání stejné půdy před a po dešti, rozdíly ve vegetaci v rámci jednotlivých ročních období atd). [11]. Na níže uvedeném obrázku je zobrazena odrazivost 4 druhů povrchu podle tříd (druhového parametru 1 až 3) a stavových parametrů (3 a 4):



Obr. 16. Odrazivost dle povrchu. [6]

Popis odrazivosti jednotlivých látek:

- **Voda** – pokrývá větší část Zemského povrchu. Jeden z důvodů typické modré barvy u vody je větší odrazivost v kratších vlnových délkách, což zároveň znamená, že krátkovlnné záření prakticky není absorbováno vodou. K větší absorpci dochází v rámci červeného spektra a NIR. Vede to k tomu, že v praxi vegetace a voda jsou těžko rozeznatelné v rámci viditelného světla, ale jednotlivé látky jsou odlišitelné v rámci infračerveného záření. Přítomnost zelené barvy u vody způsobuje vrstva sinic, která obsahuje jisté množství chlorofylu. V rámci mikrovlnného záření je možné sledovat různou hustotu vody, která je ovlivněna dalšími vlastnostmi jako například slanost vody. [6], [8].
- **Vegetace** – je jeden z nejrozšířenějších typů objektů na Zemském povrchu z pohledu DPZ. Nejvíce rozšířen v umírněných a rovníkových pásech. Třídění vegetaci na lesy, lesostepy, pole s vegetací atd. Jednotlivé třídy mají odlišnou odrazivost, která závisí na jednotlivých pigmentech látek v jednotlivých elektromagnetických spektrech. Například chlorofyl obsažený v zeleni silně odráží vlnovou délku zelené barvy, naopak absorbuje vlnovou délku červené barvy. Pro pozorování vegetace nejlépe slouží vlnové délky blízkého

infračerveného pásma (NIR). Silně zelená vegetace v létě má největší počet chlorofylu. Zároveň čím je rostlina je starší, tím menší obsah chlorofylu má. S větším obsahem vlhkosti roste absorpce rostliny. [6],[8]. *Normovaný rozdílový vegetační index* vyjadřuje změny v odrazivosti v červeném spektru R do blízkého infračerveného spektra NIR :

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (6)$$

- *Pole bez vegetace* – postupně narůstající hodnoty odrazivosti s narůstající vlnovou délkou. Velmi záleží na obsahu chemických látek, humusu, erozi, mechanických vlastností půdy a vlhkosti. S rostoucí vlhkostí půdy klesá odrazivost. Větší odlišitelnost mezi polem bez vegetace a vegetačním povrchem je v infračervených pásech. V rámci mikrovlnného záření lze rozeznávat drsnost jednotlivých objektů. [6], [8].
- *Skalní masivy, doly a umělé povrchy* – odrazivost závisí na vlhkost, struktuře povrchu, jednotlivých mechanických vlastnostech objektů a jejich chemickým složení. Čím je hladší povrch, tím odrazivost je lepší (vliv vícenásobného odrazu). Je problematické oddělit jednotlivé třídy. [6], [8].

2.4 Obrazová data

První družicová data byla pořizována v analogovém formátu. Dnes se již data pořizují výlučně digitálně. Digitální obraz je tvořen maticí čísel. Tato matice obsahuje jednotlivé digitální hodnoty – pixely. Shodná barva jednotlivých pixelů reprezentuje shodnou hodnotu odrazivosti všech objektů obsazených na určité ploše. Velikost této plochy udává prostorovou rozlišovací schopnost jednotlivých pixelů. Relativní umístění pixelů v rámci digitálního obrazu je vázáno na absolutní souřadnice v rámci zvoleného polohového souřadnicového systému, případně na místní soustavě souřadnic. Souřadnice pixelů popisují zobrazení jejich levého horního rohu v prostorů nebo v rovině. Digitální obraz splňující tento popis se nazývá *rastrem*. Pokud bylo měřeno odražené/emítované záření týmž radiometrem ve více pásmech, hovoříme o multispektrálních obrazových datech, která jsou rastrovými daty. [6], [8], [9].

1592	1499	1716
1947	1681	1526
2280	2194	1710

Obr. 17. Ukázka rastrových dat, jednotlivá barva odpovídá číselné hodnotě matice.

Rozsah možných radiometrických hodnot pixelu je označován radiometrická rozlišovací schopnost. Ta vychází se ze základu informatiky popisující množství informace potřebné k zobrazení dvou stavů stejného prvku. Celkový stav kombinací M :

$$M = S^E \tag{7}$$

kde S je počet stavů objektu, E je počet prvků.

Množství informace se udává v bitech, velikost objemu dat pak v bytech.

$$8 \text{ bitů} = 1 \text{ byte} \tag{8}$$

Větší počet bitů na pixel neznamena pouze vyšší počet možných digitálních hodnot, ale také zatěžuje paměť během operaci s grafickými informacemi. Níže jsou uvedeny nejčastěji používané rozlišení v rámci DPZ. [6], [8], [9].

barevné rozlišení [bity]	rozsah hodnot	použití
1	0 - 1	binární data/1bitová data
8	0 - 256	8bitová data v barevné škále nebo stupních šedi
16	0 - 65535	např. data družice Sentinel, radarová data
24	0 - 16777215	kombinace 3 8bitových pásem v rámci DPZ (RGB)

Po provedení úloh v rámci DPZ lze rastrová data převést do vektorové podoby, kde vzniknou jednotlivé vektorové prvky na základě jednotlivých rastrových hodnot. Vektorizaci je vhodné provádět po klasifikaci, kdy počet hodnot pixelu je snížen. [6], [8].

Během vektorizace dochází k rozdělení jednotlivých pixelů na základní typy objektů:

- Bodů
- Linii
- Polygonů

2.5 Digitální zpracování obrazových dat

Obecně lze zpracování obrazových dat rozdělit do 4 hlavních bodů:

1. Rektifikace a restaurace
2. Zvýraznění obrazu
3. Klasifikace
4. Post-klasifikační úpravy

Při náročnějším zpracování a k dosažení lepších výsledků je možné jednotlivé kroky opakovat, případně zaměňovat. Etalonové řešení v rámci DPZ neexistuje a zpracovatel musí najít, respektive vymyslet správný postup pro zpracování konkrétně zadané úlohy.

1. Rektifikace a restaurace

1.1. Rektifikace dat

Rektifikace je metoda, kdy je obrazovým datům přiřazen souřadnicový systém. Moderní družicová data jsou již opravená o geometrickou korekci poskytovatelem dat a jsou již transformována do souřadnicového systému. [6], [8].

1.2. Restaurace dat

Restaurace je oprava radiometrických hodnot v pixelech v důsledku šumu v datech nebo vlivu atmosféry. [6], [7].

➤ Atmosférická korekce

Atmosférická chyba je radiometrickou hodnotou, která vzniká jako důsledek vlivu atmosféry na procházející záření. Tím dochází ke změně radiometrických hodnot vlastního zemského povrchu. Tento vliv je nutno opravit. V případě silné oblačnosti řešení využívající nástroj pro atmosférickou korekci neexistuje a volí se jiný způsob předzpracování dat. [6].

- Software ATCOR

ATCOR je atmosférická a topografická korekce vyvinuta německou kosmickou agenturou. V rámci vývoje došlo ke vzniku rozšíření ATCOR2 (atmosférická korekce pro rovinné území), ATCOR3 (atmosférická korekce pro hornaté území), ATCOR4 (složitější propojené algoritmy). V rámci Geomaticy algoritmus se skládá ze 4 propojených modulu. Jednotlivé moduly jsou propojeny a některé moduly jsou používány jen pro některé satelity. Způsob zpracování dat pomocí atmosférické korekce v rámci diplomové práce je popsán v následujících kapitolách. Oficiální dokumentace [22]. [6], [10].

2. Zvýraznění obrazu

Je způsob úpravy jednotlivých scén. Lidské oko je citlivé pouze na viditelné záření elektromagnetického spektra. Proto je vhodné jednotlivá měřená pásma upravovat v průběhu zpracování tak, aby bylo možné získat co největší počet informací. Mezi takové kroky patří například používání zobrazení v nepravých a pravých barvách, roztažení histogramu, filtrace a další. Nejčastějším příkladem různého zobrazení dat je použití pásma NIR (near infrared) především pro zvýraznění vegetačního pokryvu. Popsaný příklad je možné porovnat na území Svatého Martina. Ve viditelném světlo je obtížné rozeznat jednotlivé druhy vegetace, rozeznat

stíny, a jezera mezi sebou. Záměnou červeného a blízkého infračerveného pásma je lidské oko schopné rozeznat jednotlivé rozdíly ve vegetačním krytu. [6], [8], [10].



Obr. 18,19 Svatý Martin z dat pořízených Sentinel-2.

Vlevo viditelné světlo, vpravo po záměně červené barvy infračerveným spektrem.

3. Klasifikace

Klasifikace je kombinace pravidel a kroků třídění jednotlivých pixelů do předem zvolených klasifikačních skupin na základě společných specifických vlastností. Klasifikace je nejsložitějším krokem zpracování obrazových dat a má největší vliv na výsledné zpracování. Klasifikační pravidla jsou založena na odrazivých vlastnostech objektů, případně na časových změnách na zájmovém území. [6], [8], [10]. Existuje několik klasifikačních metod:

- Neřízená klasifikace
- Řízená klasifikace
- Neuronové sítě
- Hybridní klasifikace
- Texturální klasifikace
- Objektová klasifikace

➤ Neřízená klasifikace

Na základě shlukové analýzy dochází ke třídění jednotlivých pixelů do shluků dle digitálních hodnot pixelů. Přibližný počet shluků se předem volí, případně jejich minimální a maximální počet těžiště jednotlivých shluků se mění v průběhu iteračního výpočtu. [6],[10]. Jednotlivé metody se liší způsobem, jakým je prováděno shlukování, například:

- klasifikátor K-means
- klasifikátor Fuzzy-means

- klasifikátor ISODATA

➤ Řízená klasifikace

Metoda provádí klasifikaci dat na základě uživatelem zvolených trénovacích ploch jednotlivých tříd v rámci trénovací množiny. Mezi nejznámější klasifikátory této metody patří metoda nejbližšího souseda, parallepiped (rovnoběžnostěnu), minimální vzdáleností, bayesovský klasifikátor a klasifikátor maximální pravděpodobností. [6], [8], [10].

Klasifikátor maximální pravděpodobností třídí pixely do jednotlivých tříd na základě analýzy podmíněné pravděpodobnosti zatřídění každého pixelu do všech tříd. Nutnou podmínkou je normální rozdělení hodnot v trénovacích plochách jednotlivých tříd. [6].

➤ Hybridní klasifikace

Tato metoda kombinuje řízenou a neřízenou klasifikaci. Výsledky neřízené klasifikace slouží jakož trénovací plochy pro řízenou klasifikaci. Kombinace obou metod dává nejlepší výsledky při náročnějších pracích, avšak během ní může docházet k velkému počtu nadbytečných chyb. [6].

4. Post-klasifikační úpravy

Post-klasifikační úpravy jsou soubory odlišných úprav výsledků klasifikace. Primárním cílem je odstranění šumu s použitím postklasifikačních filtrů, sjednocení některých blízkých si tříd, změna popisu tříd, odstranění prázdných tříd, vyhlazení. Mezi nejpoužívanější postklasifikační filtry patří například majoritní filtr. Pohyblivé okno prochází jednotlivé pixely, a jestli hodnota prostředního pixelu nepatří do majoritní třídy v daném okolí, změni se hodnota prostředního pixelu na majoritní. [6], [7], [8], [9].

2.6 Operační systémy DPZ

Existuje rozsáhlá škála družicových systémů zaměřujících se na DPZ, více uvádí [18]. Družice slouží k získávání měřených dat. Vlastností měřených dat rozlišujeme:

- Spektrálních rozlišení
 - Multispektrální
 - Hyperspektrální
 - Radarová
- Prostorové rozlišení
 - Nízké rozlišení
 - Střední rozlišení
 - Vysoké a velmi vysoké rozlišení

Lepší kvalitu mají data sloužící pro komerční a vojenské účely. Tato diplomová práce se zaměřuje na zpracování dat z volně dostupných družicových dat, které samozřejmě mají slabší spektrální a prostorové rozlišení. V diplomové práci jsou využita primárně data z řady družic Sentinel a sekundárně Landsat. [7], [18], [19].

➤ **LANDSAT**

Americká osmidílná série družic Landsat patří mezi nejznámější družice používané v rámci DPZ. Data jsou pořízena ve středním prostorovém rozlišení. První družice byla vypuštěna v roce 1972. Poslední je na oběžné dráze Země od roku 2013. Data jsou tedy sbírána po dobu 46 let, což dělá Landsat nejdéle existující sérií družic DPZ v dějinách. Data jsou spravována a poskytována americkou vědeckovýzkumnou vládní agenturou USGS (United States Geological Survey). V době psaní této diplomové práce v provozním stavu byly pouze družice Landsat 7 a Landsat 8. Na rok 2020 je naplánováno vypuštění družice Landsat 9. [19].

- **Landsat 7**

Spektrální rozlišení panchromatické – 520 až 900 nm. Multispektrální data jsou tvořena celkem 7 pásmy. Prostorové panchromatické rozlišení 15 metrů, prostorové spektrální rozlišení 30 metrů a prostorové tepelné rozlišení 60 metrů. Data jsou 8bitov8. [7], [19].

- **Landsat 8**

Spektrální rozlišení panchromatické – 500 až 680 nm. Multispektrální data jsou tvořena celkem 10 pásmy. Prostorové panchromatické rozlišení 15 metrů, prostorové spektrální rozlišení 30 metrů a prostorové tepelné rozlišení 100 metrů. Data jsou 8 bitové. [7], [19].

➤ **SENTINEL**

Družice Sentinel jsou součástí Evropského programu pro monitorování životního prostředí Země – Copernicus, předchozí název GMES (Global Monitoring for Environment and Security). Program Copernicus poskytuje otevření přístup k datům a informacím. Systém se skládá ze 3 segmentů. Kosmickou komponentu programu Copernicus zpravuje a provozuje ESA (European space agency). Program je plně funkční od roku 2014. Ke dnešnímu dni Družice Sentinel jsou tvořeny celkem 5 řady – Sentinely 1 až 5. Z toho Sentinel 1 až 3 jsou již plně funkčními projekty a 4-5 jsou v posledních vývojových etapách. Data lze získat z oficiálního webu programu Copernicus – [26]. [16].

- Sentinel 1

Se skládá ze 2 dvou družic S1-A (2014) a S1-B (2016). Radarová data s prostorovým rozlišením 40 metrů. V následující dekádě přibudou družice S1-C a S1-D, které mají postupně nahradit předcházející družice. [16],[18].

- Sentinel 2

Se skládá ze 2 dvou družic S2-A (2015) a S2-B (2016). Prostorové rozlišení se pohybuje v intervalu od 60 metrů až do 10 metrů. Záběr skeneru dosahuje 290 km. Spektrální pásma jsou rozděleny na 3 kategorie:

- VIS
- NIR
- SWIR

Program Copernicus o družicích Sentinel 2:

„Družice Sentinel 2 jsou určeny především pro monitoring krajinného pokryvu a mapování změn v území a využití ploch. Na své palubě nesou multispektrální senzor, který navazuje na odkaz misí Landsat a SPOT. Tento senzor je prvním svého druhu, který zahrnuje tři pásma v červeném okraji viditelného spektra a jeho data jsou tak svými parametry ideální také pro monitorování vegetace, a to se zaměřením na klasifikaci lesních porostů, mapování obsahu chlorofylu v listech, sledování zdravotního stavu vegetace, tvorbu vegetačních indexů nebo zjišťování vodního stresu. Využití dat těchto družic je také předpokládáno zejména v oblasti podpory krizového řízení (monitoring lesních požárů, dlouhodobého sucha aj.), v zemědělství a mnoho dalších oborech.“ [16].

V rámci diplomové práce byla zpracována primárně data družice Sentinel – 2. Data poskytovaná touto službou jsou nejkvalitnější ze všech volně dostupných dat družic. Na další stránce je podrobně popsáno rozdělení jednotlivých částí elektromagnetického spektra v rámci velikostí vlnové délky a prostorového rozlišení.

- Sentinel 3

Se skládá ze 2 dvou družic S3-A (2016) a S2-B (2017). Poskytují radarová a multispektrální data středního rozlišení. Primární cíl mise sledování změn mořského a pevninského povrchu. [16], [18].

- Spatial Resolution

The spatial resolution of SENTINEL-2 is dependent on the particular spectral band:

10 metre spatial resolution:

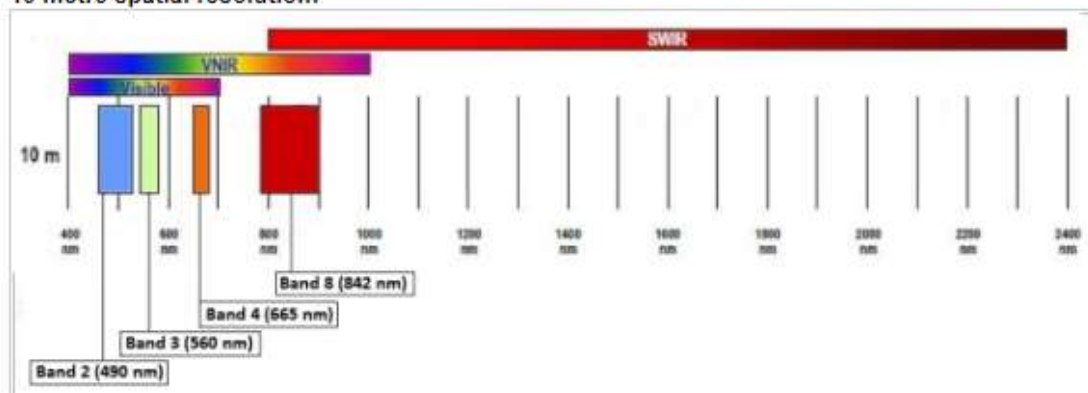


Figure 1: SENTINEL-2 10 m spatial resolution bands: B2 (490 nm), B3 (560 nm), B4 (665 nm) and B8 (842 nm)

20 metre spatial resolution:

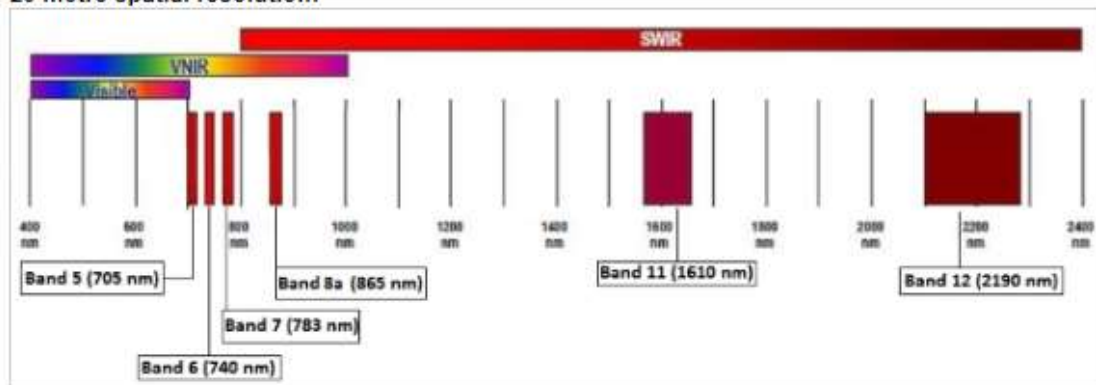


Figure 2: SENTINEL-2 20 m spatial resolution bands: B5 (705 nm), B6 (740 nm), B7 (783 nm), B8a (865 nm), B11 (1610 nm) and B12 (2190 nm)

60 metre spatial resolution:

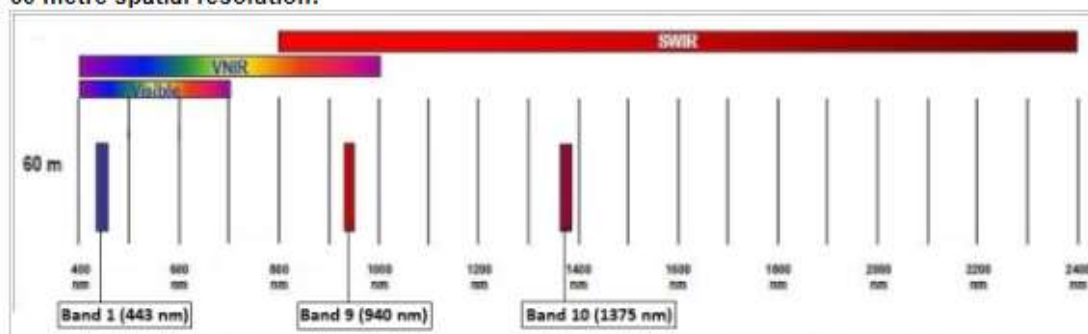


Figure 3: SENTINEL-2 60 m spatial resolution bands: B1 (443 nm), B9 (940 nm) and B10 (1375 nm)

2.7 Software pro zpracování dat DPZ

Ke dnešnímu dni existuje široká škála softwarů pro zpracování dat dálkového průzkumu Země jako třeba eCognition (Trimble), Geomatica, PolSARpro, Google Earth pro, zásuvné moduly QGISu, zásuvné moduly ArcGisu, zásuvné moduly Grassu, SNAP a další. V rámci diplomové práce byly použity celkem 3 softwary, větší část zpracování byla provedena v komerčním programu PCI Geomatica (verze 2013 a demo verze 2017), dále QGIS (verze 2.18), SNAP (verze 6.0).

- **SNAP**

Software SNAP (**Sentinel application platform**) je open source software. Byl vyvinut v rámci programu Copernicus pod záštitou ESA. Jak již název napovídá primární účel této platformy je zpracování obrazových dat ze Sentinelu, ale i jiných dat. Projekt je stále v průběhu vývoje, což má za následek velký počet chaotických chyb a nedostupnost na všech počítačových platformách. [16].

- **QGIS**

QGIS je nejznámější volně dostupný a multiplatformní software na zpracování úloh v rámci GIS, dálkového průzkumu Země a dalších úloh týkajících se geodat. Jeho silnou stránkou je velký počet různých druhů modulů, které lze využít v rámci zpracování dat DPZ nebo zjednodušené propojení s jednotlivými webovými aplikacemi poskytujícími sekundární charakter pro DPZ. Příklad *OpenLayers plugin* poskytuje propojení QGIS s Google maps, Open Street Maps, Bing maps a dalšími. [20].

- **PCI Geomatica**

Geomatica je jeden z nejznámějších software pro zpracování dat DPZ. Umožňuje propracované zpracování satelitních a leteckých dat v rámci komplexních metod zpracování obrazových dat. Včetně návodu na použití jednotlivých metod [10]. Software je stále upgradován, poslední verze je z roku 2017. Po registraci na oficiálním webu distributora [27] je možné si stáhnout free demo verzi na 30 dnů. Podrobný postup zpracování diplomové práce v tomto softwaru je podrobně popsán v následujících kapitolách. [9], [10], [27].

Posouzení změn na území ostrova Svatého Martina a přilehlých ostrovů v následku působení hurikánu Irma

3.1 Volba území

Kritériem pro výběr zpracovaného území byla volba oblasti postižené působením hurikánu Irma, který byl klasifikován do nejvyšší 5. kategorie hurikánu. Ideálním kandidátem byl ostrov Svatý Martin, jelikož splňoval nejen výše uvedený požadavek, ale taky proto, že se jedná o jeden z nejnavštěvovanějších turistických míst v rámci Karibského moře.

- Citát z oficiální zprávy NOAA o následku působení hurikánu Irma na ostrově Svatý Martin [5]:

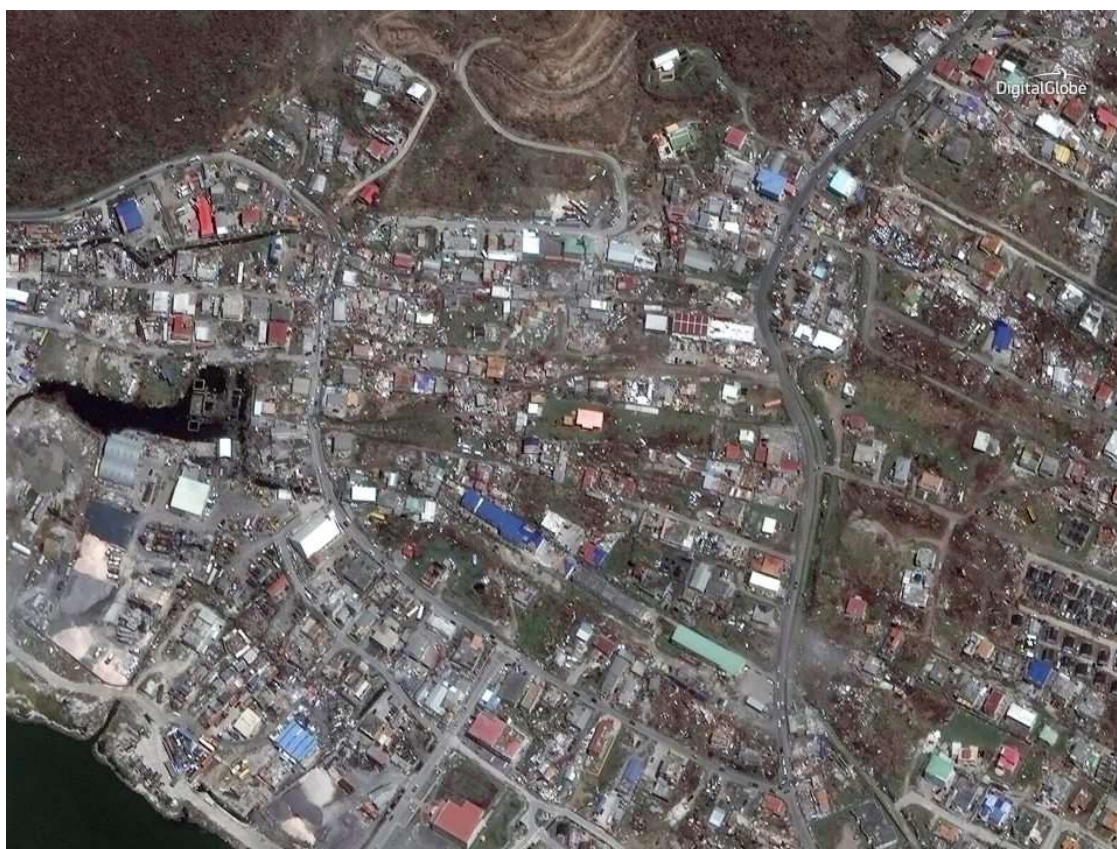
„Like Barbuda, Saint Martin took a direct hit from the catastrophic category 5 hurricane. Total damage on the island is estimated to be around 1.5 billion USD. According to media reports, on the Saint Martin (French) side of the island, 90 % of the structures were damaged with 60% of those being considered uninhabitable. Irma’s intense winds heavily damaged the marina and ripped trees out of the ground. Total losses are estimated to be near 1 billion USD.

On the Dutch side of the island (Sint Maarten), Irma caused severe damage to the airport and damaged or destroyed about 70 % of the structures. In addition to the 4 deaths, the hazards from Irma injured 23 people.“

Dle oficiální zprávy lze předpokládat, že kvůli velikosti rozsahu škod způsobených hurikánem Irma, by bylo možné poznat změny na území Svatého Martina ze satelitních snímků. Diplomová práce se zaměřuje na zpracování nekomerčních dat, kde prostorová rozlišovací schopnost použitých dat je nižší než komerčních dat. Na následující stránce je ukázka vlivu změn zveřejněná v anglických novinách „The Sun“ poskytnutá americkou firmou DigitalGlobe, která se zabývá sběrem družicových VHR (very high resolution. Na snímcích je zobrazeno hlavní město holandské části ostrova Philipsburg. Na družicových scénách lze vyzorovat změny ve vegetaci a menší změny v zástavbě. A však nejedná se o razantní změnu území na uvedeném obrazovém souboru. [21].



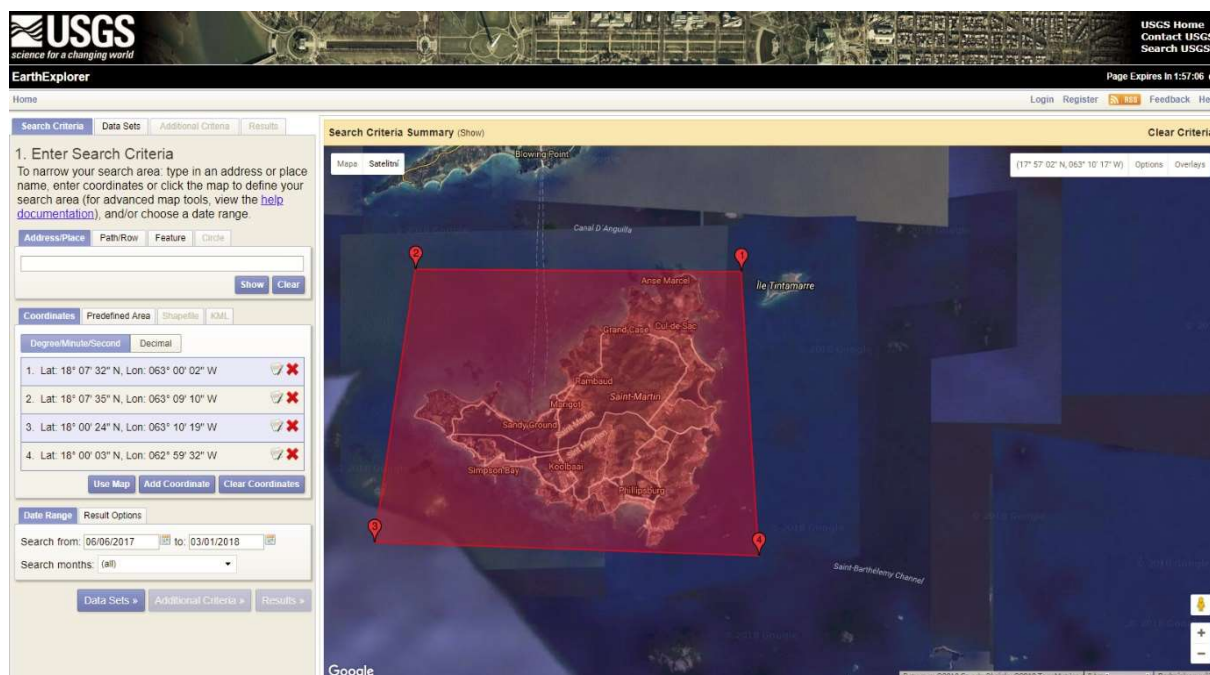
Obr. 21. Philipsburg před hurikánem, data z družic DigitalGlobe [21].



Obr. 22. Philipsburg po hurikánu, data z družic DigitalGlobe [21].

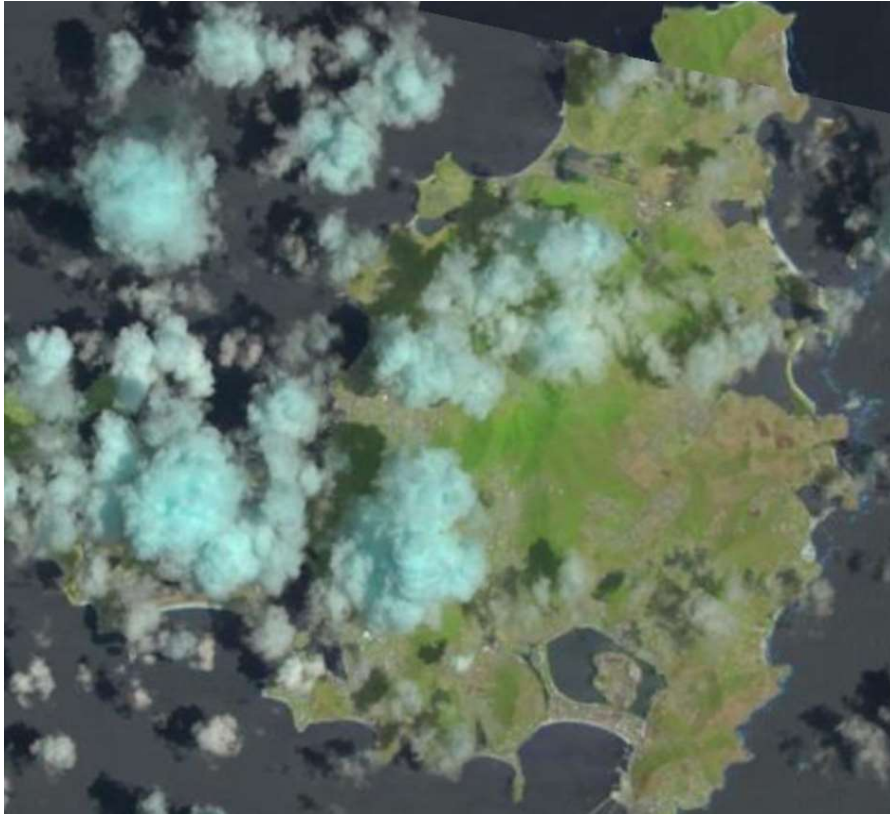
3.2 Pořízení nekomerčních družicových dat

Na oficiálním portálu United States Geological Survey (USGS) [28], je možné si pořídit otevřená data poskytovaná touto agenturou pro veřejnost po provedení registrace. Alternativou webu Earth Explorer je primárně použít data družice Landsat [19].



Obr. 23. Výběr zájmového území na portálu Earth Explorer.

Většina dat je zaměřená na území USA, Kanady, v menší ale pořád významné míře na Evropu, Austrálii a Japonsko. Pro karibské mikrostáty je možné pořídit jen data z družic Landsat. Kvalita dat Landsat pro území Návětrných ostrovů je ve 30metrovém rozlišení. Data z družic Landsat jsou vhodná pro posouzení změn v ekosystému v měřítku cca 1 : 100 000. Nelze pomocí nich provádět analýzu změn v zástavbě na úrovni jednotlivých domů nebo jejich částí, neboť nejpodrobnější data mají rozlišovací schopnost 10 m. Na následující stránce je ukázka pořízených dat ostrova Svatý Martin z 1. června 2017.

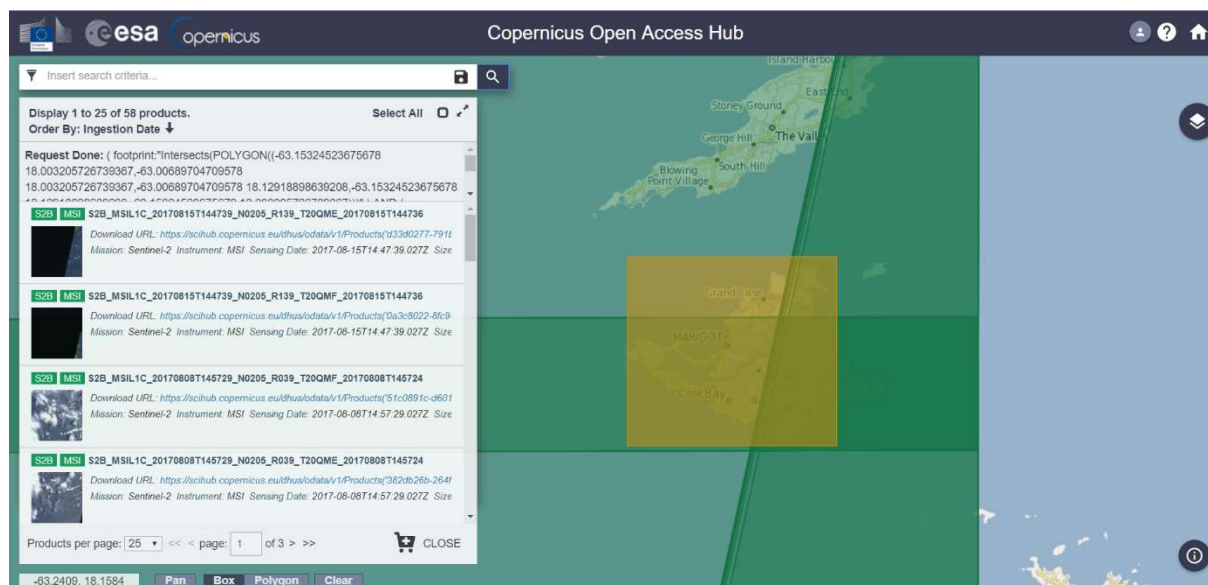


Obr. 24. Svatý Martin z dat družice Landsat-8.

Pro zpracování dat byla využita data družice Sentinel-2A, obsahující 13 pásem elektromagnetického záření, z toho 4 v 10metrovém rozlišení, 6 ve 20metrovém rozlišení a 3 ve 60metrovém rozlišení. Podrobnější popis je v kapitole 2.6. Data z družice Sentinel jsou volně přístupná na oficiálním webu programu Copernicus [26] pod hlavičkou ESA.

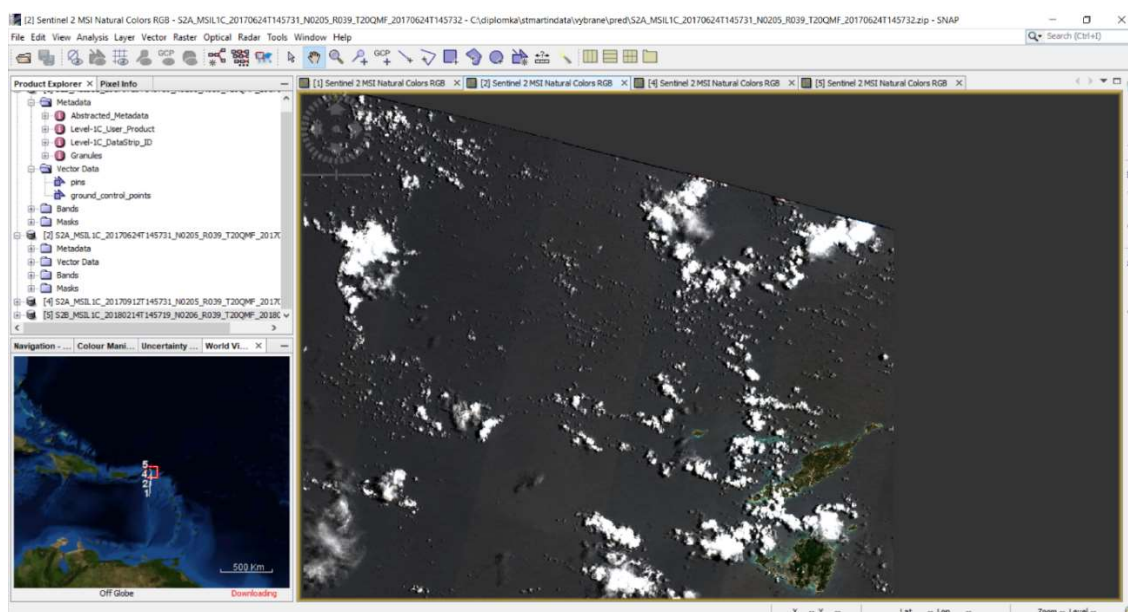
V hlavním menu na webu [26] se provede volba konkrétní družice (v našem případě Sentinel-2), vybere se čas a na webové aplikaci se objeví jednotlivá dostupná data splňující výše uvedené parametry a zobrazované území.

Dle zadání diplomové práce byl zvolen časový interval v mezích časově co nejbližších před začátkem hurikánu, aby jednotlivé scény nebyly zastaralé. Takovým časovým intervalem bylo zvoleno období od 1.června až po začátek hurikánu pro scény před hurikánem. Pro scény po hurikánu nebyly stanoveny konkrétní meze a byly porovnávány všechny scény v časovém intervalu po konci působení hurikánu na Svátem Martinu, tzn. od 8.9.2017 až po den začátku zpracování diplomové práce 21.02.2018.

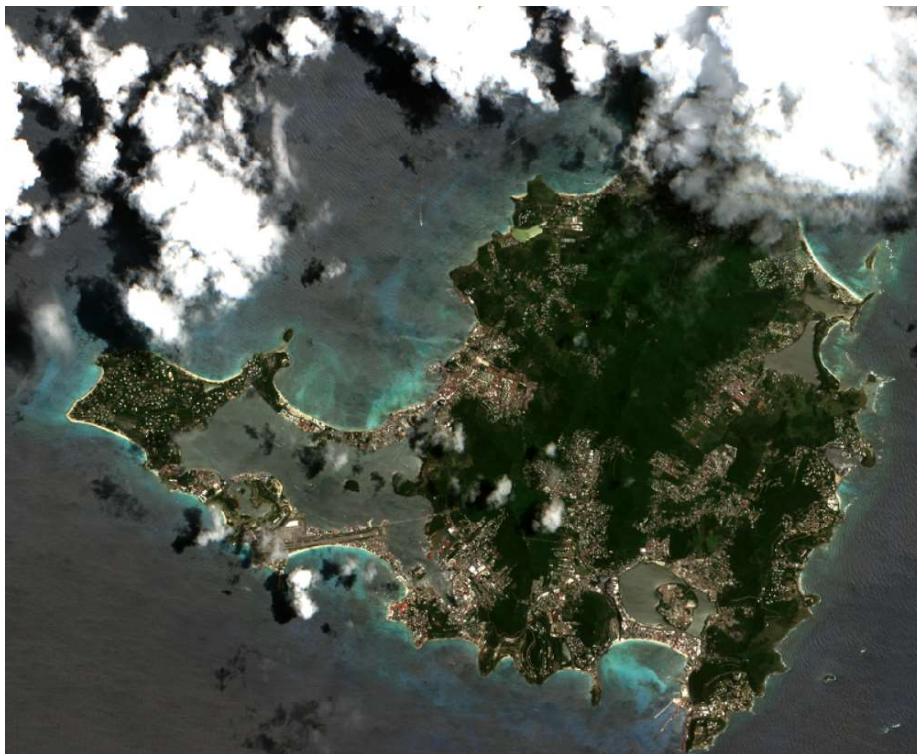


Obr. 25. Svatý Martin z dat družic Landsat-8.

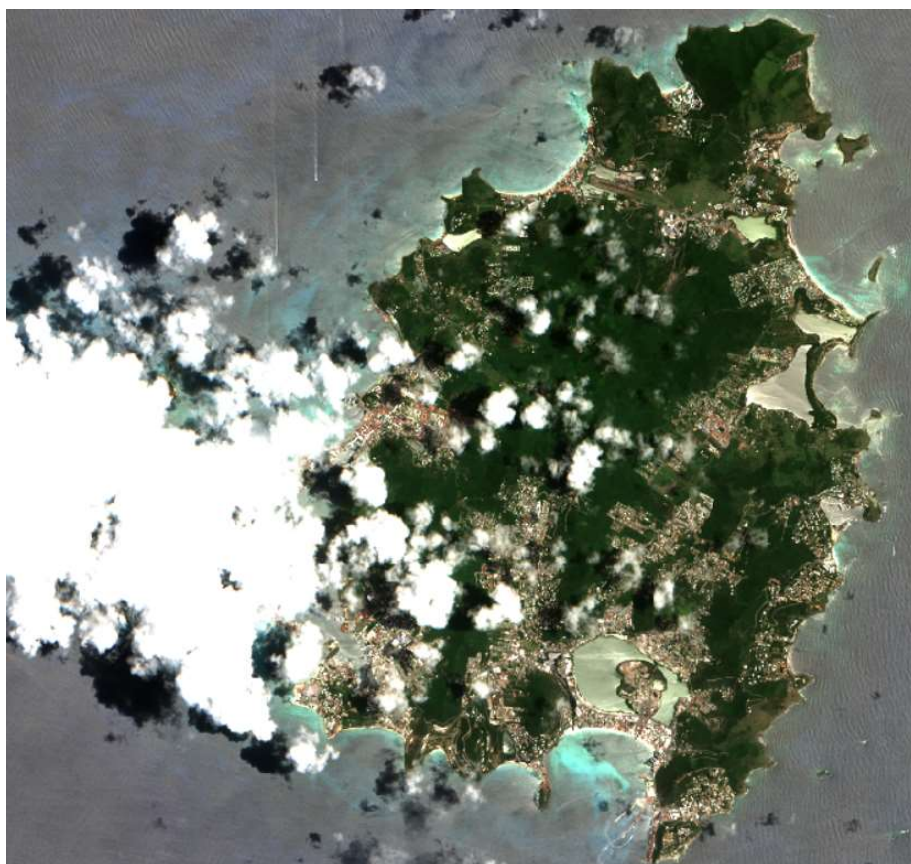
Během volby dat **před** hurikánu Irma, byly prozkoumány všechny dostupná data v časovém intervalu od 1. června po začátek září. Bohužel ani v jednom případě nebyla obloha zcela čista od oblaků. Bylo rozhodnuto najít takové scény, aby pokrytí oblaky a stíny bylo nejmenší a zároveň, aby bylo možno skombinovat výsledky ze dvou scén do jedné. Jedna scéna bude primární, a druhá sekundární. Účel sekundární scény je doplnit chybějící zmapované území. Pro data před hurikánem primární scénou byla zvolena scéna ze 24.06.2017. Sekundární byla zvolena scéna ze 29.07.2017. Scéna 24.06.2017 má nejmenší oblačnost na území ostrova Svatý Martin. Výjimku tvoří severní část ostrova. Pro tenhle účel bude sloužit scéna ze dne 29.07.2017, která sice je pod oblačností na západní části oblastí, a však je naprosto čista v severní části ostrova.



Obr. 26. Svatý Martin v prostředí SNAP z dat družic Sentinel-2 ze dne 24.06.2017.



Obr. 27. Svatý Martin výřez dat Sentinel-2 ze dne 24.06.2017.

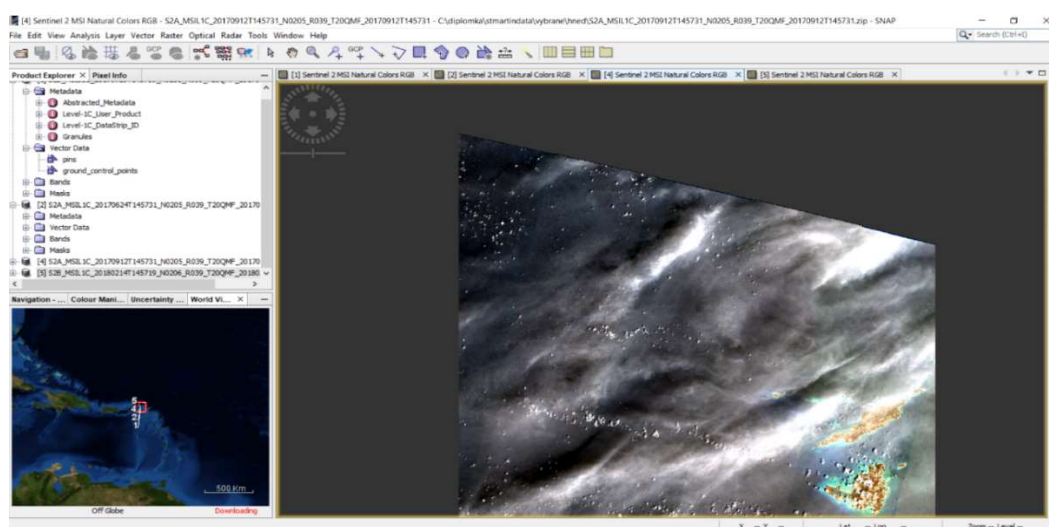


Obr. 28. Svatý Martin výřez dat Sentinel-2 ze dne 29.07.2017.

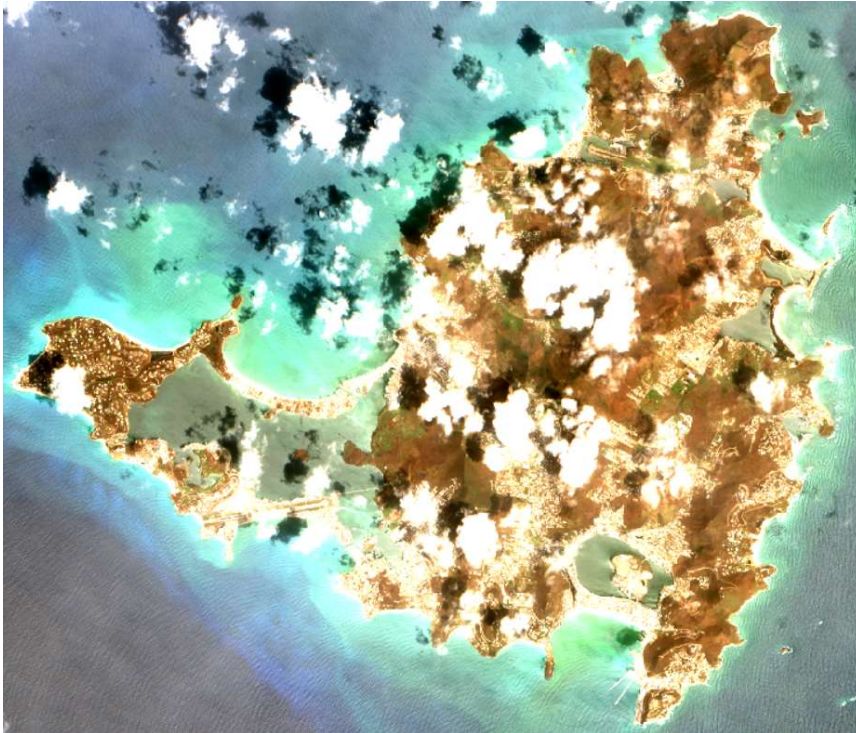
Data **po** hurikánu byla volena v časovém intervalu 8.9.2017 až 21.02.2018. Po prozkoumání dat byly vybrány scény ze dne 14.02.2018 (primární), 12.09.2017 (sekundární). Na rozdíl od dat před hurikánem, nebude možné data spojit na základě polohového rozdělení (jih a sever). Data ze dne 12.09.2017 budou využita jen na tom území, kde ze dne 14.02.2018 je pokryté teritorium oblaky a stíny. Data mají větší vzájemný časový rozestup; data ze dne 12.09.2017 byly pořízeny přibližně týden po hurikánu, což je třeba vzít v potaz v rámci budoucího zpracování dat. Kvůli nedostatku dat s podrobnější rozlišovací schopností, není možné využít jinou scénu. Na scéně 12.09.2017 jsou ještě zaznamenány stopy po hurikánu Irma mimo území Svatého Martina.



Obr.29. Svatý Martin zoom dat Sentinel-2 ze dne 14.02.2018.



Obr. 30. Svatý Martin v prostředí SNAP ze dne 12.09.2017.



Obr. 31. Svatý Martin výřez dat Sentinel-2 ze dne 12.09.2017.

Důsledek rozdílné rozlišovací schopnosti dat Landsatu a Sentinelu je možné porovnat na níže uvedených výřezech. Je zobrazeno východní pobřeží ostrova městečko Oyster Pond a Quarter of Orleans (oboje Francie).



Obr. 32,33. Vlevo Landsat – 8, vpravo Sentinel – 2A.

Jak je patrné z výše uvedených scén, rozlišovací schopnost dat z družice Sentinel – 2 značně převyšuje rozlišovací schopnost dat pořízených družicí Landsat – 8, a tedy i jejich informační obsah. V následujícím zpracování dat budou využita jen data pořízená z družice Sentinel – 2.

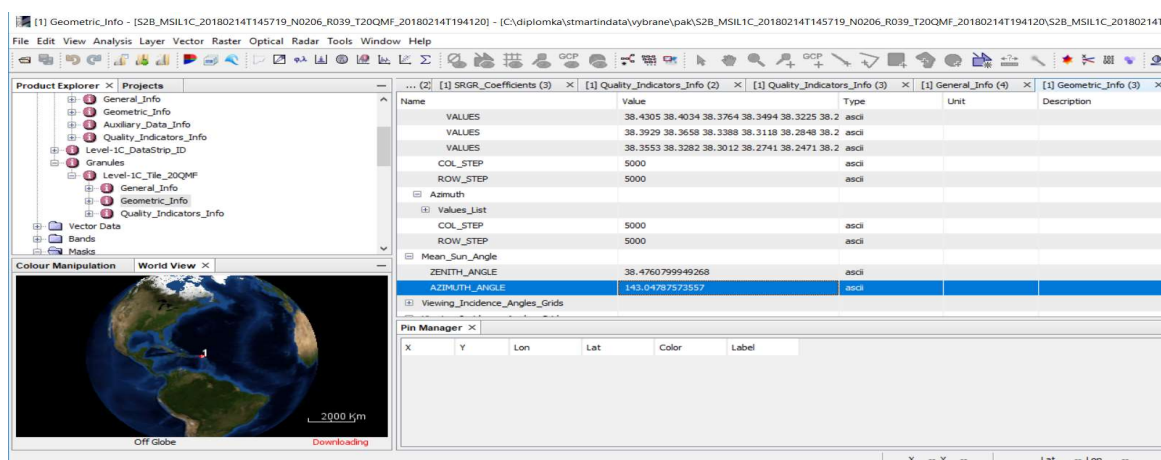
3.3 Korekce dat

Data družic Sentinel jsou poskytována již po provedení geometrické korekce a částečné atmosférické korekce. Tyto korekce a to, že data nejsou čistě původní (raw data), lze poznat na obrázcích uvedených v kapitole 3.2. Co se týče celkové atmosférické korekce, program Copernicus poskytuje software na provedení atmosférické korekce **Sen2Cor** na oficiálních stránkách ESA <http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>. Oficiální balíček je stále ve vývoji a není plně funkční pro všechny druhy operačních systémů. Během provedení korekce s využitím nainstalovaného balíčku v prostředí SNAP nedošlo zcela k odstranění vlivu atmosféry. Dalším možným řešením bylo využití programu PCI Geomatica. Program Geomatica obsahuje funkci na řešení atmosférické korekce, víc kapitola 2.5.

Program Geomatica verze 2013 neumožňuje možnost načtení dat z družic Sentinel – 2. Důvod je velmi jednoduchý, program Copernicus začal fungovat o něco později. Řešením byla instalace nejnovějšího demoverzního softwaru Geomacy – 2017, který dokáže operovat se vstupními daty družice Sentinel – 2. Jednotlivé moduly v rámci ATCOR jsou:

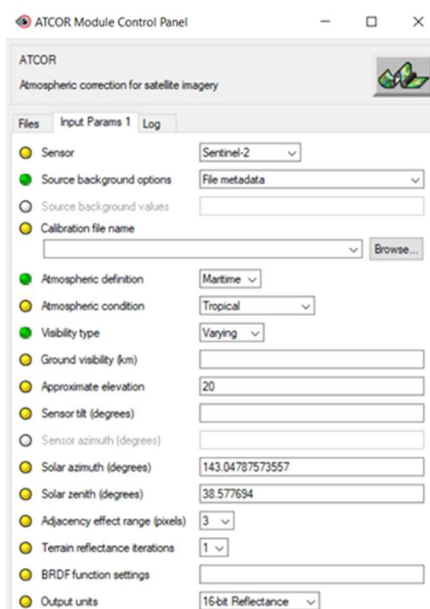
- Sensore and image settings
- Haze and cloud masking
- Illumination conditions
- Visibility and ground reflectance

Modul ATCOR nepodporuje všechny 4 moduly pro data družice Sentinel, ale jen první dva moduly. Nenovější verze by měla být rozšířena o všechny moduly pro data družic Sentinel, ke dni zpracování této diplomové práce tuto možnost program Geomatica neposkytuje. Ve článku [1] se uvádí, že vliv atmosférické korekce není prakticky možné odstranit a je výhodnější použít jen masky stínu a oblaků. Proto bylo rozhodnuto provést tvorbu masky oblaku s využitím prvních dvou modulů programu ATCOR. S využitím programu SNAP, byly získány potřebné údaje k zadání dat pro vytváření masek.



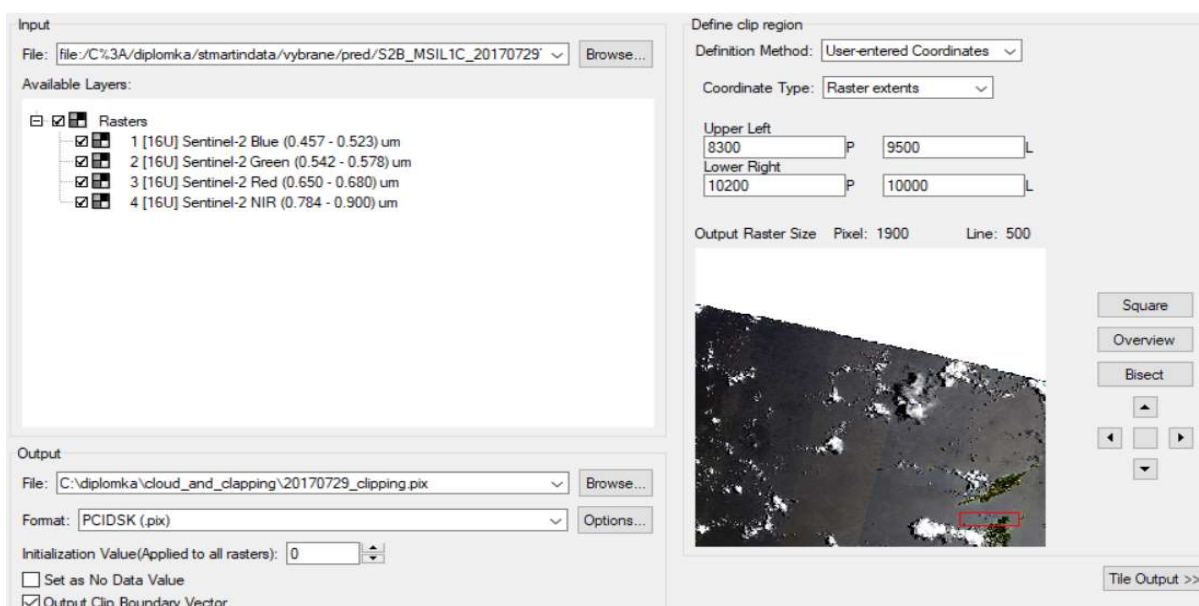
Obr. 34. Geometrické parametry družice Sentinel v softwaru SNAP.

Data byla získána pro všechny 4 scény použité v algoritmu ATCOR v Geomatice. Kromě geometrických parametrů družice Sentinel vstupují do algoritmu ATCORu (více obrázků níže) další data, např. typ prostředí, střední nadmořská výška, druh podnebního pásma atd. Jelikož přesnost jednotlivých scén se liší, bylo rozhodnuto provést atmosférickou korekci jen s využitím dat ze 4 pasem, které mají 10metrovou přesnost.



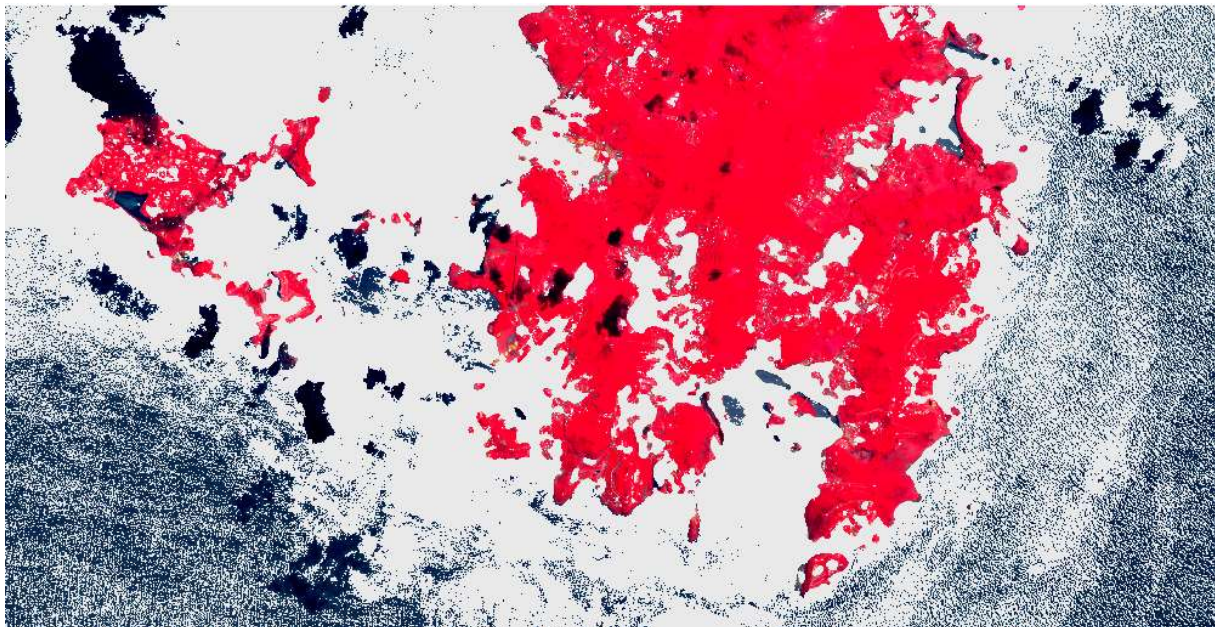
Obr. 35. Geometrické parametry družice Sentinel - 2 v pro atmosférické korekce.

Výsledné masky a všechna pásma jednotlivých scén byly oříznuty do velikosti požadovaného území s využitím funkce Clipping/subsetting.



Obr. 36. Funkce clipping/subsetting v programu Geomatica.

Ukázka výsledku na datech ze dne 24.06.2017. Jak je patrné ze snímku, maska pokrývá jen území pod oblaky, proto bylo potřeba ručně zahrnout pod masku oblasti pod stínem a mořské území.

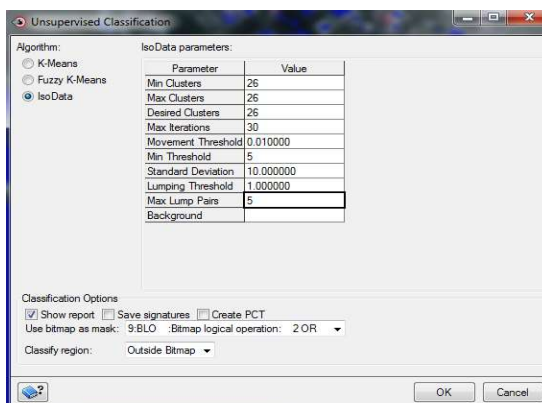


Obr. 37. Maska z programu ATCOR na scéně z 24.06.17 po oříznutí dat.

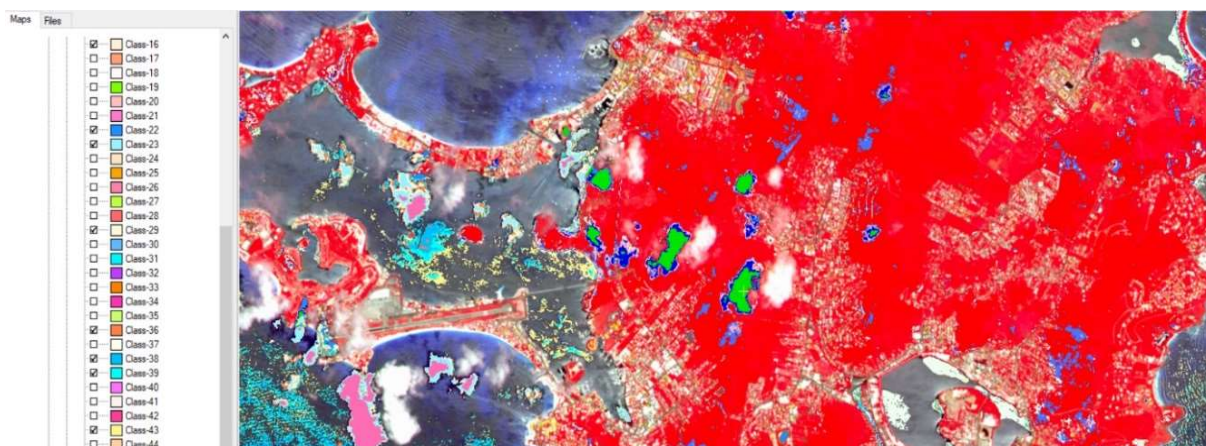
Tvorba masky ze stínu a vody byla provedena na základě neřízené klasifikace, kdy byly postupně se přidávány pod masku jednotlivé klasifikované shluky s využitím metod THS (Thresholding image to bitmap). Jelikož postup metody je identický s popisem v následující kapitole, bude postup neřízené klasifikace uveden v následující kapitole.

3.4 Neřízená klasifikace

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, neřízená klasifikace byla provedena několikrát, ze začátku pro učení chybně klasifikovaných pixelů (stíny, šумы, voda, nezakryté oblačné oblasti metodou ATCOR). Klasifikace byla prováděna iteračně dokud se většina území nestala součástí masky. Během této klasifikace se většina měst, primárně budov, ocitla pod maskou, protože měla blízké hodnoty odrazivosti jako oblaka, případně voda. Tento problém bude vyřešen v rámci řízené klasifikace, respektive hybridní, víc v následující kapitola. Aby výsledná maska byla co nejpřesnější, vstupními hodnotami byly zvoleny pouze: viditelné pásmo a blízké infračervené pásmo (band 4) s rozlišením 10 metrů. Pro neřízenou klasifikace byla využita metoda IsoData, víc kapitola 2.5 nebo [6]. V průběhu iterací této metody, počet jednotlivých shluků byl volen tak, aby počet iterací byl menší, a zároveň aby masku tvořil minimální počet pixelů hodnot.



Obr. 38. Funkce neřízené klasifikace v softwaru Geomatica.



Obr. 39. Ukázka voleb jednotlivých shluků stínu, oblaků a vody.

Hodnoty shluků byly postupně spojovány do masky s využitím metody THR (Threshold). Po začlenění všech pixelů s oblaky do masky, bylo možné začít s provedením neřízené klasifikace pro zbytek území.

Data družice Sentinel – 2A obsahují různou prostorovou rozlišovací schopnost, proto nebylo zcela jasné, jestli je lepší provést klasifikaci se všemi, nebo jen s vybranými pásmy. Automaticky z dalšího zpracování byla vyloučena pásma s rozlišovací schopností 60 metrů, aby neovlivňovala výslednou přesnost dat. Těmito pásmy jsou:

- Coastal Aerosol (0,433 – 0,453) μm
- Water Vapour (0,935 – 0,955) μm
- SWIR Cirrus (1,365 – 1,395) μm

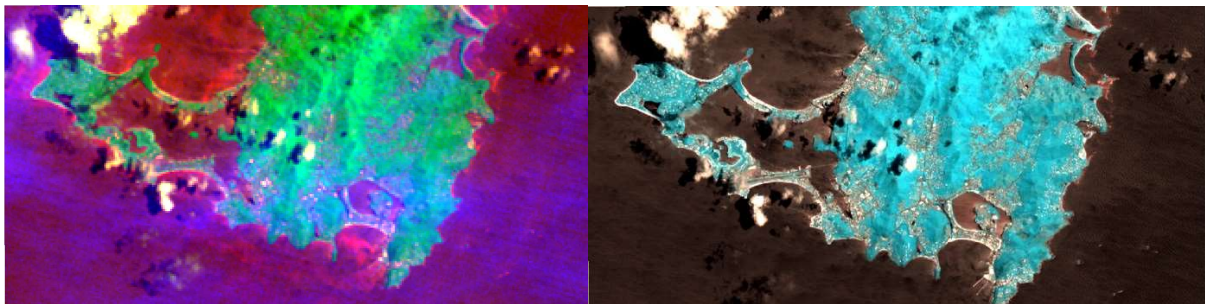
Bylo rozhodnuto provést klasifikaci pro dvě skupiny dat a po provedení řízené klasifikace vybrat tu, která poskytuje lepší výsledky. Výsledky mezi jednotlivými skupinami dat (více dále) jsou porovnány v kapitole 3.4. První skupina pásem zahrnuje pouze 4 pásma s 10metrovým rozlišením:

Posouzení změn na vybraném ostrově v Karibském moři po hurikánu v roce 2017 z dat DPZ

- Blue (0,457 – 0,523) μm
- Green (0,542 – 0,578) μm
- Red (0,650 – 0,680) μm
- NIR (0,784 – 0,900) μm

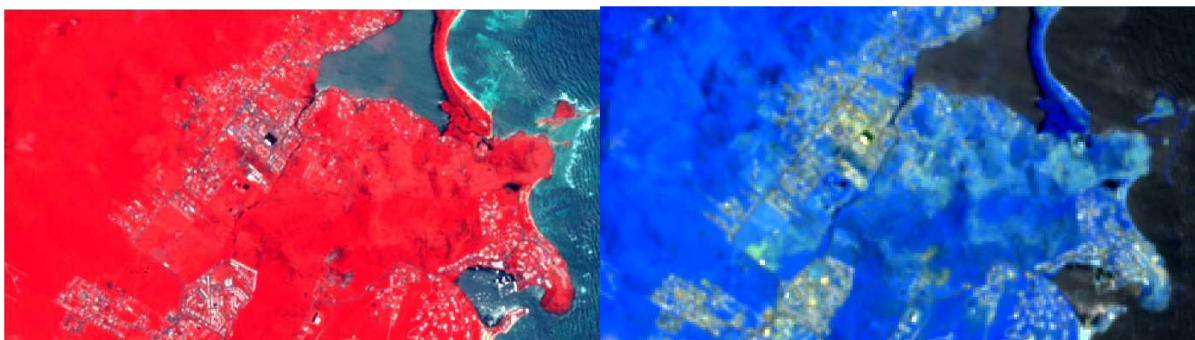
Druhá skupina dat je tvořena pásmy s rozlišením 10 metrů společně s pásmy s rozlišením 20 metrů:

- Vegetation Red Edge 1 (0,697 – 0,713) μm
- Vegetation Red Edge 2 (0,732 – 0,748) μm
- Vegetation Red Edge 3 (0,773 – 0,793) μm
- NIR (0,855 – 0,875) μm
- SWIR – 1 (1,565 – 1,655) μm
- SWIR – 1 (1,565 – 1,655) μm

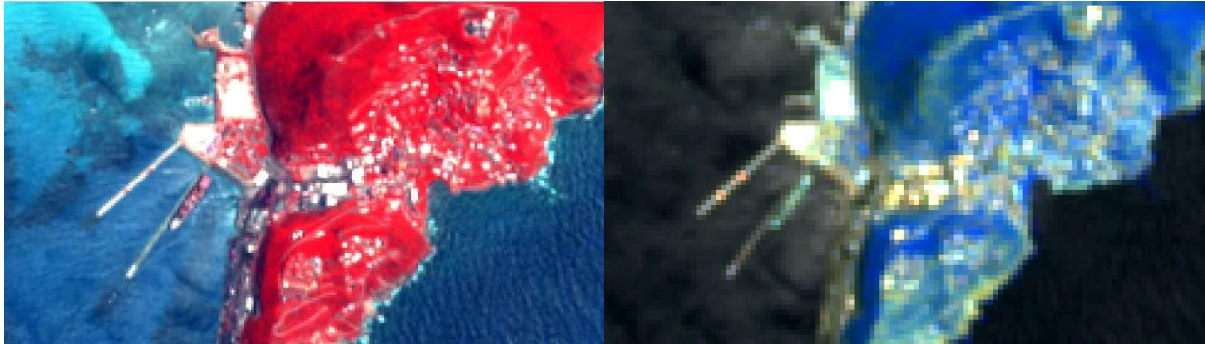


Obr. 40,41. Porovnání dat s rozlišením 60 m (vlevo) a rozlišením 20 m (vpravo).

Rozlišení s přesností 10 metrů nemá výrazné rozdělení vegetace (i přes to, že na výsledné klasifikaci se to projevuje). Data s přesností 20 metrů poskytují lepší rozdíly ve vegetaci, ale spektrální chování měst a silnic je prakticky minimální a je složité odlišit jedna od druhé. Kvalita dat 60metrů zcela vyčnívá z úvah o využití těchto dat v rámci zpracování diplomové práce.

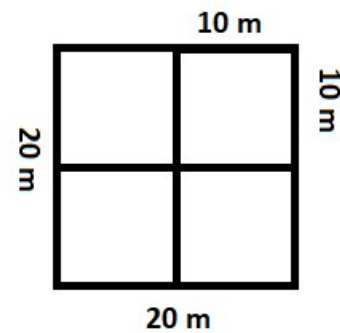


Obrázek 42,43. Porovnání dat s rozlišením 10 m (vlevo) a rozlišením 20 m (vpravo).



Obrázek 44,45. Porovnání dat s rozlišením 10 m (vlevo) a rozlišením 20 m (vpravo).

Rozlišovací schopnost pixelů je dán jejich geometrický rozměr. 20metrový pixel se skládají ze 4 10metrových pixelů. Pro provedení neřízené klasifikace je třeba provést převzorkování 20metrových dat do 10metrových. Tuto operaci umožňuje funkce **resampling**. Pro přiřazení digitálních hodnot byla zvolena metoda *nearest neighbor*. Rozměr rastru 10metrových dat je 1900x980 pixelů, 20metrových dat 950x480 pixelů. Po provedení převzorkování rozměr rastru s rozlišením 20 m bude roven 1900x980 pixelů. Na následující stránce je uvedeno porovnání hodnot stejného pixelu před a po vzorkování.



Numeric Values

Raw data

...lipping.pix: [1]Sentinel-2 Vegetation Red Edge 1 (0.697 - 0.713) u

	346	347	348	349	350	351	352
150	1541	2130	2247	2332	2044	2130	2031
151	1382	1564	1970	1827	1751	1769	1747
152	2133	1777	1592	1499	1716	1609	1685
153	2323	2217	1947	1681	1526	1499	1521
154	2400	2170	2280	2194	1710	1456	1393
155	2639	2180	2076	2063	1755	1515	1478
156	2310	2159	1824	1722	1459	1219	2197

...lipping.pix: [2]Sentinel-2 Vegetation Red Edge 2 (0.732 - 0.748) u

	346	347	348	349	350	351	352
150	1649	2282	2493	2519	2374	2550	2636
151	1529	1743	2268	2128	2112	2268	2246
152	2322	1836	1576	1562	1842	2071	2300
153	2557	2514	2033	1778	1633	1763	1960
154	3173	2645	2448	2432	1910	1521	1404
155	3273	2582	2334	2562	2369	2240	1983
156	2914	2526	2125	2104	2393	2863	3238

...lipping.pix: [3]Sentinel-2 Vegetation Red Edge 3 (0.773 - 0.793) u

	346	347	348	349	350	351	352
150	1897	2684	3015	2998	2693	2896	3053
151	1576	1765	2238	2186	2232	2478	2477
152	2465	2098	1746	1752	2102	2495	2622
153	2901	2709	2172	1905	1701	1884	2214
154	3552	2903	2663	2729	2168	1719	1493
155	3527	2953	2560	2897	2606	2568	2340
156	3662	3039	2351	2374	2887	3613	3725

Numeric Values

Raw data

pokus.pix: [1]Sentinel-2 Vegetation Red Edge 1 (0.697 - 0.713) u

	694	695	696	697	698	699	700
302	1564	1970	1970	1827	1827	1751	1751
303	1777	1592	1592	1499	1499	1716	1716
304	1777	1592	1592	1499	1499	1716	1716
305	2217	1947	1947	1681	1681	1526	1526
306	2217	1947	1947	1681	1681	1526	1526
307	2170	2280	2280	2194	2194	1710	1710
308	2170	2280	2280	2194	2194	1710	1710

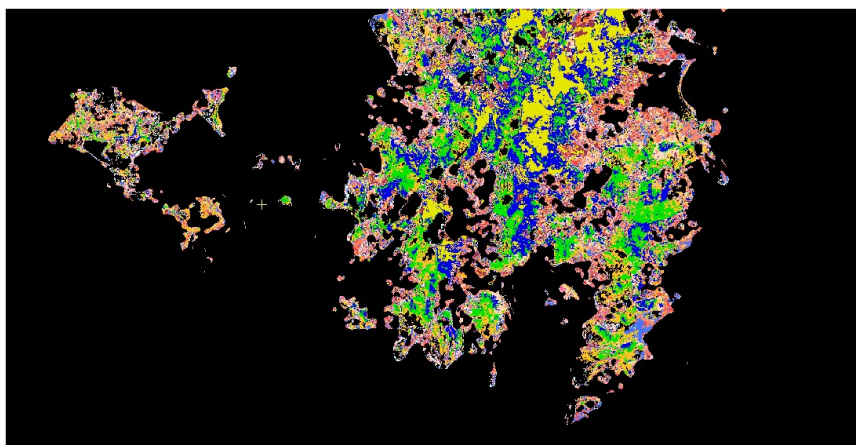
pokus.pix: [2]Sentinel-2 Vegetation Red Edge 2 (0.732 - 0.748) u

	694	695	696	697	698	699	700
302	1743	2268	2268	2128	2128	2112	2112
303	1836	1576	1576	1562	1562	1842	1842
304	1836	1576	1576	1562	1562	1842	1842
305	2514	2033	2033	1778	1778	1633	1633
306	2514	2033	2033	1778	1778	1633	1633
307	2645	2448	2448	2432	2432	1910	1910
308	2645	2448	2448	2432	2432	1910	1910

pokus.pix: [3]Sentinel-2 Vegetation Red Edge 3 (0.773 - 0.793) u

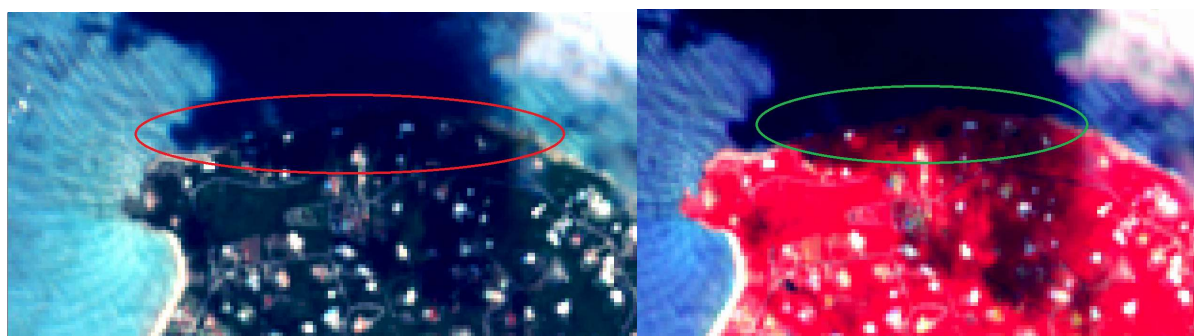
	694	695	696	697	698	699	700
302	1765	2238	2238	2186	2186	2232	2232
303	2098	1746	1746	1752	1752	2102	2102
304	2098	1746	1746	1752	1752	2102	2102
305	2709	2172	2172	1905	1905	1701	1701
306	2709	2172	2172	1905	1905	1701	1701
307	2903	2663	2663	2729	2729	2168	2168
308	2903	2663	2663	2729	2729	2168	2168

Obr. 46,47. Vlevo 20metrová data před vzorkováním, vpravo po vzorkování na 10metrová data.



Obr. 48. Neřízená klasifikace dat s 10metrovou rozlišovací schopností za 24.06.17.

Zatřídění shluků po klasifikaci bylo provedeno v prostředí QGIS, kde byl naimplementován modul OpenLayers plugin [20], a který umožňuje připojení na Google maps [14] a Open Street Map[15], a tím umožňuje vzájemné porovnání pořízených družicových dat s jinými mapovými zdroji. Během třídění shluků byla využita pásma NIR kromě viditelného spektra, NIR je totiž spektrálně bohatší pásmo než viditelná pásma.



Obr. 49,50. Srovnávání rozlišovacích schopností barev viditelného spektra a NIR.

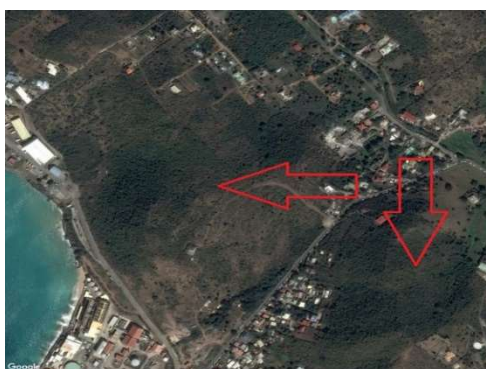
Klasifikace byla provedena na základě předem definovaných tříd. V případech, kdy nebylo možné na základě družicových dat posoudit identitu daného shluku, byly využita data Google maps nebo OSM. Zároveň bylo možné porovnat další volně dostupné zdroje mezi sebou. V níže uvedené tabulce je zobrazena klasifikace shluků do tříd. Některé třídy nebyly naplněny. Jelikož neřízená klasifikace je základem trénovacích ploch pro řízenou klasifikaci, nejsou prázdné třídy brány jako omezení pro zpracování. Vizuálně je možné jednotlivé třídy prozkoumat v souboru dat, která jsou součástí odevzdané diplomové práci.

	4 pásma 24.06	10 pásem 24.06	4 pásma 29.07	10 pásem 29.07	4 pásma 12.09	10 pásem 12.09	4 pásma 14.02	10 pásem 14.02
les	1,2,3	1,2,4	1,2	1,2,3,4	1,2	1,2,3,4,5,6,8	1,2,3,4,5,6	1,2
lesostep	4,5	3,5,6	3	5,8	3,4	7,9,10,12	7,8,9	3,4,5
pole s větším procentem vegetace	6,7,8	7,9,10	4	7	5,6,7,8,14,15	11,13,14	10,11,12	6,7,8,10,12,15
pole s menším procentem vegetace	9,10,11	11,12,13,14	5,6,7	6,9,10,11	9,10,11	15	13,14	9,11,13,14
asfalt+kameny	12,13		8,10,11,12	12,13	12,13			
budovy	14,15	8,15	13,14,15	14,15			15	

Během klasifikace docházelo k několika komplikacím v datech. Například níže je uvedena část území, která je pokryta buď lesem nebo lesostepí. V OSM je daná plocha vyznačena jako pole.



Obrázek 51,52,53. Vlevo OSM vpravo data ze Sentinel – 2.



Google maps. [14]

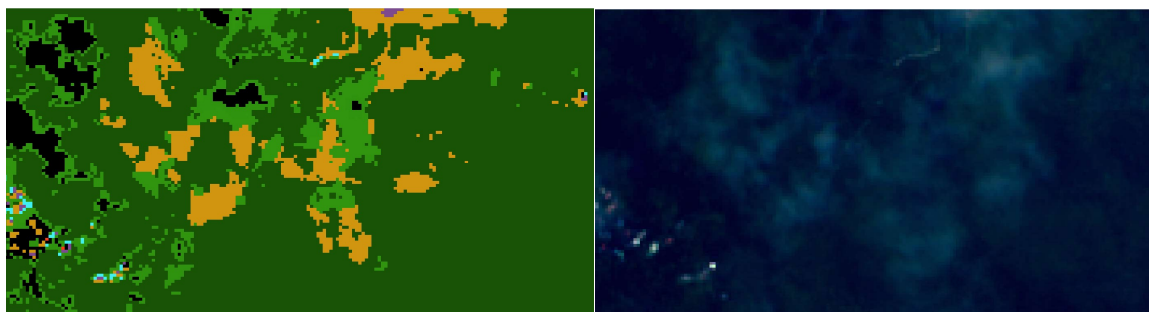
Chyby v klasifikaci vzniklé vlivem šumů:

Na níže uvedeném obrázku je vidět zaznamenaný mrak a stín (vpravo). Výsledek klasifikace (vlevo) zahrnul část stínu do třídy lesostep (světlo zelená barva kolem masky vlevo). Mrak nebyl klasifikován pod masku, místo toho byl klasifikován do tříd asphalt (hněda barva na levém obrázku vpravo).



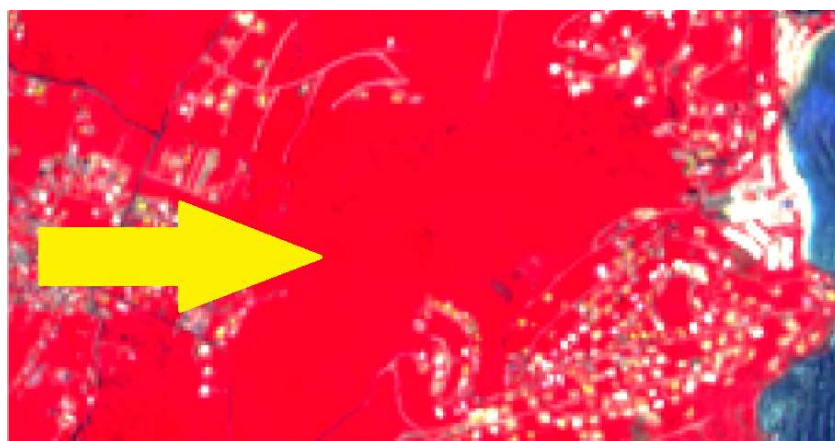
Obr. 54,55. Chyby ve výsledcích klasifikace.

Na níže uvedeném obrázku je vidět zaznamenané mraky (vpravo). Výsledek klasifikace (vlevo) nezahrnul dané mraky pod masku, namísto toho byly klasifikované a zahrnuty do třídy pole s vegetací (žlutá barva) nebo třídy lesostep (světlo zelená). Odhadovaný výsledek je třída les (zelená barva).

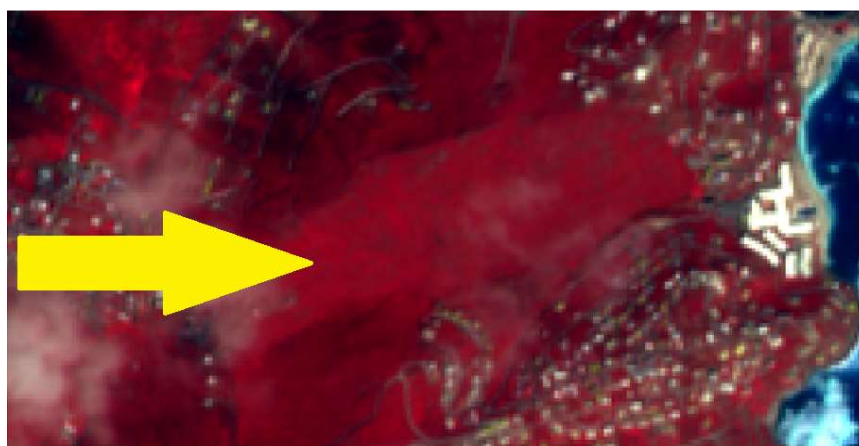


Obr. 56,57. Chyby ve výsledcích klasifikace.

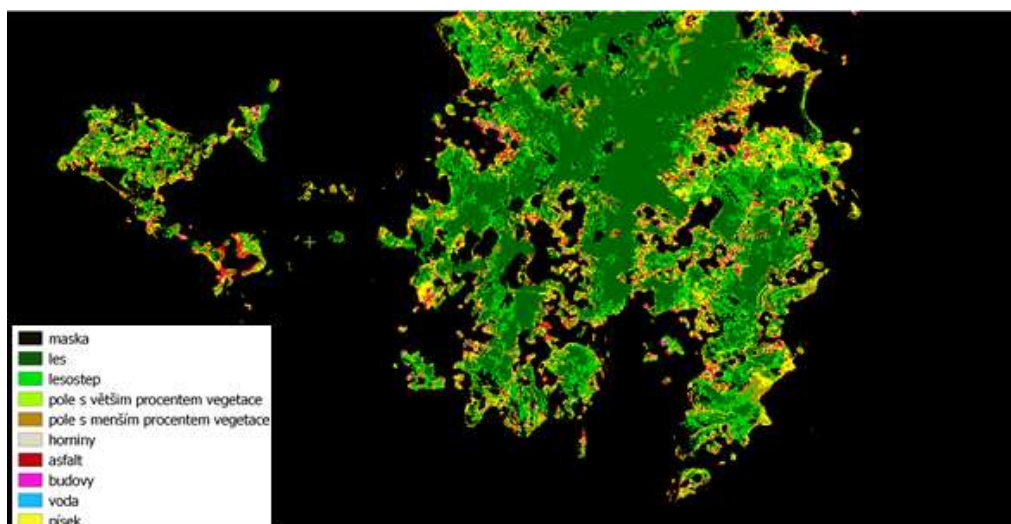
Na níže uvedených snímcích jsou porovnány změny ve vegetaci před hurikánem a po. Změny pravděpodobně byly zapříčeny lidskou činností, jelikož tvar změny je rovnoběžný.



Obr. 58. 24.06.2017.



Obr. 59. 14.02.2018.



Obr.60. Výsledek neřízené klasifikace dat s s rozlišovací schopností 10 m, za 24.06.17.

3.4 Řízená klasifikace

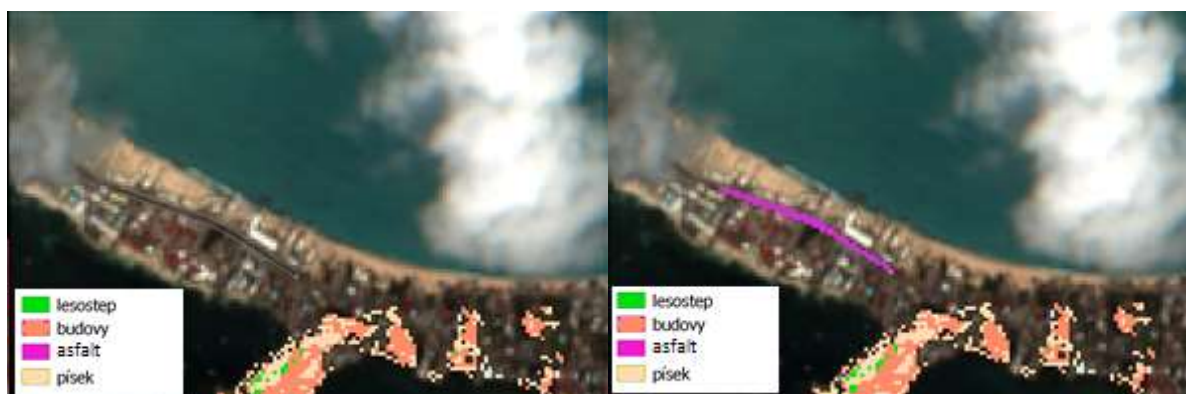
Zpracování dat pomocí řízené klasifikace je dalším krokem v rámci zpracování dat metodou hybridní klasifikace. Vstup dat tvoří trénovací plocha, která je tvořená výsledkem třídění dat do jednotlivých tříd neřízenou klasifikací. Jelikož v rámci atmosférické korekce se značný počet dat se ocitl pod atmosférickou maskou, nebylo možné vzorky některých tříd klasifikovat v rámci neřízené klasifikace. Celkem byly vytvořeny další 2 třídy – písek a voda. Třída horniny a asfalt byly rozděleny na 2 zvláštní třídy pro 10metrová data a ponechána v původním stavu (nebylo možné oddělit na zvláštní třídy asfalt, horniny a budovy) pro hybrid 10metrových a 20metrových dat. Řízená klasifikace byla provedena bez masek, ale s možností hodnot NULL. Vzorky dat nově vytvořených tříd, byly zpracovatelem vybrány ručně (ukázka na obrázcích na následující straně). Jednotlivé viditelné hrubé chyby v rámci zpracování neřízené klasifikace byly taktéž opraveny.

ID	Value	Name	Color	Threshold	Bias	Imported Sig	Description
1	1	Class-forest	Dark Green	3.00	1.00		forest
2	2	Class-for-steppe	Light Green	3.00	1.00		forest steppe
3	3	Class-field-veg	Yellow-Green	3.00	1.00		field with biggest percent of vegetation
4	4	Class-field-clear	Yellow	3.00	1.00		field with lowest percent of vegetation
5	5	Class-stones	Grey	3.00	1.00		stones
6	6	Class-asphalt	Red	3.00	1.00		asphalt
7	7	Class-urban	Magenta	3.00	1.00		urban
8	8	Class-water	Blue	3.00	1.00		water
9	9	Class-sand	Yellow	3.00	1.00		sand

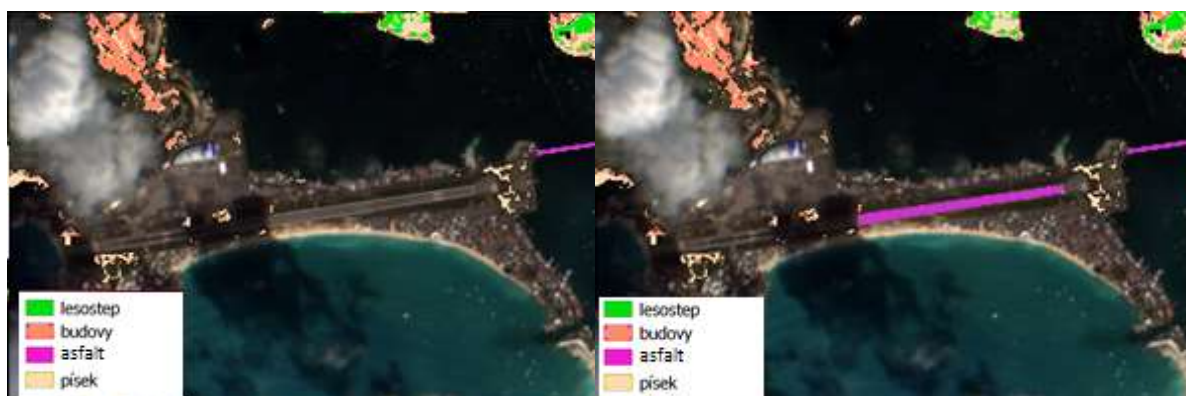
Obr. 61. Třídy neřízené klasifikace.



Obr. 62,63. Výběr trénovací plochy pro třídu asfalt (dokreslení mostu pod maskou).



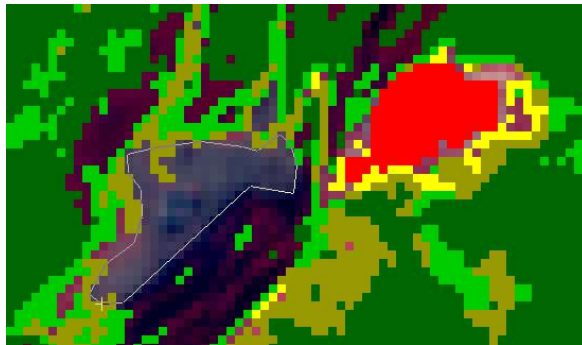
Obr. 64,65. Výběr trénovací plochy pro třídu asfalt (dokreslení ulice pod maskou).



Obr.66,67. Výběr trénovací plochy pro třídu asfalt (dokreslení přistávací letové dráhy).

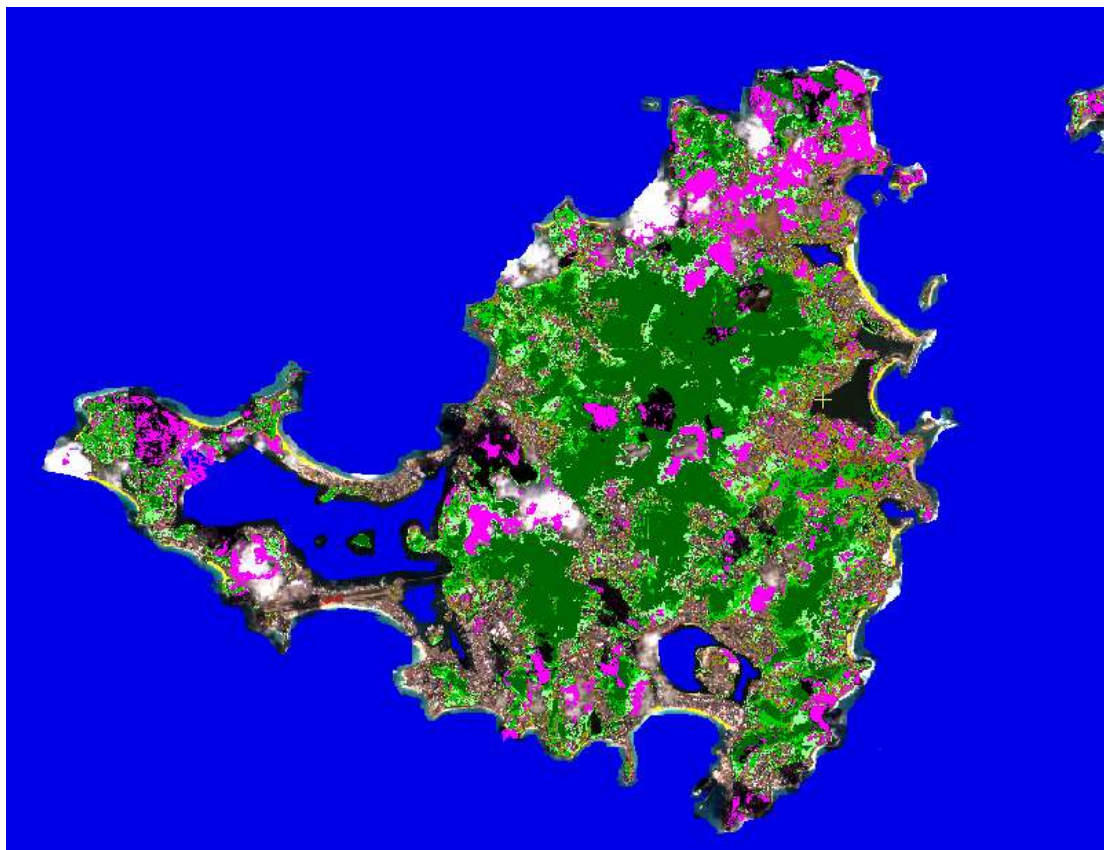
V následující ukázkách kapitoly budou použité data s níže uvedenou legendou.

- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek



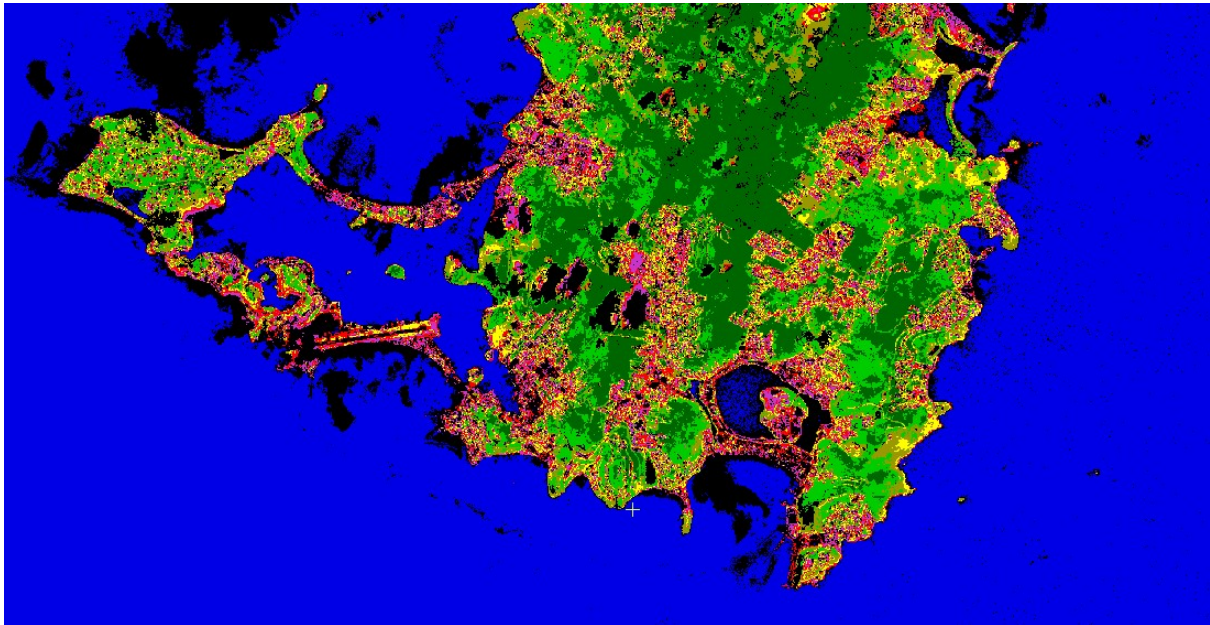
Obr. 68. Výběr vzorku pro třídu horniny. (str. 53 legenda)

Pak následovalo provedení řízené klasifikace metodou *Maximum Likelihood* s hodnotou NULL, víc kapitola 2.5. Zpracování po hurikánu pro scénu ze dne 12.09.2017 bylo provedeno spolu s novou maskou, která vznikla sjednocením masky atmosférické korekce a masky vytvořené z nezamaskovaných hodnot scény ze dne 14.02.2018. Scéna ze dne 14.02.2018 naopak obsahovala pouze masku vytvořenou z nezamaskovaných hodnot scény ze dne 12.09.2017. Důvodem bylo to, aby se výsledky řízené klasifikace nepřekrývaly navzájem. Výpočet řízené klasifikace u scén před hurikánem Irma byl proveden bez využití atmosférických masek.

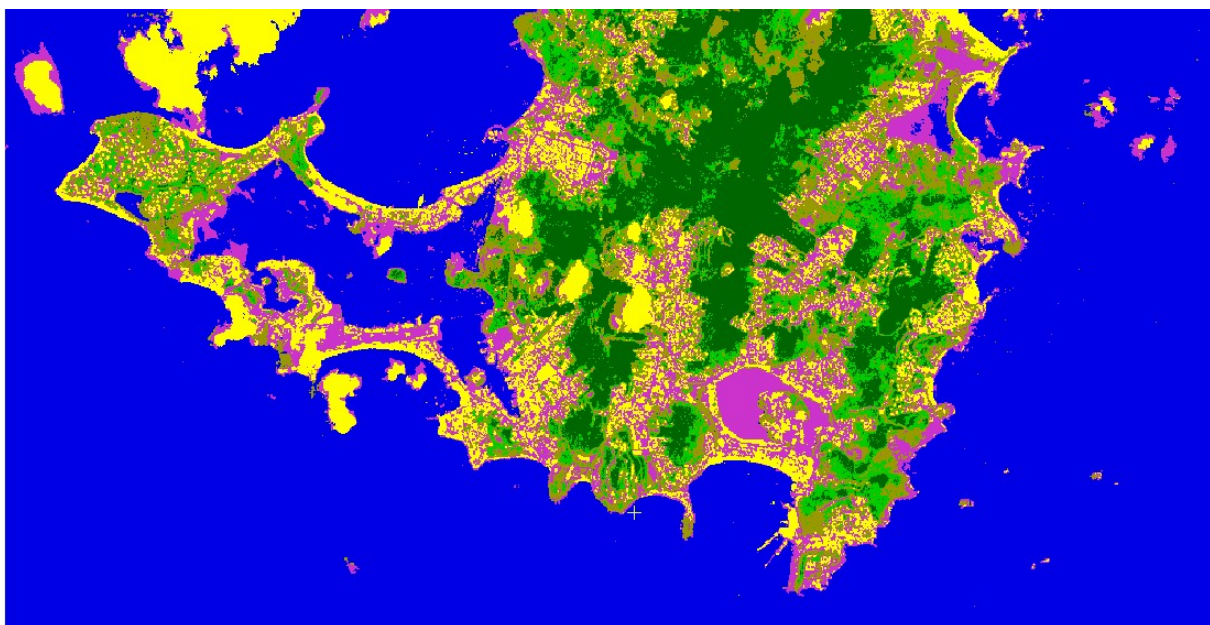


Obr. 69. Vstupní hodnoty před maximum likelihood 14.02.2018, růžová barva maska tvořena z výsledku neřízené klasifikace 12.09.2017. (str. 53 legenda)

Bohužel kvalita hybridních dat s přesností 10+20 je horší než kvalita čistě 10metrových dat. 10+20 vytváří více obecný obraz vhodný pro mapování dat ve středním měřítku, ale pro precizní posouzení změn po hurikánu nejsou vhodná. Proto v rámci dalšího zpracování byly využité jen 10metrová data. Níže výsledky řízené klasifikace na datech ze dne 24.06.2018.



Obrázek 70. Výsledek likelihood 24.06.2017 data s rozlišením 10 m. (str. 53 legenda)

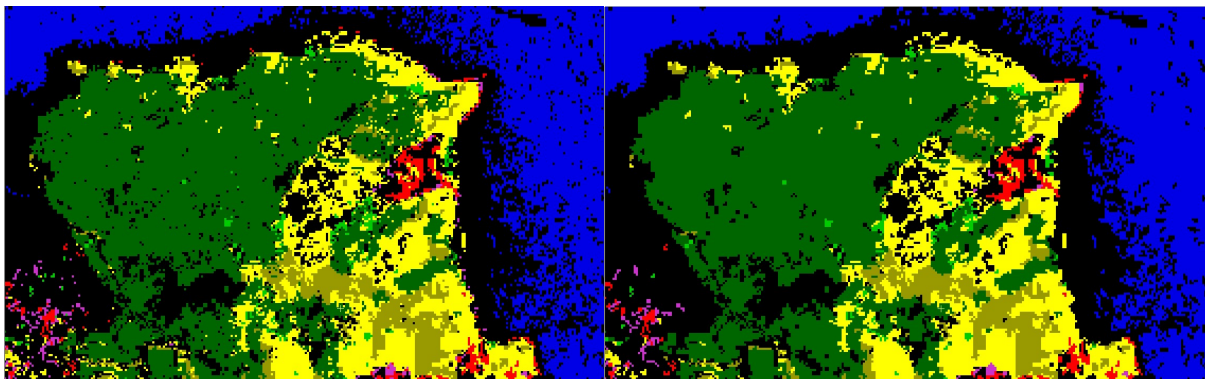


Obrázek 71. Výsledek likelihood 24.06.2017 data s rozlišením 10m+20m. (str. 53 legenda)

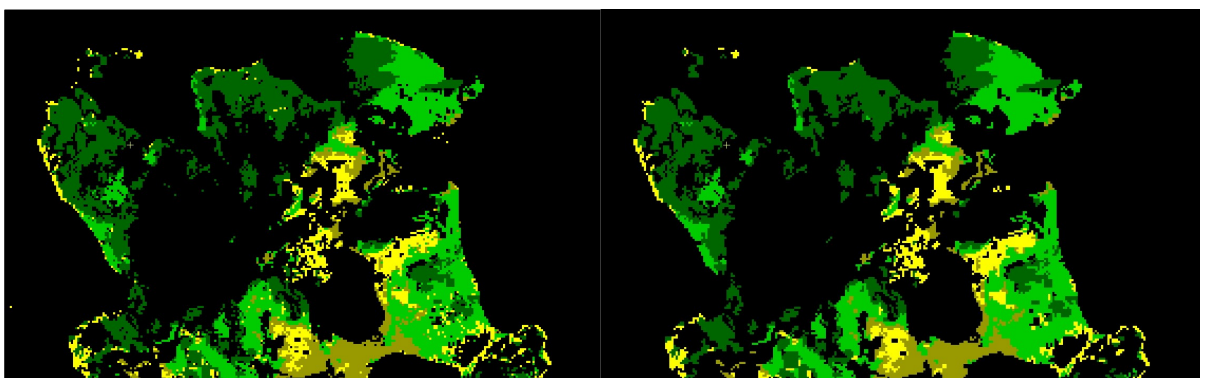
3.5 Postklasifikace

Majoritním filtrem byla provedená filtrace výsledků řízené klasifikace. V rámci softwaru Geomatica byla použita funkce *Sieve*. Majoritní filtr umožnil vyhlazení některých neklasifikovaných pixelů hodnot a obecně zlepšil tvar výsledků klasifikace. V následující ukázkách budou použité data s níže uvedenou legendou.

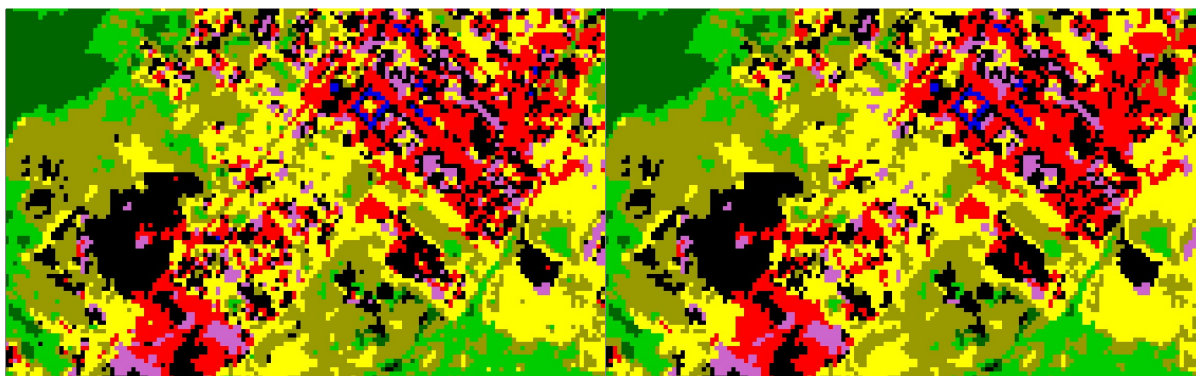
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek



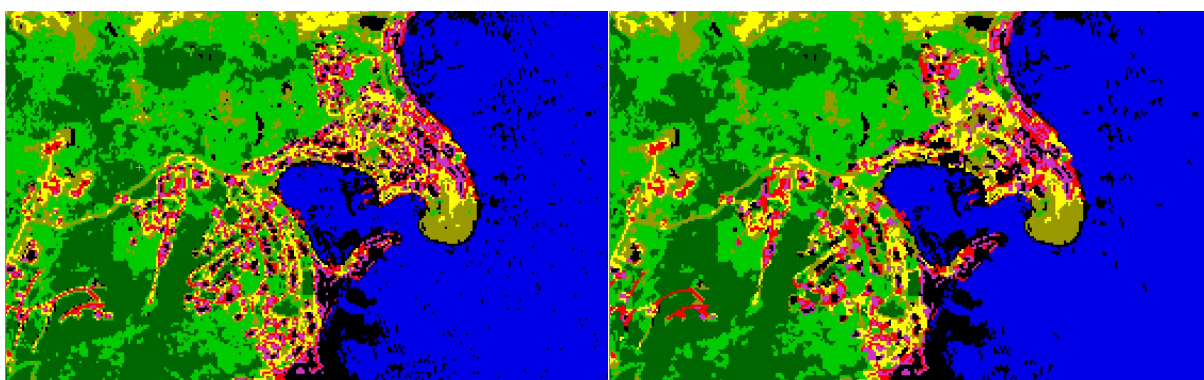
Obr. 72, 73. Vlevo před filtraci, vpravo po filtraci, data ze dne 29.07.2017. Legenda str.53



Obr. 74, 75. Vlevo před filtraci, vpravo po filtraci, data ze dne 12.09.2017. Legenda str.53



Obr. 76, 77. Vlevo před filtrací, vpravo po filtrací, data ze dne 14.02.2018. Legenda str.53

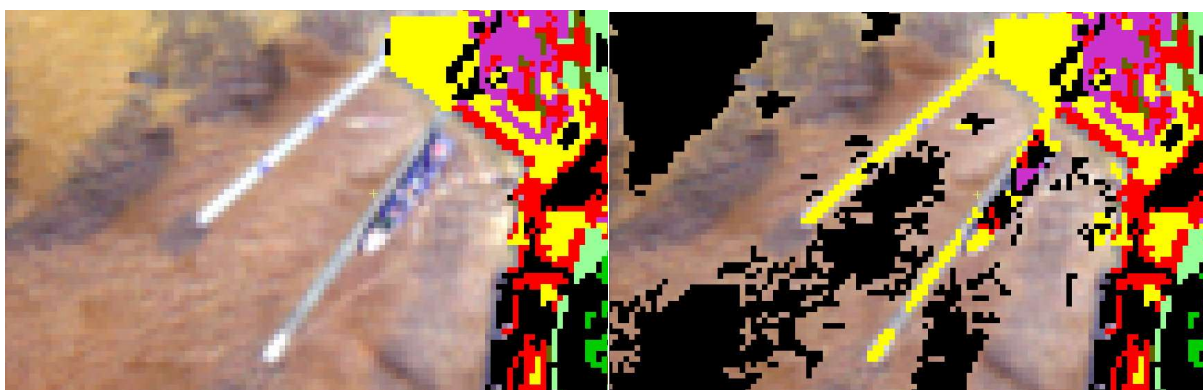


Obr. 78, 79. Vlevo před filtrací, vpravo po filtrací, data ze dne 24.06.2017. Legenda str.53

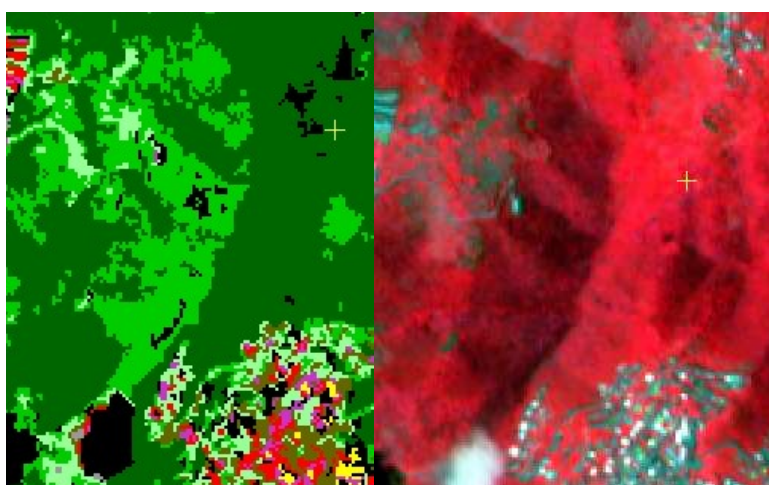
Ani po provedení filtrace, data **nebyla dostačující** pro provedení mapové algebry. Výsledky filtrace bylo zapotřebí ještě zkontrolovat. **Neklasifikované pixely byly ručně zařazeny do vhodných tříd**, kde jednotlivou třídu bylo možné vizuálně určit z měřených hodnot scény. V případě viditelných hrubých chyb, byla taktéž provedena **ruční oprava viditelných chyb** (ku příkladu pod třídou písek se ocitla viditelná budova z důvodu, že má vysokou odrazovou schopnost, pixely zahrnující tuto plochu byly ručně zatříděny do třídy budovy). Dále jsou uvedeny ukázky vzniklých chyb v rámci klasifikace.



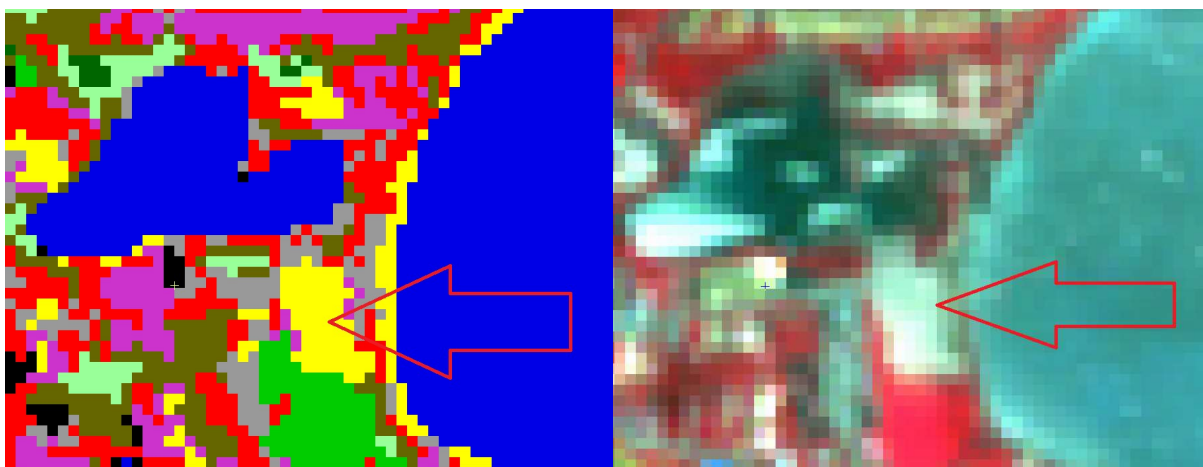
Obr. 80, 81. Chybné zařazení dat do tříd budovy, asphalt ve skutečnosti se jedná o mraky. Legenda str.53



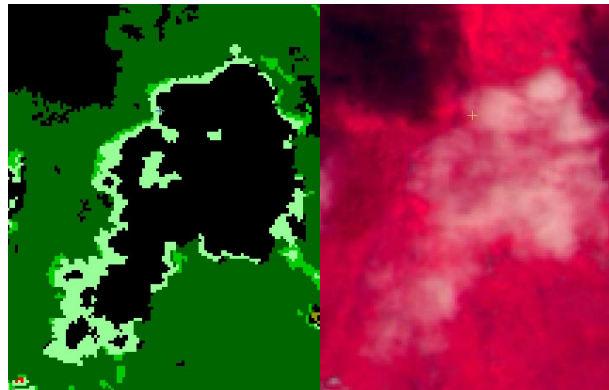
Obr. 82, 83. Chybné zařazení lodí do tříd písek, budovy, asfalt ve skutečnosti se jedná o vodní plochu. Legenda str.53



Obr. 84, 85. Vlevo klasifikace, vpravo RGB družicových dat. Chyba vznikla vlivem stínů hor. Legenda str.53



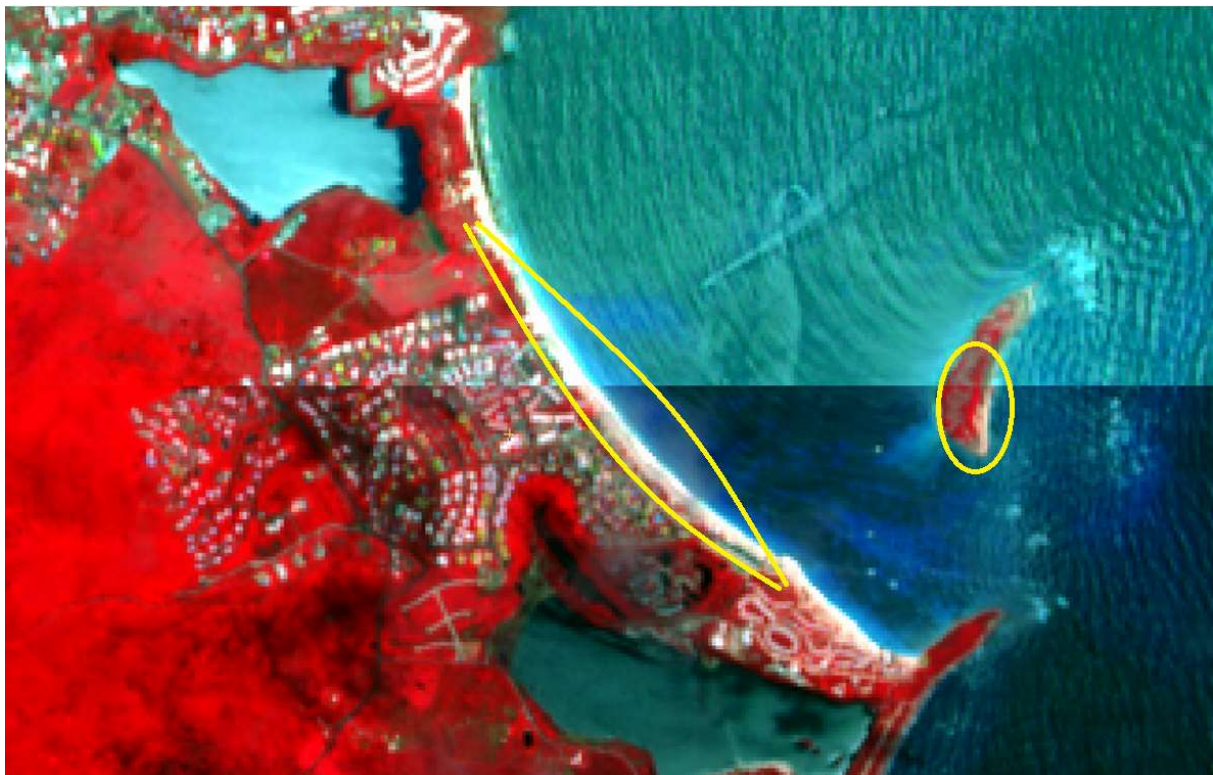
Obr. 86, 87. Vlevo je výsledek klasifikace, vpravo RGB družicových dat. Chybně zatřídění jezera do třídy písek. Legenda str.53



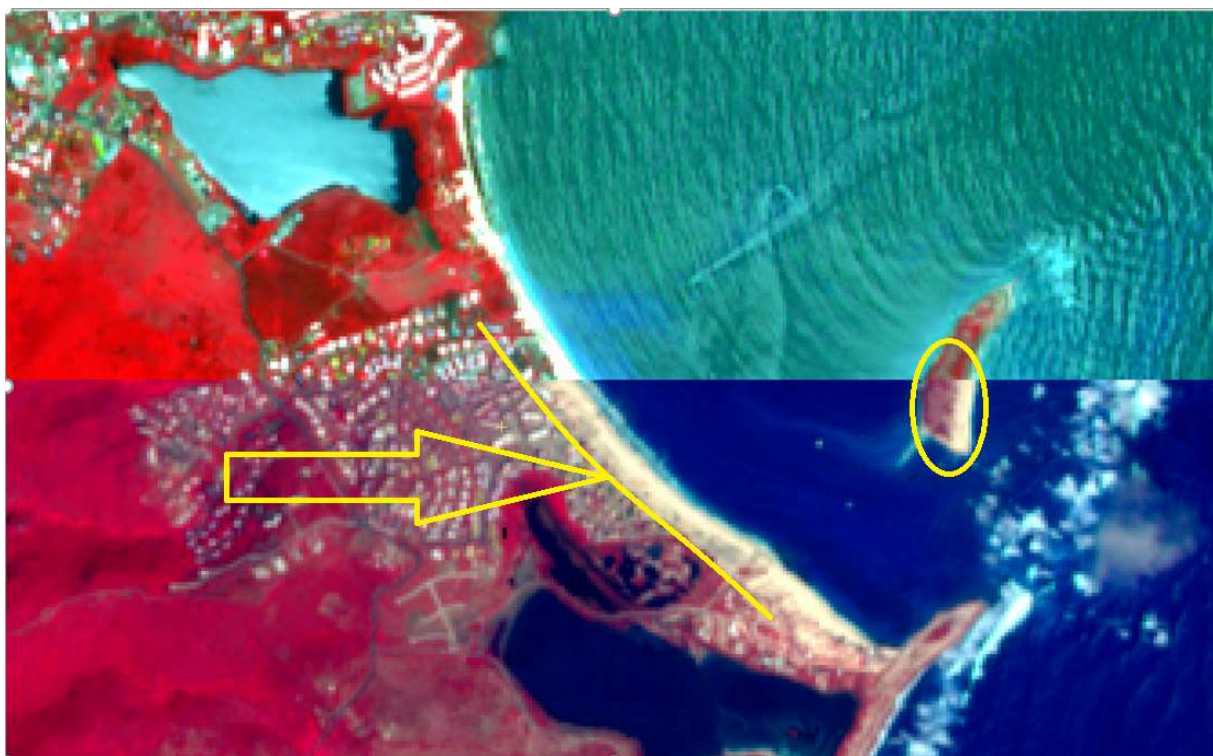
Obr. 88, 89. Vlevo je výsledek klasifikace, vpravo RGB družicových dat. Chybné zařazení dat do třídy lesostep v okolí oblaků.
Legenda str.53

Během zpracovávání byly zaznamenány vizuální změny v datech před a po hurikánu v důsledku změn způsobených hurikánem Irma. Primárně se jedná o posun břehové (písečné) linie do vnitřka ostrova.

Dále je uvedeno srovnání návazností pobřežní linie oříznutých dat před hurikánem data z obou dnů a rozdílem mezi před hurikánem severní části z měsíce červenec a stavem po hurikánu (jižní scéna). Na spodním obrázku je vidět rozšířenou pláž na poloostrově do vnitrozemí a to samý platí pro malý ostrov, oproti původnímu stavu byla zničena pobřežní vegetace.



Obr. 89, 90. Návaznost dvou scén na společnou pobřežní linii.

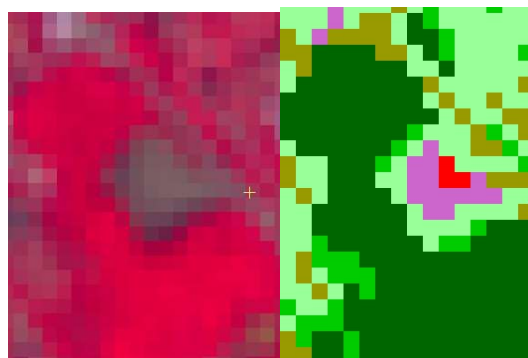


Obr. 91, 92. Rozdíl pobřežní linie mezi daty před hurikánem (severní část) a po hurikánu (jih).

Byly taktéž zaznamenány změny v mezidobí způsobené vlivem lidské činnosti. Níže je zobrazen vznik nově postavené budovy na nově vzniklém pozemku, v létě 2017 toto území bylo pokryto lesem.



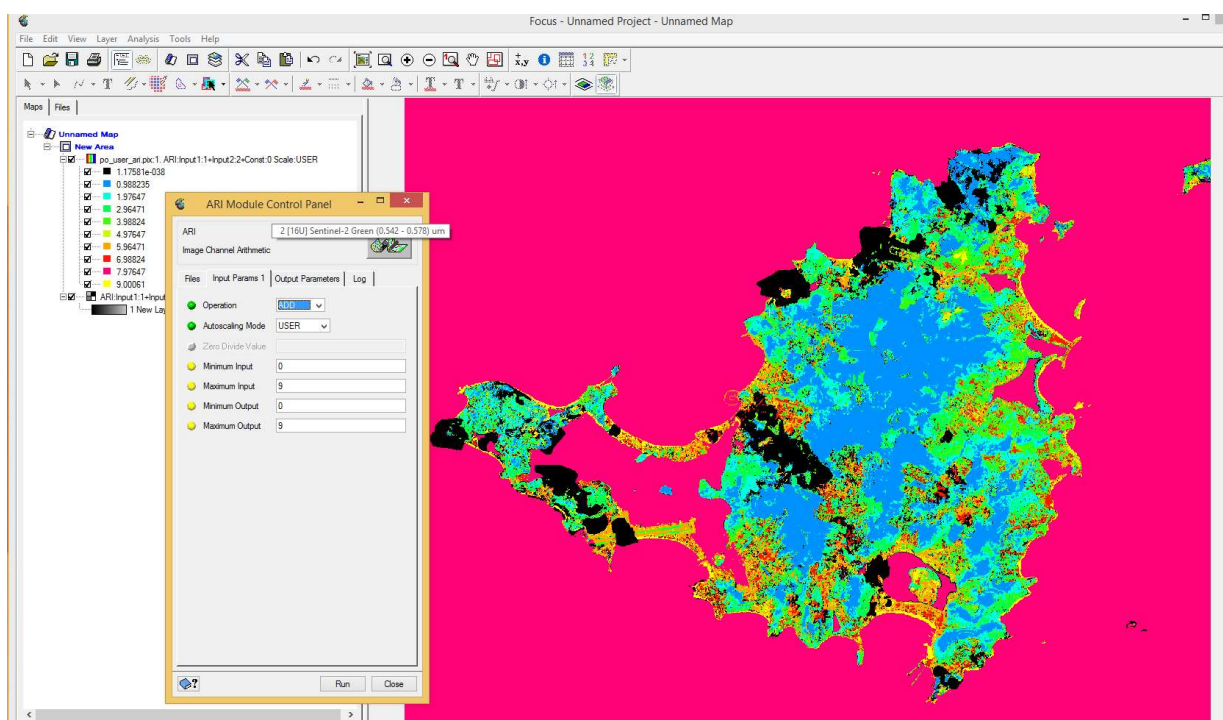
Obr. 93, 94. Zalesněné území před hurikánem. Vlevo je výsledek klasifikace, vpravo RGB družicových dat. Legenda str.53



Obr. 95, 96. Zastavěna plocha. Vlevo je výsledek klasifikace, vpravo RGB družicových dat. Legenda str.53

Menší chyby v klasifikovaných datech nebyly zcela odstraněny, ale byl značně omezen jejich počet. V některých případech došlo k ruční reklasifikaci většího území. Některé neklasifikované pixely (obsahují hodnotu NULL) nebyly ručně klasifikované z důvodu nemožného zatřídění ani na základě vizuálního přezkoumání měřených dat.

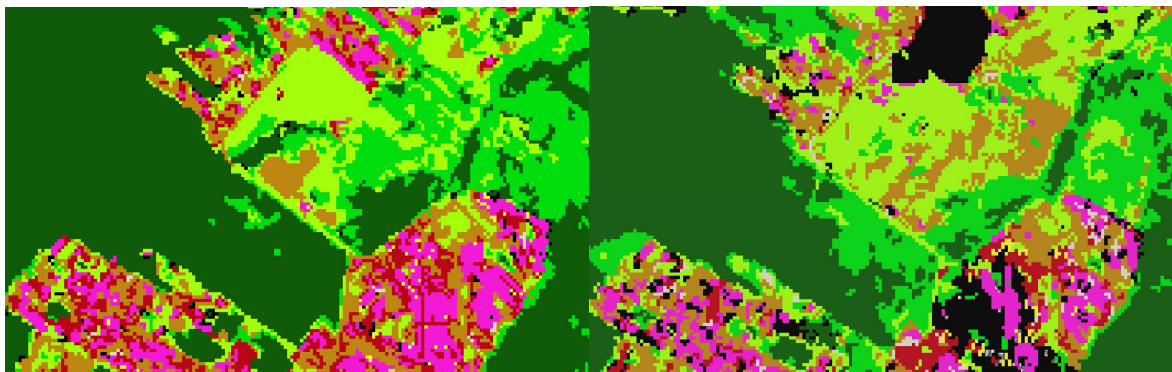
Dalším krokem zpracování bylo převedení výsledku dat do formátu umožňujícího jednoduché vyhodnocení dat v rámci mapové algebry. Sjednocení výsledků dat po hurikánu 12.09.2017 a 14.02.2018 bylo provedeno pomocí funkce *ARI* s uživatelskou volbou nastavení. Níže je uvedena ukázka ze softwaru Geomatica s nastavením funkce *ARI*, výsledků hodnot tříd a jejich vizuální znázornění. Během spojování klasifikace scén mezi sebou, došlo k automatickému vytváření dat ve formátu 32 bitů.



Obr. 97. Spojení scén po hurikánu.

Před začátkem zpracování byla data **před hurikánem oříznutá** tak, aby nedocházelo k překrytí hodnot. Proto bylo nutné oříznutí nově vzniklých společných dat **po hurikánu** stejným způsobem, jak to bylo provedeno u dat před hurikánem s využitím funkce *clipping*, viz kapitola 3.3 *Korekce dat*.

Obecně lze posoudit, že radiometrické hodnoty podstatně více ovlivňuje atmosféra po hurikánem než před ním. Jedné z možných vysvětlení je zvýšená odrazivost oblaků.



Obr. 98, 99. Vlevo data před hurikánem, vpravo po hurikánu.

3.5 Mapová algebra

Výsledná klasifikace vytvořená ze dvou scén je ve 32bitovém formátu používaném pro práci s reálnými čísly, respektive ve formátu 32R. Aby bylo provedeno vyhodnocení dat před hurikánem a po něm, musí být obě skupiny dat ve stejném formátu. Jelikož vyhodnocení s využitím hodnot ve tvaru double (reálná čísla) by bylo velice problematické, bylo zapotřebí přetransformovat 32bitová data do 16bitových. Kroky provedení mapové algebry:

1. Funkce *Raster Calculator* – přetransformování 32R -> 16.
2. Pomocí funkce *Raster Calculator* přečíslování jednotlivých tříd.
3. Provedení operace mapové algebry, byly odečteny data po klasifikaci od nově přečíslovaných tříd před klasifikací.

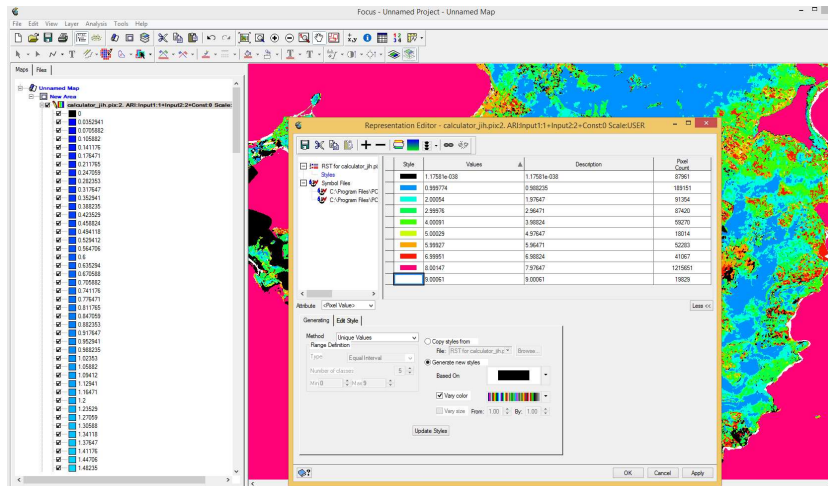
Tento postup bude proveden celkem dvakrát, jednou pro jižní část a pak pro severní část ostrova Svatý Martin. Na následující stránce je uveden vzorec výše popsaných operací.

$$E = (1000 + 100 \cdot A_1) - A_2 \quad (9)$$

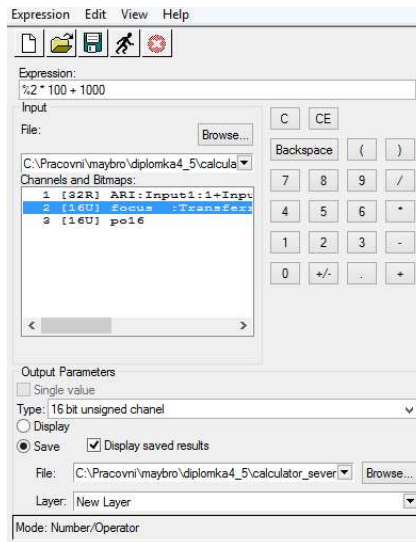
Kde: A_1 je rastrová matice obrazových dat před hurikánem

$(1000 + 100 \cdot A_1)$ je nově přiřazené digitální hodnoty matici obrazových dat před hurikánem

A_2 je rastrová matice po hurikánem



Obr. 100. Výběr tříd s neprázdnou hodnotou dat, vlevo původní počet tříd.



Obr. 101. Přechíslování hodnot rastrové matice obrazových dat před hurikánem.

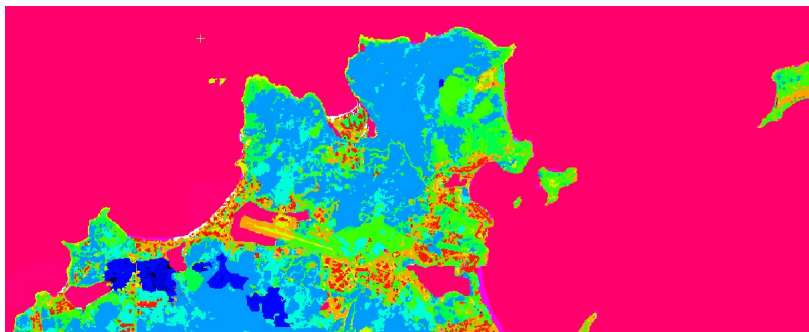
Tab. 1 Překódování digitálních hodnot jedné scény pro výpočet pomocí mapové algebry

	před	maska	les	lesostep	vegetace	pole	horniny	asfalt	budovy	voda	písek
pole		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
maska	1000	1000	999	998	997	996	995	994	993	992	991
les	1100	1100	1099	1098	1097	1096	1095	1094	1093	1092	1091
lesostep	1200	1200	1199	1198	1197	1196	1195	1194	1193	1192	1191
vegetace	1300	1300	1299	1298	1297	1296	1295	1294	1293	1287	1291
pole	1400	1400	1399	1398	1395	1396	1395	1394	1393	1392	1391
horniny	1500	1500	1499	1498	1497	1496	1495	1494	1493	1492	1491
asfalt	1600	1600	1599	1598	1597	1596	1595	1594	1593	1592	1591
budovy	1700	1700	1699	1698	1697	1696	1695	1694	1693	1692	1691
voda	1800	1800	1799	1798	1797	1796	1795	1794	1793	1792	1791
písek	1900	1900	1899	1898	1897	1896	1895	1894	1893	1892	1891

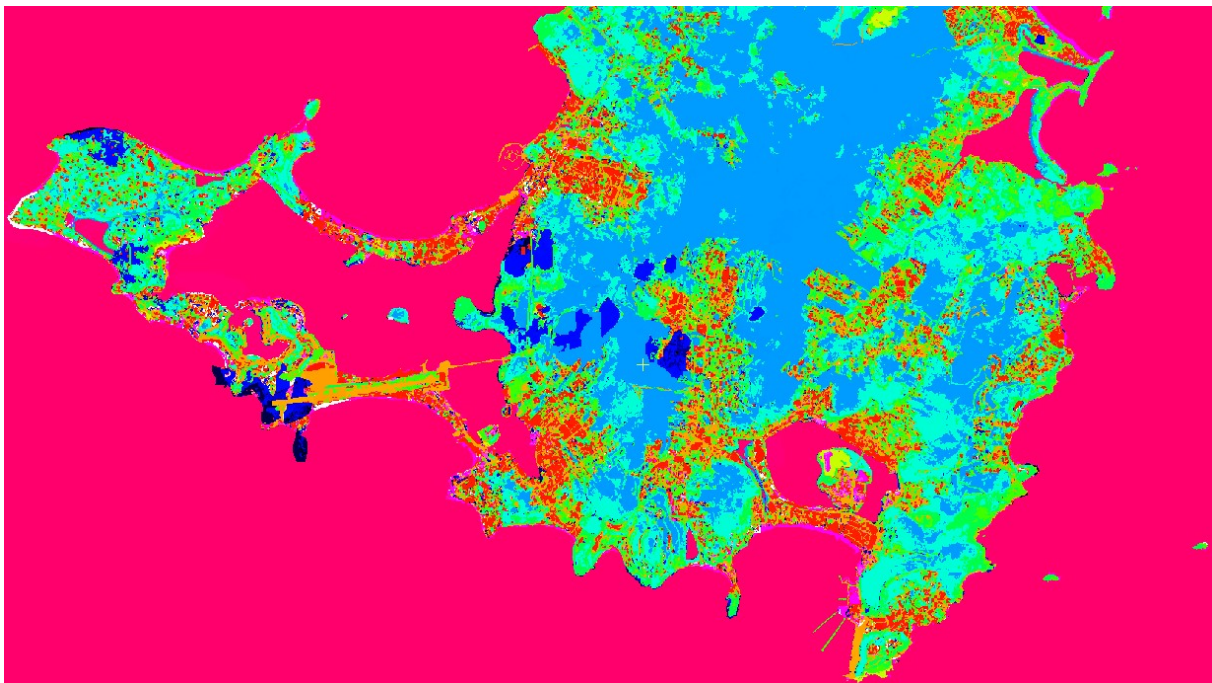
Z nově vzniklého rastru je možné hromadně rozeznat jednotlivé změny ve třídách. Např. pokud hodnota pixelu A_1 v rastru před hurikánem byla **1**, pak pixel patří do třídy les. Pokud hodnota pixelu A_2 v rastru po hurikánu o stejných geometrických souřadnicích je **4**, tak to znamená, že výsledná hodnota rastru E je rovna 1096.

3.6 Výsledky

Výsledkem zpracování mapové algebry jsou dva rastry ostrova Svatý Martin a okolí, víc minulá kapitola. Jeden pokrývá severní část ostrova a okolí, druhý zbytek zájmového území. Níže jsou uvedeny rastry, jejich histogramy a jednotlivé statistiky území, pomocí kterých lze poznat, jak hromadně se proměnil tvar území. Výsledek obsahuje celkem 100 odlišných hodnot, z tohoto důvodu není možné vytvořit legendu k obrázkům, jelikož jednotlivé hodnoty nebudou přehledné (100 barev). Níže uvedené obrázky slouží jen jako vizuální ukázka. Aby bylo možné výsledky posoudit, bylo vytvořeno celkem 9 map změn jednotlivých tříd. Víc str.67.



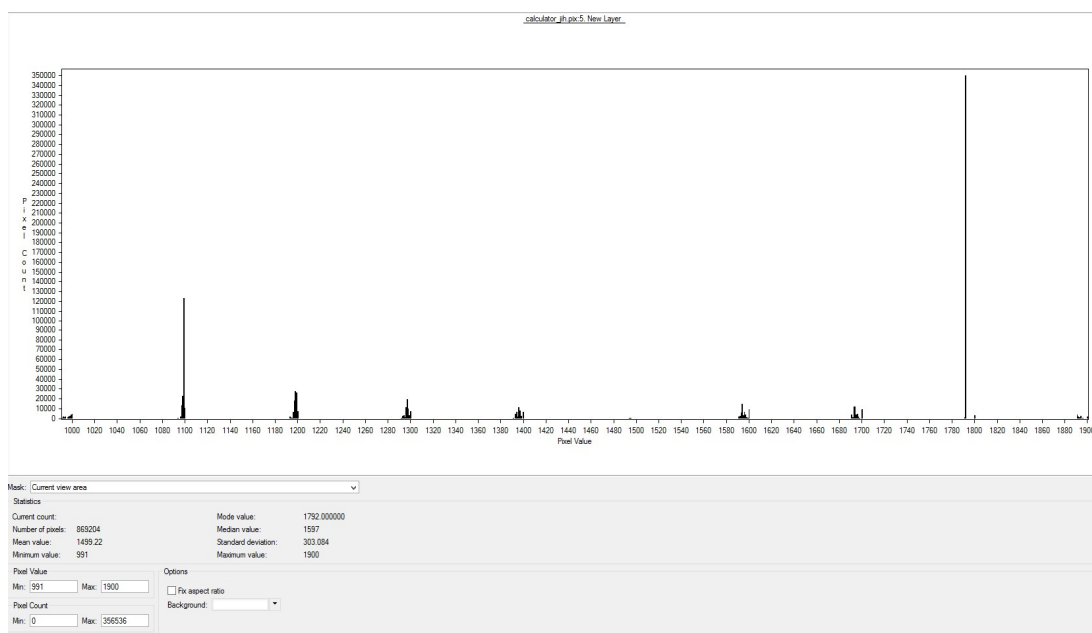
Obr. 102. Změny severní části ostrova Svatý Martin.



Obr. 103. Změny jižní části ostrova Svatý Martin.



Obr. 104. Histogram výsledku změn severní části ostrova Svatý Martin.



Obrázek 105. Histogram změn jižní části ostrova Svatý Martin.

Níže v první tabulce jsou uvedeny hodnoty obsazené plochy jednotlivými třídami v m² před hurikánem a po něm. Pod ní jsou uvedeny dalších 10 tabulek uvádějící nové plochy po hurikánu na území jednotlivých tříd. Z důvodu nepříliš dobré kvality dat a taky faktu odlišného počtu území pod maskou, vlivu přílivu a odlivu, atd musí být data porovnána s jistým odstupem precizností a brát číselné hodnoty jak relativní informační údaje. Počet tříd po hurikánu celkem obsahuje 50 tříd.

Tab. 2: Plocha před a po hurikánu

hodnota	popis	před hurikánem [sq m]	po hurikánu [sq m]
0		3430000	12491100
1	les	25860300	22544000
2	lesostep	13534600	11345300
3	vegetace	9936800	11190000
4	pole	8774900	7568500
5	horniny	961100	2279000
6	asfalt	7562900	6137000
7	budovy	7028900	4608300
8	voda	201687400	200688600
9	písek	2423100	2348200
celkem		281200000	281200000

Z tabulky č.2 platí, že zastoupení jednotlivých tříd je odlišné v rastroch před a po hurikánu. V důsledku odlišného pokrytí mapy masek, není možné porovnat celé zmapované území. Proto bylo rozhodnuto porovnat změny jen na těch částech území, které nejsou pod maskou jak v datech před hurikánem, tak v datech po hurikánu. Odečteme od celkové plochy třídy před hurikánem plochu pod maskou dané třídy po hurikánu. Příkl. je uveden na třídě les:

$$\text{Plocha}_1 - \text{Plocha}_{1100} = \text{Plocha}_{\text{opravená } 1} \quad (10)$$

Pro ostatní plochy:

$$\text{Plocha}_i - \text{Plocha}_{i100} = \text{Plocha}_{\text{opravená } i} \quad (11)$$

Poté bylo spočítáno procentuální zastoupení změn na území jednotlivých tříd před hurikánem. Z toho lze usoudit celkové změny plochy.

Tab. 3: Plocha před hurikánem po odečtení masky po hurikánu

hodnota	popis	před hurikánem [sq m]	po odečtení masky [sq m]
1	les	25860300	23826800
2	lesostep	13534600	12417000
3	vegetace	9936800	8661100
4	pole	8774900	7487300
5	horniny	961100	776900
6	asfalt	7562900	6049600
7	budovy	7028900	5584000
8	voda	201687400	199282900
9	písek	2423100	1973300

Tab. 4: Masky

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]
9	991	písek	91400
8	992	voda	316700
7	993	budovy	209900
6	994	asfalt	307000
5	995	horniny	65800
4	996	pole	210700
3	997	vegetace	418600
2	998	lesostep	462100
1	999	les	567800
0	1000		780000

Tab. 5: Les

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1091	písek	34500	0,14%
8	1092	voda	62700	0,26%
7	1093	budovy	110800	0,47%
6	1094	asfalt	98600	0,41%
5	1095	horniny	49700	0,21%
4	1096	pole	408700	1,72%
3	1097	vegetace	2197300	9,22%
2	1098	lesostep	3770700	15,83%
1	1099	les	17093800	71,74%
0	1100		2033500	

Tab. 6: Lesostep

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1191	písek	85400	0,69%
8	1192	voda	32400	0,26%
7	1193	budovy	298800	2,41%
6	1194	asfalt	200300	1,61%
5	1195	horniny	82900	0,67%
4	1196	pole	1136500	9,15%
3	1197	vegetace	2841000	22,88%
2	1198	lesostep	4039300	32,53%
1	1199	les	3700400	29,80%
0	1200		1117600	

Tab. 7: Vegetace

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1291	písek	108600	1,25%
8	1292	voda	132800	1,53%
7	1293	budovy	436100	5,04%
6	1294	asfalt	459300	5,30%
5	1295	horniny	225400	2,60%
4	1296	pole	1764600	20,37%
3	1297	vegetace	2877100	33,22%
2	1298	lesostep	1923600	22,21%
1	1299	les	733600	8,47%
0	1300		1275700	

Tab. 8: Pole

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1391	písek	249800	3,34%
8	1392	voda	202100	2,70%
7	1393	budovy	718400	9,59%
6	1394	asfalt	1019600	13,62%
5	1395	horniny	384100	5,13%
4	1396	pole	2172100	29,01%
3	1397	vegetace	1738200	23,22%
2	1398	lesostep	710100	9,48%
1	1399	les	292900	3,91%
0	1400		1287600	

Tab. 9: Horniny

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1491	písek	47900	6,17%
8	1492	voda	102300	13,17%
7	1493	budovy	39600	5,10%
6	1494	asfalt	157100	20,22%
5	1495	horniny	153800	19,80%
4	1496	pole	99300	12,78%
3	1497	vegetace	81100	10,44%
2	1498	lesostep	61800	7,95%
1	1499	les	34000	4,38%
0	1500		184200	

Tab. 10: Asfalt

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1591	písek	287500	4,75%
8	1592	voda	334700	5,53%
7	1593	budovy	869100	14,37%
6	1594	asfalt	1955400	32,32%
5	1595	horniny	645300	10,67%
4	1596	pole	1067500	17,65%
3	1597	vegetace	640100	10,58%
2	1598	lesostep	188400	3,11%
1	1599	les	61600	1,02%
0	1600		1513300	

Tab. 11: Budovy

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1691	písek	529800	9,49%
8	1692	voda	182300	3,26%
7	1693	budovy	1687200	30,21%
6	1694	asfalt	1503800	26,93%
5	1695	horniny	535800	9,60%
4	1696	pole	602400	10,79%
3	1697	vegetace	336200	6,02%
2	1698	lesostep	156600	2,80%
1	1699	les	49900	0,89%
0	1700		1444900	

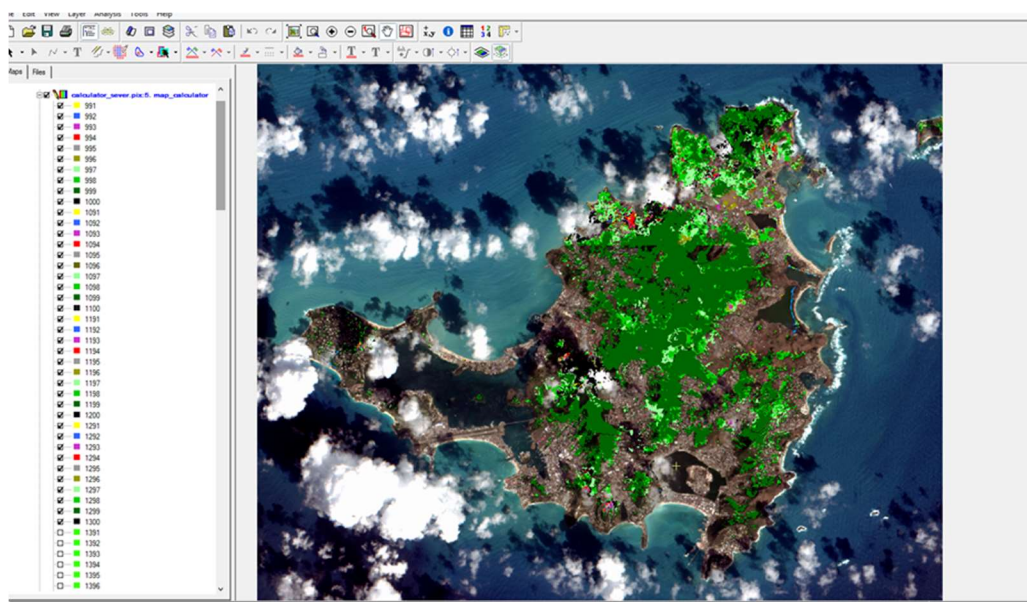
Tab. 12: Voda

hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1791	písek	264200	0,13%
8	1792	voda	198802400	99,76%
7	1793	budovy	16400	0,01%
6	1794	asfalt	86600	0,04%
5	1795	horniny	21800	0,01%
4	1796	pole	48100	0,02%
3	1797	vegetace	24600	0,01%
2	1798	lesostep	16400	0,01%
1	1799	les	2400	0,00%
0	1800		2404500	

Tab. 13: Písek

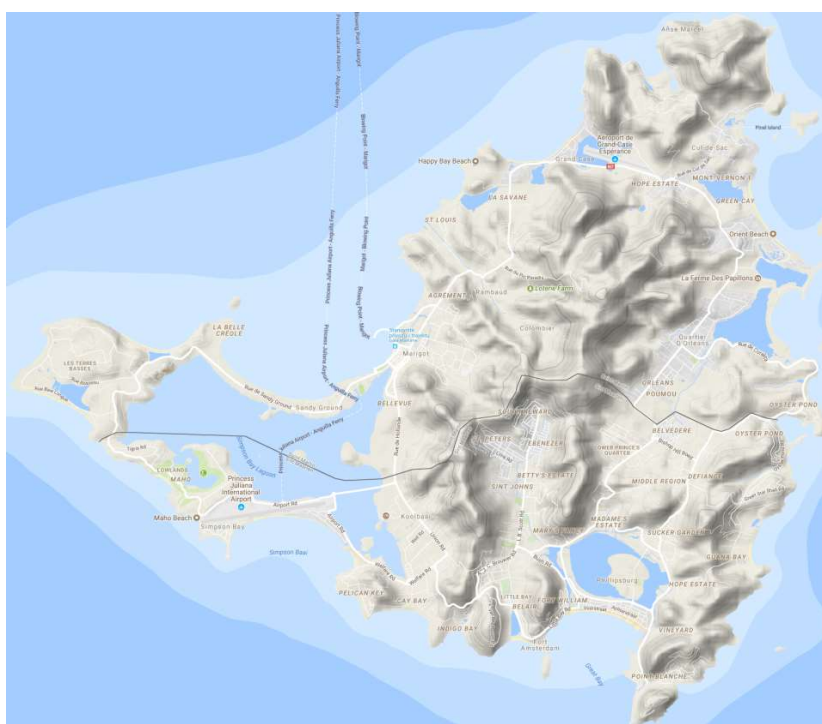
hodnota před hurikánem	hodnota	popis změny	po hurikánu [sq m]	procentuální zastoupení
9	1891	písek	649100	32,89%
8	1892	voda	520200	26,36%
7	1893	budovy	222000	11,25%
6	1894	asfalt	349300	17,70%
5	1895	horniny	114400	5,80%
4	1896	pole	58600	2,97%
3	1897	vegetace	35800	1,81%
2	1898	lesostep	16300	0,83%
1	1899	les	7600	0,39%
0	1900		449800	

Pro jednotlivé změny třídy před a po hurikánu (vyjímaje třídy NULL), byly vyhotoveny **mapy změn**. Každá mapa změn obsahuje rozlohu území před hurikánem pro jednu třídu vyplněnou změnami po hurikánu. Dále byly vyhotoveny dvě kompletní mapy znázorňující **stav před hurikánem** a **po něm**. Mapy jsou uvedeny v rámci příloh a jsou součástí odevzdané diplomové práce. Níže je uvedena ukázka z prostředí PCI Geomatica ukazující změnu třídy les po hurikánu.



Obr. 106. Výsledku změn třídy Les. Legenda str.53

Na další stránce je uveden **posudek** před a po hurikánu jako celku a jednotlivých tříd na základě získaných plošných hodnot území a vytvořených map. V rámci vyhodnocení nesmí chybět posouzení vzhledem terénnímu tvaru území. Jelikož hurikán Irma šel z východu na západ, lze předpokládat, že k větším změnám došlo ve východní části ostrova a na vrcholech převýšení. Naopak k menšímu ujmu mohlo by dojít na území těsně pod převýšeními v opačném směru pohybu hurikánu. Na následující stránce je uvedena výškopisná mapa ostrova Svatý Martin. Zdrojem mapy je společnost Google.

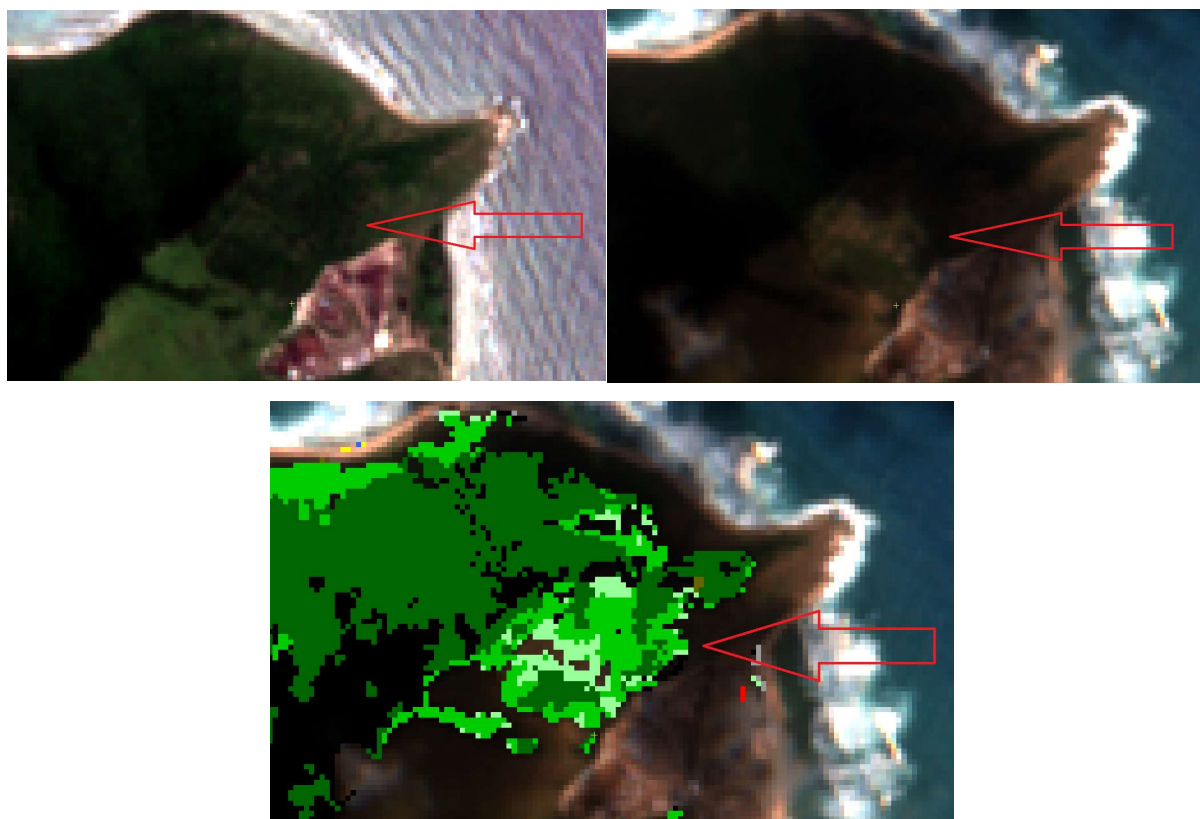


Obr. 108. Terénní povrch ostrova Svatý Martin [14]

➤ **Srovnání jednotlivých tříd dle mapy změn**

- Les

Území pokrytá lesy zaznamenala pravděpodobně největší změny v důsledku působení hurikánu Irma. I přes to, že na většině území rozloha lesů zůstala beze změn, došlo k větším změnám u východního pobřeží a části vnitrozemí. Změny ve vnitrozemí kopírují tvar převýšení území. Z toho lze usoudit, že hromadné změny na vrcholech mohly být způsobeny vlivem hurikánu Irma. Les se povětšinou přeměnil na lesostep, a vegetaci (pole s větším procentem vegetace). V místech, kde došlo ke změně třídy les na pole bez vegetace (případně s malým vegetačním pokrytím), budovy, silnice se pravděpodobně jedná o změny způsobené vlivem lidské činnosti.



Obr. 108,109,110. Změny lesní plochy, vlevo před hurikánem, vpravo hurikánu, uprostřed vyhodnocení mapové algebry.

Legenda str.53

- Lesostepy

Území pokryté lesostepy je nejproblematictější z pohledu zatřídění dat. Jedná se o území, které není zahuštěné tropickými lesy, ale sdílí stejnou plochu s polem pokrytým nadměrným počtem vegetací (křoví). V rámci vyhodnocení byly zaznamenány velké změny na východním pobřeží a vrcholech (obdobně jako pro lesy). Část lesostepi byla proměněna na lesy, je to pravděpodobně způsobeno odlišnými ročními období. Na podzim jsou větší srážky,

což způsobuje změnu odrazivosti bližší k lesnímu. Většina lesostepi byla proměněna na třídu pole s větším procentem vegetace, nebo pole bez vegetace.

- Pole s vyšším procentem vegetace

Podobná situace jako s lesostepi, některá část území byla přeměněna na lesostepi. Většina území zůstala stejná. Došlo k proměně primárně na třídu pole s malým procentem vegetace (pole bez vegetace). Vzhledem ke vlastnostem třídy, lze předpokládat, že změny způsobené přeměnou na pole, vznikly v důsledku lidské činnosti. Mezi prvky této změny patří rovnoměrné tvary nových tříd pole bez vegetace (viz mapa 4).



Obr. 111,112,113. Zatopení vodou částí území. Legenda str.53

- Pole s menším procentem vegetace (pole bez vegetace)

Třída pole bez vegetace zaznamenala menší změny. Část území byla proměněna do urbanistických tříd (asfalt + horniny (prašná komunikace), budovy). Další část území se proměnila v pole s větším procentem vegetace. Změny mohly být způsobeny v rámci zemědělské činnosti, na jaře probíhá sběr zemědělských plodin.

- Horniny, asphalt, budovy

Dané 3 třídy mají podobnou odrazivost a v důsledku 10metrového rozlišení dat. Problematické je území měst. V nezastavěných plochách (cesty, skály, ojedinělá zástavba), jednotlivé třídy jsou navzájem rozeznatelná. Budovy a asphalt jsou často zahrnuty pod jiné třídy primárně v důsledku mraku a stínu, což navyšuje jejich obsah, avšak chybně. Více ukázka níže. Z důvodů velkého rozsahu dat, nebylo možné odstranit každou chybu.

Značná část **hornin** byla vyhodnocením převedena do třídy asphalt, změna však nebyla provedená ve skutečnosti, spíše se jedná o chybu způsobenou spektrálně blízkým si chováním třídy horniny a asphalt. Část hornin na pobřeží ostrova se ocitla ve třídě voda. Tato změna je krátkodobá, jelikož se jedná o vliv přílivu a odlivu, kdy skalní útvary na pobřeží se ocitnou pod hladinou moře.

Část třídy **asfalt** byla zahrnuta do třídy budovy (urbanistické prostředí úzkých uliček). Část cest je zahrnuta ve třídě pole bez vegetace, pravděpodobně se jedná o méně kvalitní cesty. Větší část třídy zůstala nezměněna.

Budovy měly obdobné změny jako u asfaltu a hornin, avšak navíc byly zaznamenány změny do třídy pole bez vegetace. Je možné, že ke změně rozsahu budov došlo aj vlivem působení hurikánu.



Obr. 114,115. Zatopení vodou částí území Zahrnutí do třídy budovy odraz části oblaka. Legenda str.53

- Voda a písek

Třída voda prakticky nezaznamenala žádné změny. Změny se primárně týkají pobřeží, kde menší část území byla zahrnuta do třídy písek, případně asfaltu u přístavu. Změny jsou pravděpodobně způsobeny již zmiňováním vlivem přílivu a odlivu.

Území pokryté před hurikánem **pískem** zaznamenalo větší změny než v případě třídy vody. V důsledku přílivu a odlivu byla posunutá hladina moře a značná část písku se ocitla pod vodou, dále došlo k přeměně menší částí písku na pole bez vegetace (léto je sušší než podzim). K chybě v důsledku nedokonalé klasifikaci došlo ve zpracování budov, které mají podobnou hodnotu odrazivosti v použitých pásmech jako písek, i přes velkou snahu zcela odstranit tuto chybu v rámci postklasifikace, část chyb i přes to zůstala.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo zpracovat pokrytí na vybraném území před hurikánem a po něm, určit změny ve vegetaci, zástavbě apod., dále posoudit kvalitu a dostupnost vstupních nekomerčně získaných dat a časovou vhodnost dostupných scén.

První kapitola slouží k teoretickému úvodu do problematiky. V první podkapitole je stručně pojednáno o teoretickým přehledu tropických cyklon. Ve druhé podkapitole je popsán přehled událostí vývoje hurikánu Irma. V následujících kapitolách je uveden popis zájmového území.

Ve druhé kapitole bylo pojednáno o dálkovém průzkumu Země. Je zde uveden jeho vývoj, fyzikální princip, jednotlivé metody zpracování dat a druh satelitních dat. Kapitola slouží jako základ k popisu metod použitých v diplomové práci, způsobu klasifikace, použitých druhů dat a použitých softwarů.

Závěrečná kapitola je zaměřena na popis zpracování praktické části diplomové práce. Je v ní postupně podrobně popsán způsob získání dat, jejich korekce, metody klasifikace, porovnání jednotlivých scén mezi sebou v rámci využití mapové algebry a vyhodnocení výsledku.

Níže je uvedeno kompletní závěrečné srovnání:

1. Rozlišovací schopnost nekomerčních družicových dat je nižší (10 m vs. až 32 cm) ve srovnání s komerčními daty. Tato data slouží ke zpracování dat pro jevy s nižším požadavkem na podrobné prostorové rozlišení – lesní plochy, zemědělská území apod. Nejlepší dostupná nekomerční data pro dané území poskytuje program Copernicus – družice Sentinel. Data jsou poskytována přibližně v intervalu jednoho týdne, s rozlišovací schopností až 10 metrů.
2. Karibské ostrovy jsou velmi problematickým územím pro zpracování dat metodami DPZ. Má na to vliv jednak menší významnost území a státu ve srovnání ku příkladu s Indií, Evropou nebo USA, což zapříčiňuje menší zájem o podrobné zkoumání tohoto území.
3. Atmosférické podmínky po hurikánu byly podstatně zhoršené oproti stavu před ním. Data z období před hurikánem vykazují větší rozsah digitálních hodnot, a tedy spolehlivější výsledky klasifikace.
4. V mapě po hurikánu je plocha neklasifikovaného území je přibližně 2,5krát větší než v mapě před hurikánem.
5. I přes ten fakt, že dle tabulky obsah lesů se zvýšil navýšen, došlo ve skutečnosti k navýšení došlo jen ojediněle, víc (viz klasifikace třídy les. Hlavním důvodem vyšší plochy lesa je ten, že většina masek území před hurikánem byla právě nad lesním porostem (dle dat po hurikánu).

6. Došlo ke zmenšení plochy území lesostepi, vegetace a pole. Primárně ve východní části ostrova. Důvod může být, jak zapříčeno lidskou činností, tak i poškozením hurikánem Irma. Více vyhodnocení lesostepu, vegetace a pole (viz mapy 4,5,6).
7. Vyhodnocení tříd budovy, horniny a asfaltu je problematické, jelikož tato data mají obdobnou odrazivost a jelikož se nachází ve vzájemné blízkosti, rozlišovací schopnost 10 m není dostatečná pro spolehlivé odlišení menších budov.
8. U písku a vody jsou zaznamenány menší změny vzniklé primárně v důsledku působení přílivu a odlivu.
9. Na východním pobřeží písek a pole s minimálním počtem vegetace se posunuly o několik desítek metrů dovnitř ostrova a pokryly území pole s větším procentem vegetace a lesostepi. Tvar změn hodně napovídá, že důvodem změny je právě hurikán Irma.

Součástí diplomové práce jsou mapy změn tříd a jednotlivé mapy stavu území před hurikánem a po něm.

Z výše uvedených bodů lze usoudit, že i přes maximálně 10m rozlišovací schopnost dat a roztroušenou oblačnost podařilo vyhodnotit území ostrova Svatý Martin. **Hurikán Irma poškodil značnou část flory ostrova a způsobil hospodářské úbytky.**

Použitá literatura

- [1] Serwana M. J. Babana, Deaneshe Ramsewake, Francise Canisiuse: *Mapping and detecting land use/cover change in Tobago using remote sensing*, 2009.
- [2] Heather Nicholson: *Evaluating the Impact of Hurricane Irma on Long Key Island, FL Using Object-based Change Detection Techniques.*, 2017.
- [3] Fugui Wang, Y. Jun Xu: *Comparison of remote sensing change detection techniques for assessing hurricane damage to forests*, 2009.
- [4] Maren Ann Gilbert: *Review of Remote Sensing Utilization for Identifying and Monitoring Change of Land Cover within Coastal Ecosystems of the Caribbean*, 2015.
- [5] John P. Cangialosi, Andrew S. Latta a Robbie Berg: *Hurricane Irma (AL112017)*. 2017
- [6] Lena Halounová: *Zpracování obrazových dat*, Nakladatelství ČVUT 2009.
- [7] Karel Pavelka: *Dálkový průzkum Země. Družicové systémy*, Nakladatelství ČVUT 2010.
- [8] Ladislava Plánka: *Dálkový průzkum Země*, Nakladatelství VUT.
- [8] PCI Geomatics Enterprise: *Geomatica I*, 2017.
- [9] PCI Geomatics Enterprise: *Geomatica II*, 2017.
- [10] Emanuel Kerry: "Anthropogenic Effects on Tropical Cyclone Activity". Massachusetts Institute of Technology. Retrieved May 7, 2009.
- [11] Wikipedia, www.wikipedia.org
- [12] NASA: <https://www.nasa.gov/image-feature/geocolor-image-of-hurricane-irma>, 2017
- [13] Meteorological Department Curaçao, <http://www.meteo.cw>
- [14] Google maps. <https://maps.google.com>
- [15] OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org>
- [16] Copernicus (ESA). <http://copernicus.gov.cz>
- [17] Icimod. <http://geoportal.icimod.org>
- [18] Gisat. <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu>
- [19] U.S. Geological survey landsat missions: <https://landsat.usgs.gov/>
- [20] QGIS. <https://qgis.org>, https://plugins.qgis.org/plugins/openlayers_plugin/
- [21] The Sun. <https://www.thesun.co.uk/topic/hurricane-irma/>
- [22] PCI Geomatica: ATCOR – Ground reflectance workflow geomatica 2015 tutorial: http://www.pcigeomatics.com/pdf/geomatica/tutorials/Geomatica_2015_ATCOR.pdf

[23] PCI Geomatica K-means clustering: http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/concepts/focus_c/oa_classif_intro_unsuperClass_kmns.html

[24] PCI Geomatica Fuzzy-means clustering: http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/references/pciFunction_r/python/P_fuz.html

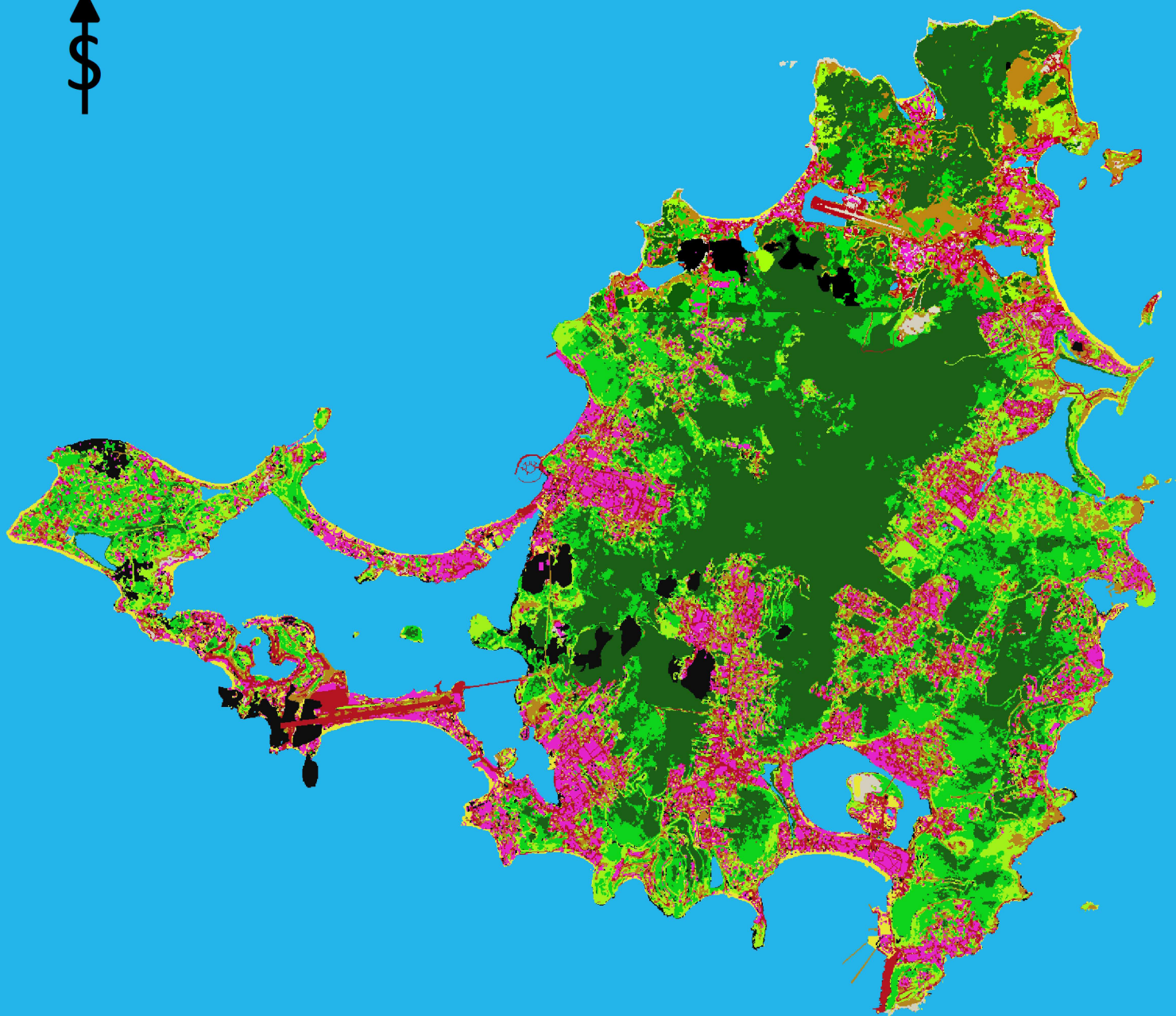
[25] PCI Geomatica ISODATA clustering: http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/references/pciFunction_r/modeler/M_isoclus.html

[26] Copernicus Open Access Hub: <https://scihub.copernicus.eu/>

[27] Registrace PCI Geomatica: <http://www.pcigeomatics.com/resources/more-resources/downloads>

[28] EarthExplorer USGS: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

SVATÝ MARTIN STAV ÚZEMÍ PŘED HURIKÁNEM IRMA



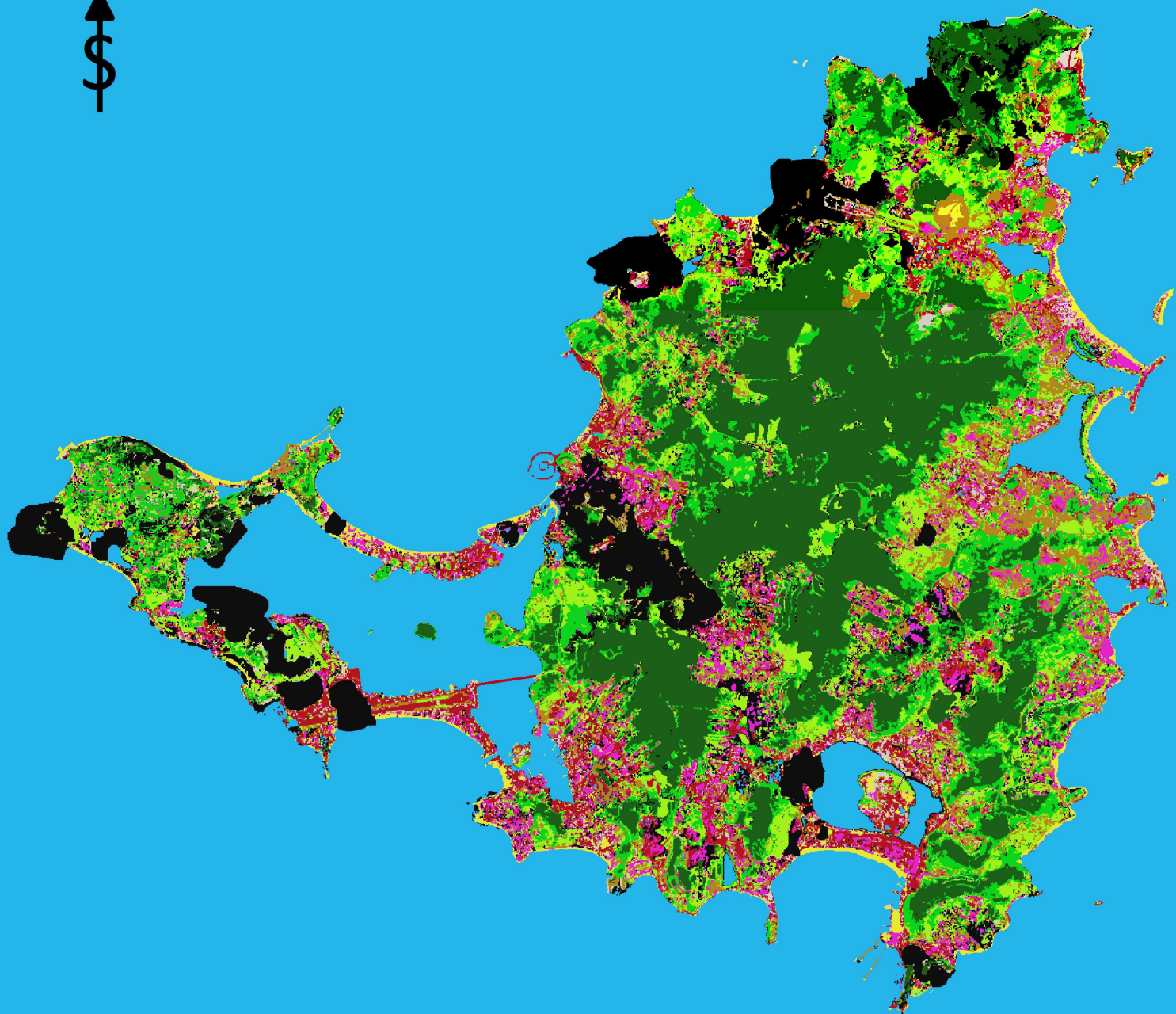
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek

SVATÝ MARTIN

STAV ÚZEMÍ PO HURIKÁNU IRMA

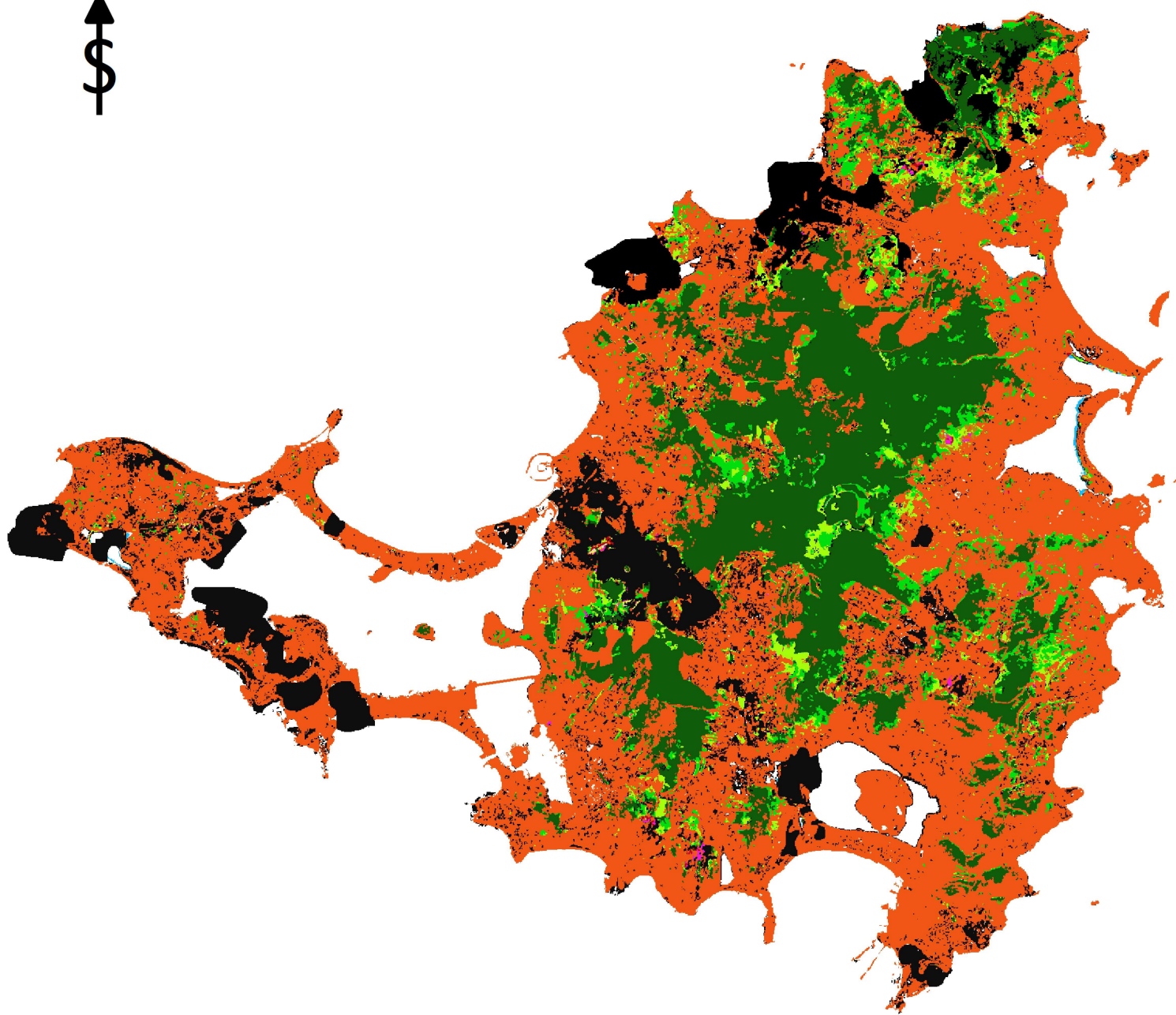


0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek

SVATÝ MARTIN ZMĚNA TŘÍDY LES PO HURIKÁNU



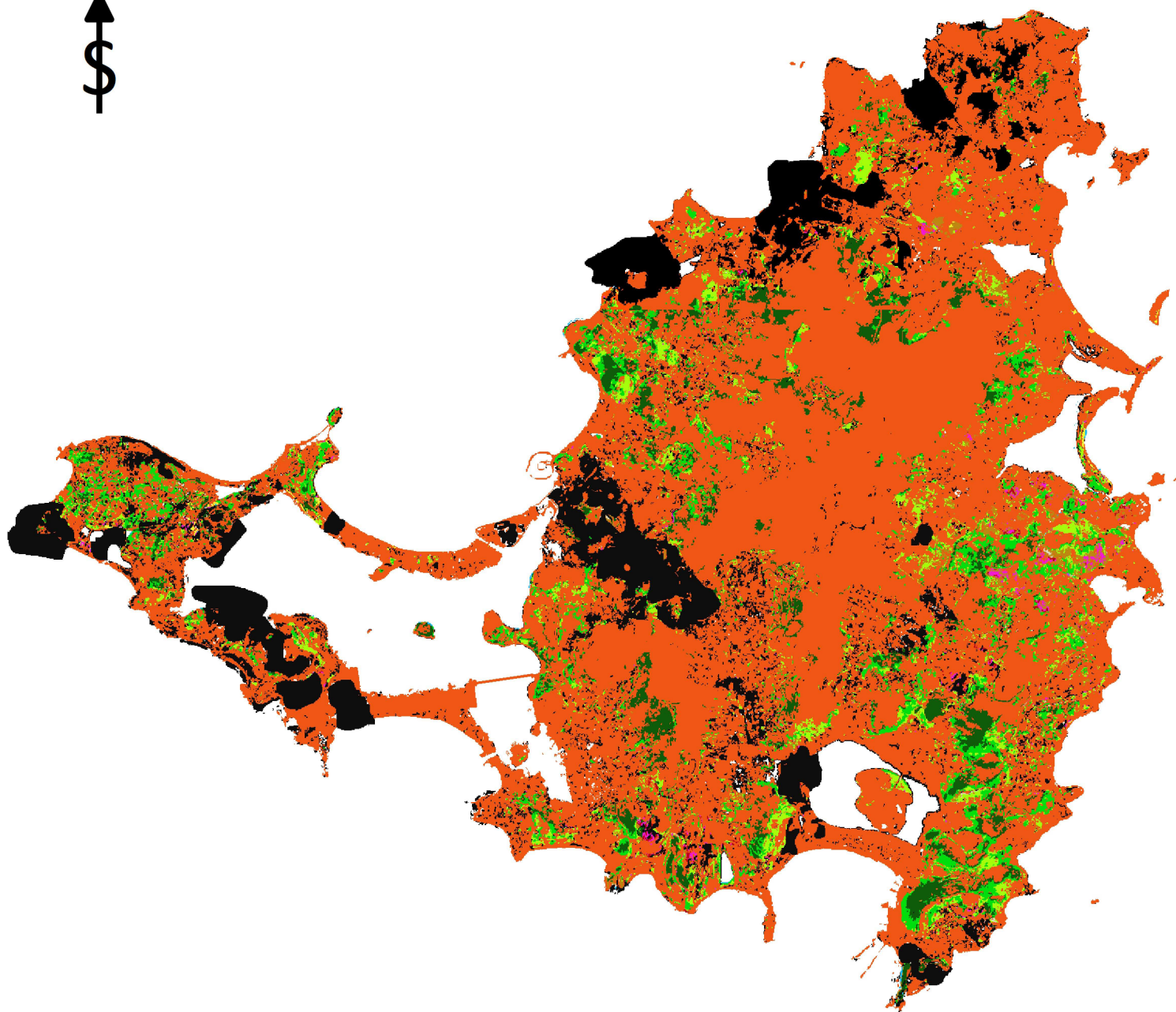
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN

ZMĚNA TŘÍDY LESOSTEP



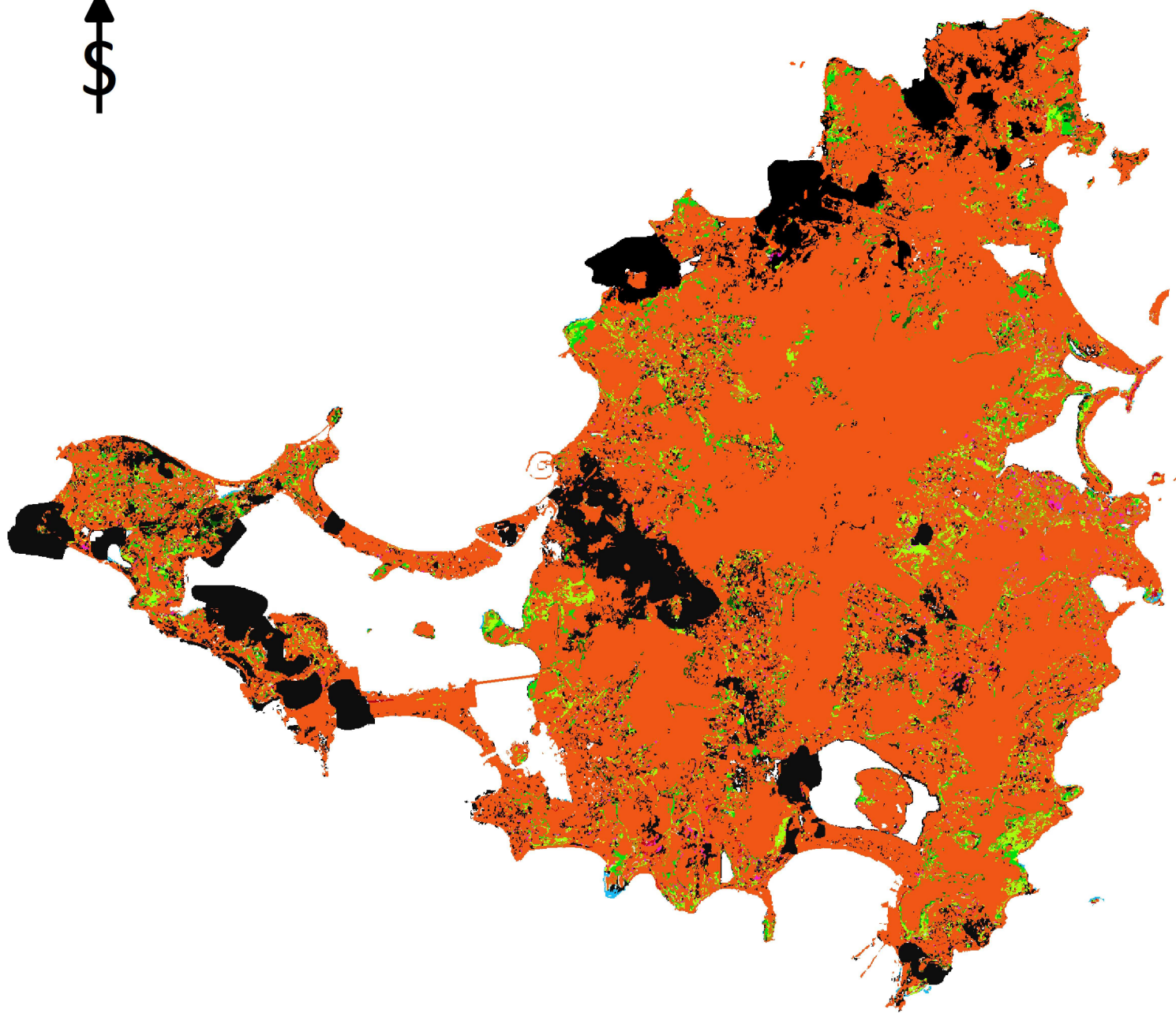
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN

ZMĚNA TŘÍDY POLE S VEGETACI PO HURIKÁNU



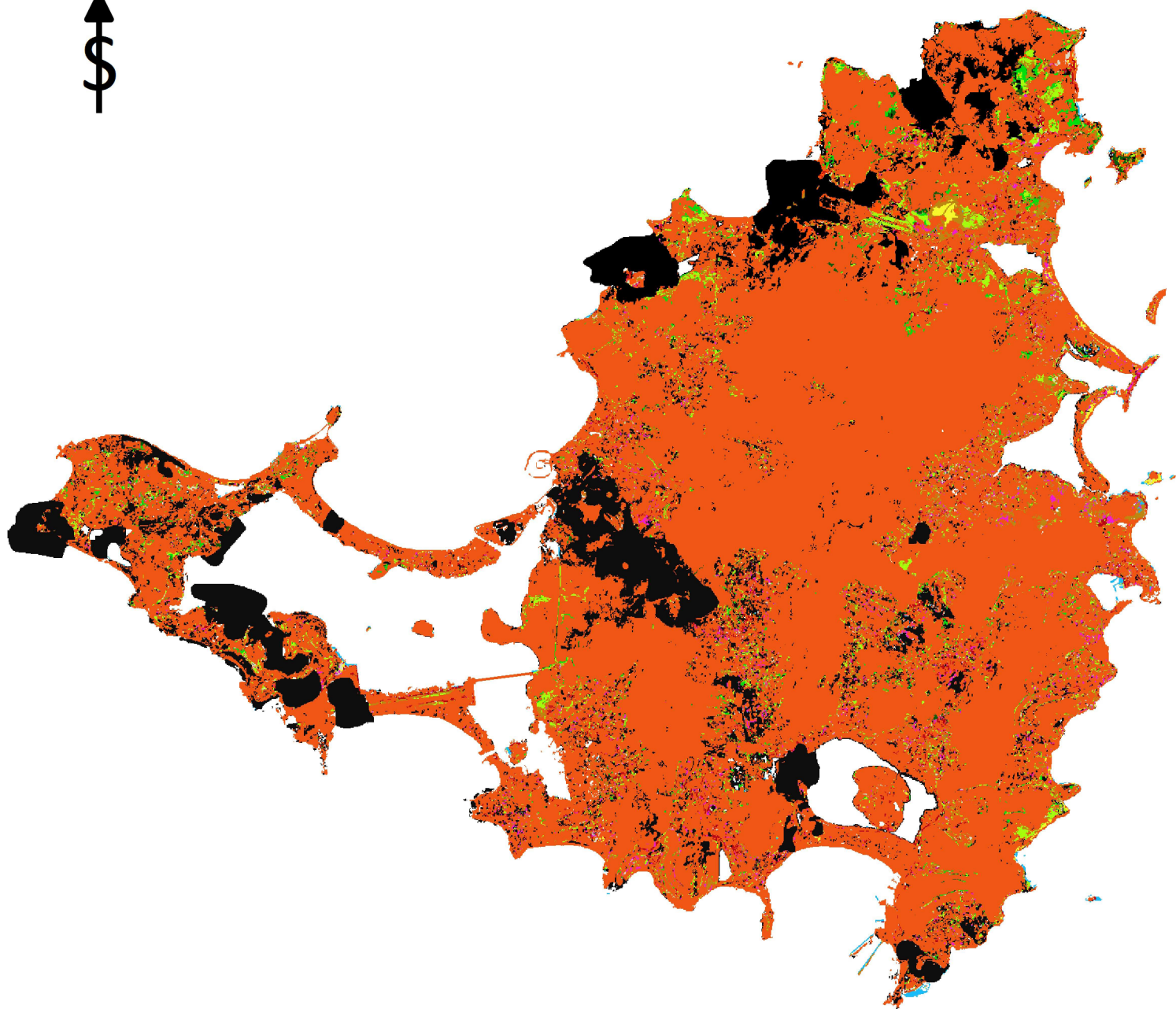
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN

ZMĚNA TŘÍDY POLE BEZ VEGETACE PO HURIKÁNU



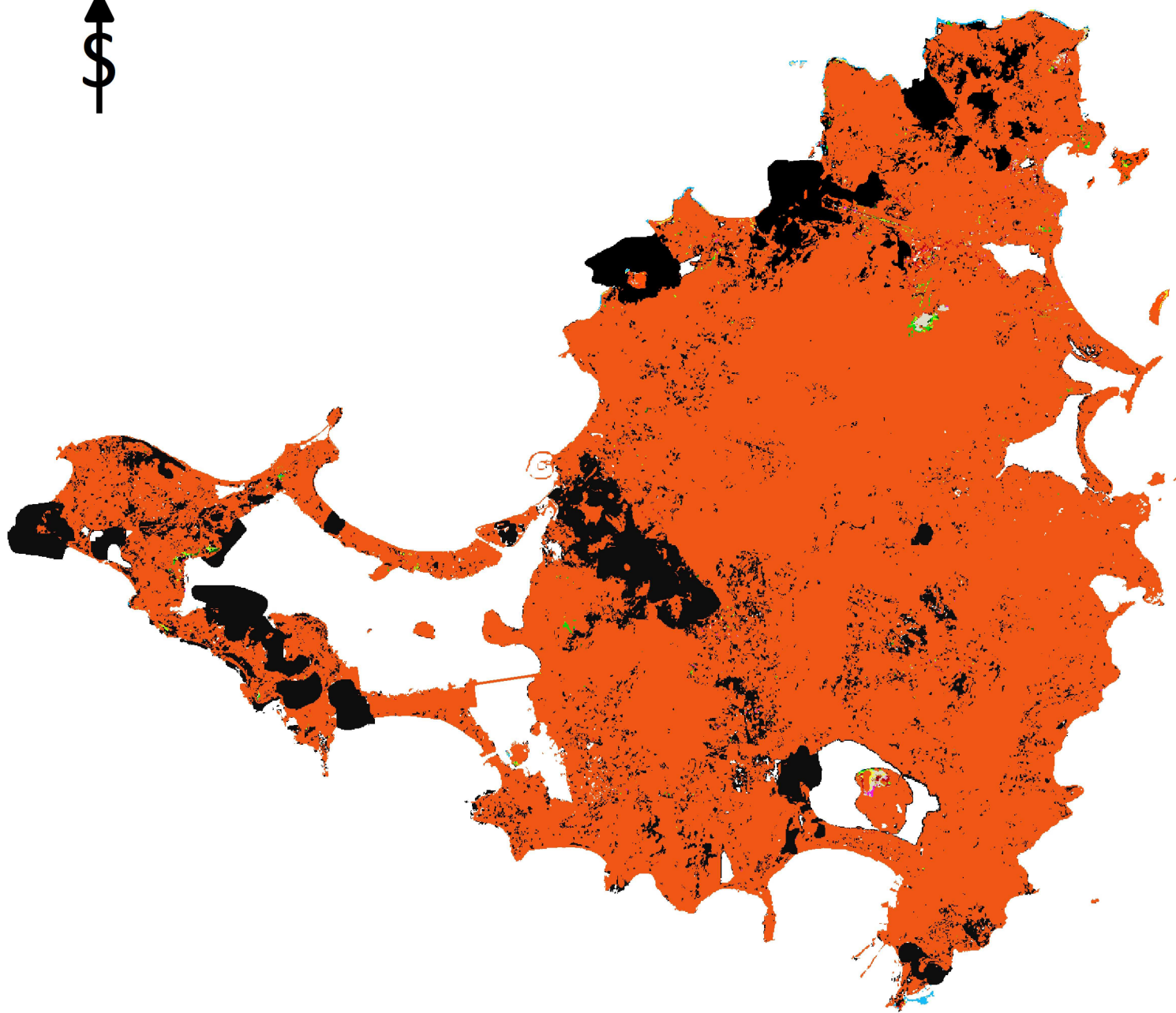
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN

ZMĚNA TŘÍDY HORNINY PO HURIKÁNU

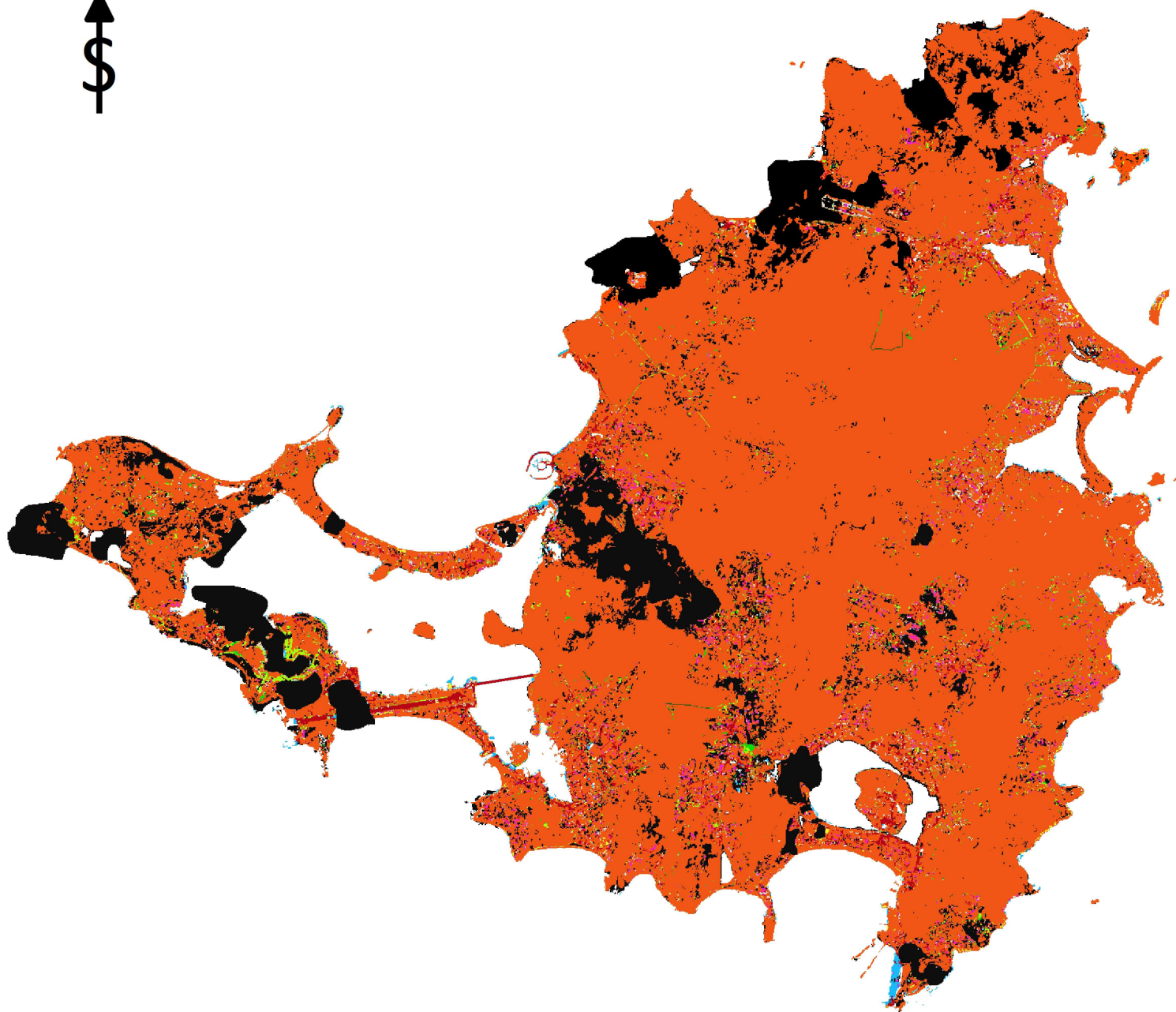


0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN ZMĚNA TŘÍDY ASFALT PO HURIKÁNU



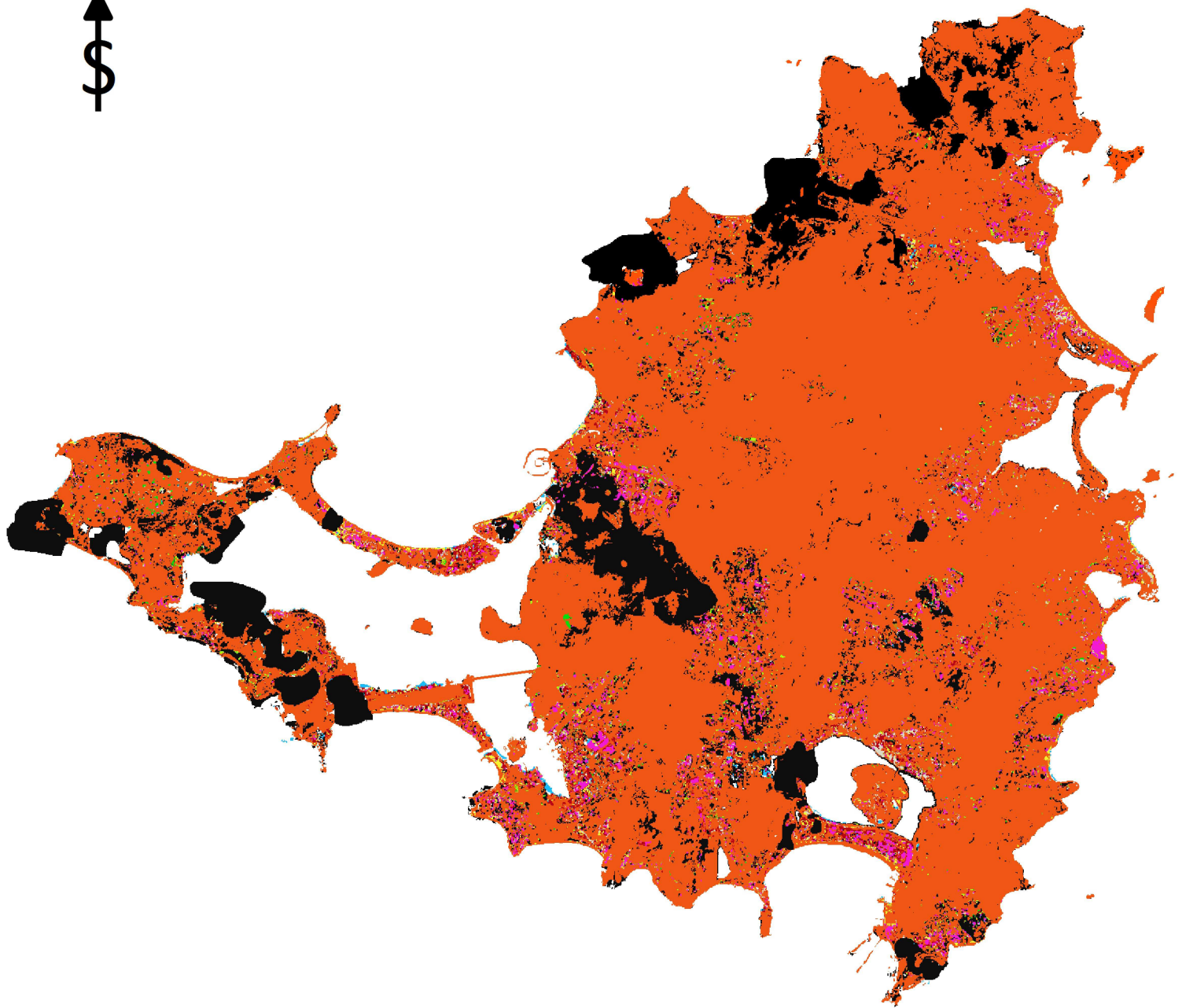
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN

ZMĚNA TŘÍDY BUDOVY PO HURIKÁNU



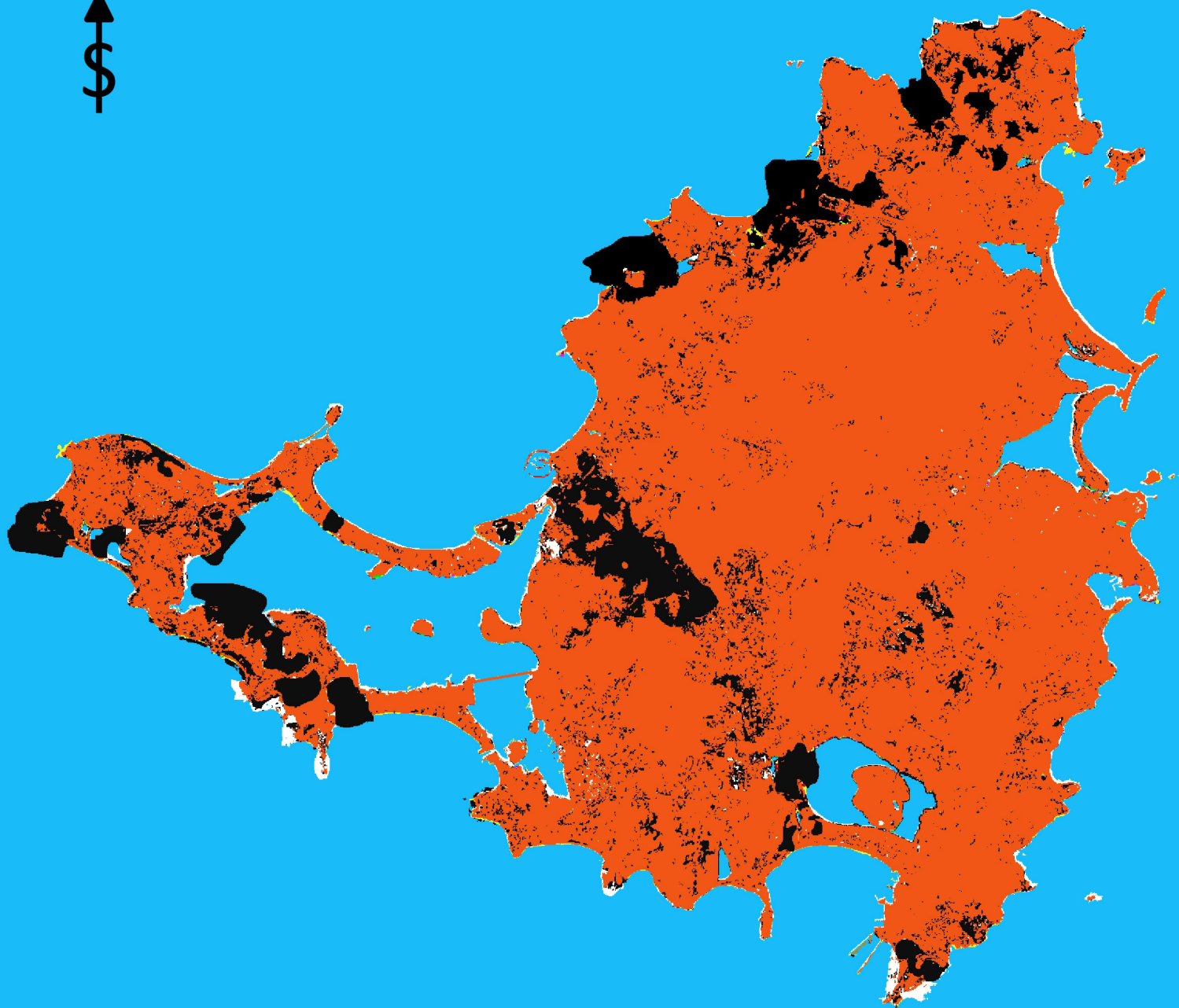
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN

ZMĚNA TŘÍDY VODA PO HURIKÁNU



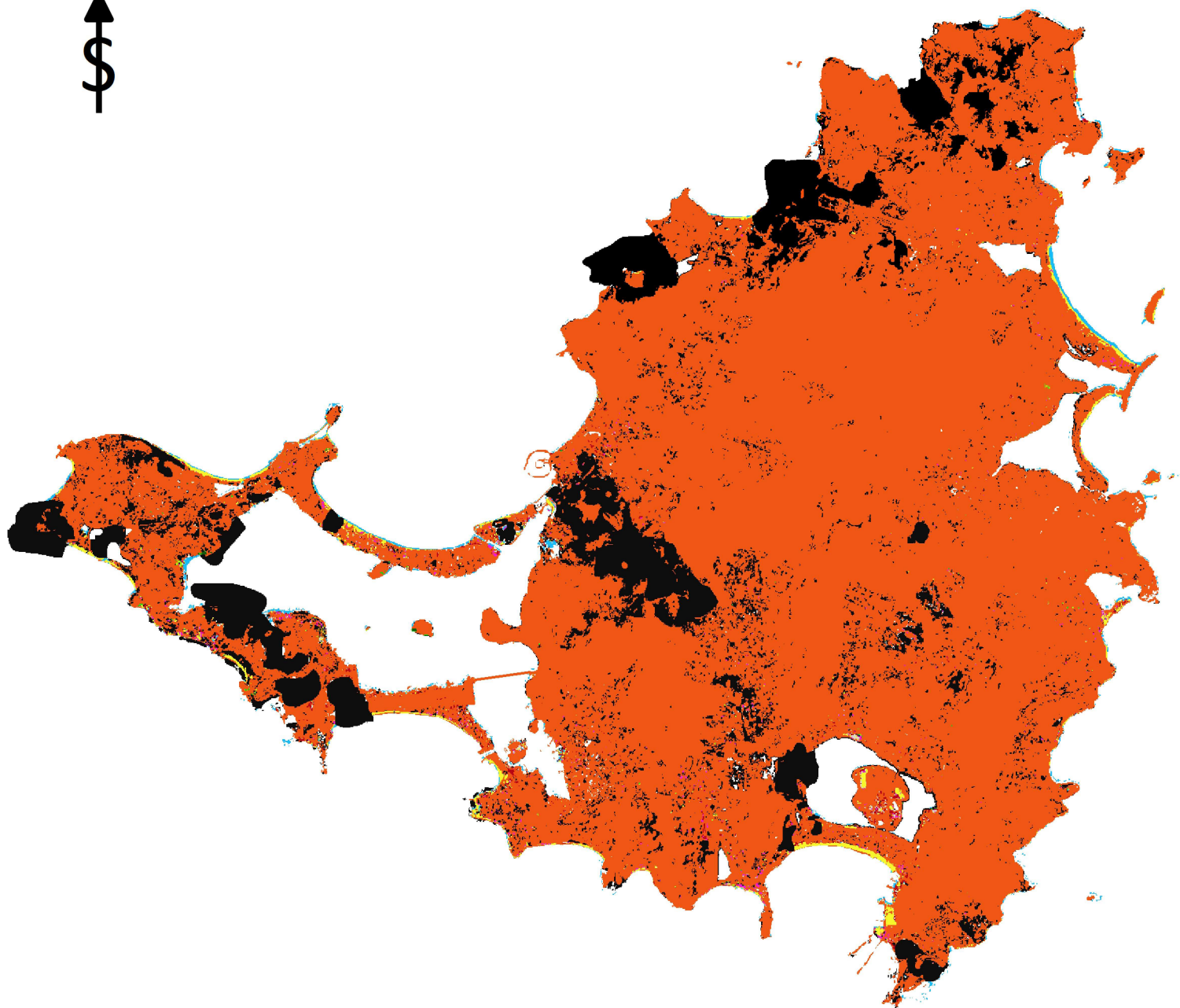
0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem

SVATÝ MARTIN

ZMĚNA TŘÍDY PÍSEK PO HURIKÁNU



0 1 2 3 4 km



- maska
- les
- lesostep
- pole s větším procentem vegetace
- pole s menším procentem vegetace
- horniny
- asfalt
- budovy
- voda
- písek
- obecný stav před hurikánem