

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ

Aplikace dálkového průzkumu země za účelem monitoringu změn v  
přirozenosti pobřežních ekosystémů.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. David Moravec, Ph.D.

Autorka: Bc. Tereza Hüttnerová

2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tereza Hüttnerová

Zemědělská specializace  
Krajinné a pozemkové úpravy

Název práce

**Aplikace dálkového průzkumu Země za účelem monitoringu změn v přirozenosti pobřežních ekosystémů**

Název anglicky

**Application of remote sensing to monitor changes in the nature of coastal ecosystems**

---

### Cíle práce

Pobřežní lokality patří mezi nejohroženější ekologické systémy na světě, přirozené pláže jsou přeměňovány antropogenní činností. Pomocí těžké techniky dochází k odstranění svrchního pobřežního krytu a veškeré vegetace. Cílem diplomové práce je ověření možnosti použití dálkového průzkumu Země za účelem monitoringu pobřežních ekosystémů. Mezi dílčí cíle práce patří: i) Vybrání vhodných pobřežních lokalit, ii) Využití fuzzy klasifikačních algoritmů optických dat za účelem stanovení procentuálního zastoupení substancí na plážích, iii) Ověření konceptu využití mikrovlnného záření pro monitoring stavu přirozených a umělých pláží.

### Metodika

Zájmové území se nachází na západním pobřeží Itálie, zkoumány budou čištěné i nečištěné lokality pláží. Budou použity snímky z evropského vesmírného programu ESA (Sentinel-1, Sentinel-2). Zpracována bude nejprve literární rešerše zabývající se použitím radaru a optických snímků. V praktické části bude ověřena možnost použití Dálkového průzkumu Země za účelem identifikování změn v přirozených (nečištěných) a čištěných plážích. Snímky budou zpracovány v softwaru SNAP Desktop a ArcMap 10.7.1.

## Doporučený rozsah práce

40 stran

## Klíčová slova

radar, zpětný rozptyl, optické snímání, spectral unmixing, mediteránní oblast

---

## Doporučené zdroje informací

- BAZZICHETTO, M., M. MALAVASI, A.T.R. ACOSTA a M.L. CARRANZA. How does dune morphology shape coastal EC habitats occurrence? A remote sensing approach using airborne LiDAR on the Mediterranean coast. *Ecological Indicators* [online]. 2016, 71, 618-626.
- DRIUS, Mita, Laurence JONES, Flavio MARZIALETTI, Maria Carla DE FRANCESCO, Angela STANISCI a Maria Laura CARRANZA. Not just a sandy beach. The multi-service value of Mediterranean coastal dunes. *Science of The Total Environment* [online]. 2019, 668, 1139-1155.
- TORRES, Ramon, Paul SNOEIJ, Dirk GEUDETNER, et al. GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2012, 120, 9-24.
- YOUSEFI LALIMI, F., S. SILVESTRI, L. J. MOORE a M. MARANI. Coupled topographic and vegetation patterns in coastal dunes: Remote sensing observations and ecomorphodynamic implications. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* [online]. 2017, 122(1), 119-130.
- ZIELINSKI, Seweryn, Camilo M. BOTERO a Andrea YANES. To clean or not to clean? A critical review of beach cleaning methods and impacts. *Marine Pollution Bulletin* [online]. 2019, 139, 390-401.

---

## Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. David Moravec, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2020

**doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2020

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 24. 06. 2020

## PROHLÁŠENÍ

---

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: *Aplikace dálkového průzkumu země za účelem monitoringu změn v přirozenosti pobřežních ekosystémů* vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědoma, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 20. 6. 2020

Podpis:

Bc. Tereza Hüttnerová

## **PODĚKOVÁNÍ**

---

Ráda bych na tomto místě poděkovala Ing. Davidu Moravcovi, PhD za odborné vedení diplomové práce, cenné rady a připomínky a také za jeho čas, který mi věnoval při zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala svým rodičům, sestře a přátelům, kteří mě během studií vždycky podporovali.

---

## ABSTRAKT

---

Práce se zabývá potenciálním využitím metod dálkového průzkumu Země za účelem monitoringu pobřežních oblastí. Zkoumané lokality se nachází na západním pobřeží Itálie, konkrétně byly analyzovány tři čištěné pláže (umělé lokality) a tři nečištěné pláže (přírozené lokality).

K ověření metod dálkového průzkumu Země byly použity následující zdroje dat i) optické snímky z konstelace satelitů Sentinel-2A a Sentinel-2B a ii) radarové snímky z konstelace satelitů Sentinel-1A a Sentinel-1B. V první části byly klasifikovány optické snímky pomocí fuzzy algoritmu Spectral unmixing, ze kterého bylo určeno procentuální zastoupení jednotlivých kategorií (*písek, vegetace, sopečný prach a popel, voda a chybová data*) na plážích. Ve druhé části byly zpracovány radarové snímky a následně byla určena hodnota zpětného rozptylu v jednotkách decibelu. Výsledky analyzovaných snímků potvrzují vyšší průměrné procentuální zastoupení *vegetace* na nečištěných lokalitách, průměrná procentuální hodnota *vegetace* na nečištěných plážích se pohybovala v rozmezí mezi 13–28 %, zato na čištěných plážích vyšla hodnota v rozmezí 4-8 %.

Z výsledků práce je patrné, že vyšší hodnoty zpětného rozptylu byly zaznamenány na nečištěných plážích, které byly složeny z procentuálně vyššího množství *vegetace*. Dalším prokázaným faktorem ovlivňujícím zpětný rozptyl byl typ podloží. Pláže s vysokým procentuálním zastoupením kategorie *písek* dosahovaly nižších hodnot zpětného rozptylu, než pláže s vyšším zastoupením kategorie *sopečný popel a prach*. I přes to, že byly snímky v letním období ovlivněny přítomností rušivých elementů (turisté a plážový materiál), metody dálkového průzkumu Země reflektovaly danou situaci na pobřežních lokalitách a výsledky poukazují na vhodnost případného použití i pro takto malé dynamicky se vyvíjející lokality.

## KLÍČOVÁ SLOVA

---

Radar, zpětný rozptyl, optické snímání, Spectral unmixing, mediteránní oblast

---

## ABSTRACT

---

The thesis deals with the potential use of remote sensing methods for monitoring of coastal areas. The target areas are located on the west coast of Italy, specifically three cleaned beaches (artificial sites) and three uncleaned beaches (natural sites) were analyzed.

The following data sources were used to verify remote sensing methods: (i) optical images from the constellation of satellite Sentinel-2A and Sentinel-2B; and (ii) radar images from the constellation of satellite Sentinel-1A and Sentinel-1B. In the first part, optical images were classified using the fuzzy algorithm Spectral unmixing, from which the percentage of individual categories (*sand, vegetation, volcanic dust and ash, water and error data*) on the beaches was determined. In the second part, radar images were processed and the backscatter value in decibel units was determined. The results of the analyzed images confirm a higher average percentage of *vegetation* in uncleaned beaches, the average percentage of *vegetation* on uncleaned beaches ranged between 13–28%, while on the cleaned beaches the value ranged from 4-8%.

The results of the study indicate that higher values of backscatter were recorded on uncleaned beaches, which were composed of a higher percentage vegetation. Another proved factor influencing backscatter was the type of subsoil. Beaches with a high percentage of *sand* have lower backscatter values than beaches with higher *volcanic ash and dust*. Despite the fact that the images were influenced by the presence of disturbing elements (tourists and beach material) in the summer, remote sensing methods reflected the situation at the coastal sites and the results indicate the suitability of possible use even for such small dynamically developing sites.

## KEYWORDS

---

Radar, backscatter, optical data, Spectral unmixing, mediterranean region

---

# OBSAH

---

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b> .....	<b>12</b>
3.1	Mediterránní klima.....	12
3.2	Pobřežní ekosystémy .....	13
3.3	Topografické uspořádání přirozených pláží.....	14
3.4	Čištění pláží.....	15
3.5	Dálkový průzkum země .....	17
3.5.1	Pasivní systémy .....	18
3.5.2	Sentinel-2 .....	19
3.6	Radar .....	19
3.6.1	Radar se syntetickou anténou.....	23
3.6.2	Sentinel-1 .....	25
<b>4</b>	<b>Zájmové území</b> .....	<b>26</b>
4.1	Čištěná pláž č. 1 Canello .....	27
4.2	Čištěná pláž č. 2 Spiaggia Libera .....	27
4.3	Čištěná pláž č. 3 Montalto Marina.....	29
4.4	Nečištěná pláž č. 1 .....	30
4.5	Nečištěná pláž č. 2 .....	31
4.6	Nečištěná pláž č. 3 .....	32
<b>5</b>	<b>Metodika</b> .....	<b>33</b>
5.1	Použitý software .....	33
5.2	Zdroj dat.....	34
5.3	Optické snímky satelitu Sentinel-2.....	34



5.3.1	Zpracování snímků ze Sentinelu-2 .....	36
5.4	Radarové snímky satelitu Sentinel-1 .....	39
5.4.1	Předzpracování radarových snímků ze Sentinelu-1.....	40
5.4.2	Analýza radarových dat ze Sentinelu-1 .....	42
<b>6</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>43</b>
6.1	Složení pláží dle optických snímků .....	43
6.2	Síla přijatého pulzu z radarových dat .....	49
<b>7</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>Závěr a přínos práce .....</b>	<b>59</b>
<b>9</b>	<b>Přehled literatury a použitých zdrojů .....</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>68</b>
<b>11</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>71</b>
<b>12</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>72</b>

---

# 1 ÚVOD

---

Písečné duny představují důležitou součást pobřežních oblastí. Tvoří jediné rozhraní mezi oceánskou a pevninskou sférou, chrání půdu před erozí a ničivými účinky bouří (Finlayson et al., 2005). Pobřežní ekosystémy představují jednak vhodné habitaty pro druhy vázané na přímořské klima, turistické cíle, ale také velice atraktivní lokality pro trvalé bydlení. Podle Collet et Engelbert (2013) žije minimálně 1/3 obyvatelstva v mediteránních oblastech v blízkosti pobřeží. Přírozené pobřežní ekosystémy jsou stále více ovlivňovány urbanizací, písečné duny jsou antropogenně přeměňovány na turistické lokality. V rámci transformace písečných dun je zpravidla zvlněný povrch urovnán, dále je odstraněn svrchní vegetační kryt a následně je uměle vytvořená pláž pravidelně čištěna od antropogenního znečištění. Tyto zásahy přinášejí z hlediska ekologie značné ztráty. Mezi nejcitelnější zaznamenané škody patří snížení biodiverzity a odolnosti pobřežních dun (Finlayson et al., 2005). Tato práce se zabývá monitoringem změn v pobřežních ekosystémech pomocí metod dálkového průzkumu Země (dále jen DPZ).

DPZ je primárním zdrojem pro získávání prostorových dat. DPZ zpravidla využívá elektromagnetického záření, které prochází atmosférou a interaguje se zemským povrchem. Tento proces přináší řadu informací, například o vzdálenosti mezi objekty (senzorem vysílajícím záření a objektem na zemském povrchu), o směru, intenzitě, vlnové délce a použité polarizaci elektromagnetického záření. Toto měření poskytuje jednak informace o pozici daného objektu, ale přináší také poznatky o vlastnostech daného povrchu (Campbell et Wynne, 2011). V současnosti DPZ poskytuje široké spektrum dat, kosmický průmysl v posledním desetiletí enormně zefektivnil snímání zemského povrchu, v roce 2013 vypustila NASA (Národní úřad pro letectví a vesmír) společně s americkým letectvem 29 satelitů v rámci jedné mise. O rok později ROSKOSMOS (Státní korporace pro kosmické aktivity se sídlem v Rusku) vyslal do vesmíru jedinou raketu DNEPR nesoucí do vesmíru 37 satelitů, tento rekord byl překonán indickou raketou PSLV-C37V, kdy bylo vysláno na heliosynchronní oběžnou dráhu 104 satelitů. V roce 2015 byla opětovně použita raketa z programu SpaceX. Tento vývoj naznačuje, že se snímání Země stává méně finančně náročnou záležitostí a bude možné velice efektivně mapovat rozsáhlé území s vysokým temporálním a prostorovým rozlišením (Zhu et al., 2018).

---

## 2 CÍLE PRÁCE

---

Hlavním cílem diplomové práce je ověření možnosti použití dálkového průzkumu Země za účelem monitoringu pobřežních ekosystémů. Práce klade důraz na monitoring pláží v mediteránním klimatu za využití konstelace satelitů Sentinel-1A a Sentinel-1B (dále jen Sentinel-1) poskytujících radarové snímky a za použití konstelace satelitů Sentinel2-A a Sentinel2-B (dále jen Sentinel-2) produkujících pasivní optické snímky. Mezi dílčí cíle práce patří:

- i) Výběr vhodných pobřežních lokalit, které budou reprezentovat čištěné i nečištěné pláže
- ii) Využití fuzzy klasifikačních algoritmů optických dat za účelem stanovení procentuálního zastoupení jednotlivých kategorií (*písek, vegetace, sopečný prach a popel, voda a chybová data*) na plážích
- iii) Ověření konceptu využití mikrovlnného záření satelitu Sentinelu-1 pro monitoring stavu přirozených a umělých pláží

---

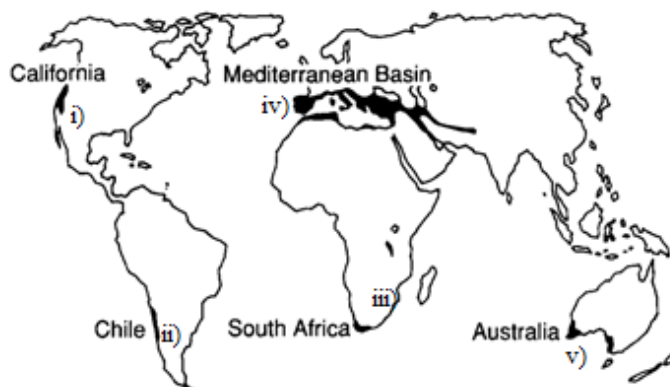
## 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

---

### 3.1 MEDITERÁNNÍ KLIMA

Hlavních pět oblastí mediteránního klimatu, zobrazených na obrázku č. 1, se nachází v Kalifornii (i), Chile (ii), jižní části Afriky (iii), oblasti kolem Středoziemního moře (iv) a v jižní části Austrálie (v). Pro mediteránní klima jsou typické teplé a suché letní dny, v zimním období vlhké a slabě se projevující chladné klima. Příznivé klimatické podmínky v těchto oblastech lákají tisíce turistů v letním období (Cowling et al., 1996).

Obrázek 1: Oblasti mediteránního klimatu (Cowling et al. 1996)



Více jak 30 % obyvatelstva světa mediteránním klimatu žije v blízkosti pobřeží (Collet et Engelbert, 2013). Počet obyvatel v těsné blízkosti oceánu extrémně narůstá, pobřeží se tím pádem stává více zastavěné. V mediteránním klimatu je z celkových 46 tis. km pobřeží 25 tis. km urbanizováno, převážná část pobřeží je intenzivně turisticky využívána (Collet et Engelbert, 2013). Podle predikce dosáhne v roce 2030 turistická návštěvnost mediteránních oblastí až 500 miliónů osob za rok, zájem turistů by mohl mít devastující vliv na ekologii pobřeží. Mezi největší hrozby patří ztráta přirozené biodiverzity, zvýšené emise oxidu uhličitého, negativní vliv na mořský ekosystém a zvýšená míra eroze (Finlayson et al. 2005). Až ¼ mediteránního pobřeží v EU je zasažena erozí, 15 tis. km pobřeží je silně erodováno a 150 km je přeměněno na umělé pláže zbavené téměř veškeré vegetace, které slouží pro turistické účely (Finlayson et al., 2005). Eroze pobřeží způsobuje nestabilní podloží. Při klimatických změnách např. silných bouřkách dochází ke zvyšování mořské hladiny a tím pádem k riziku zaplavení přímořských oblastí.

## 3.2 POBŘEŽNÍ EKOSYSTÉMY

Pobřežní písečné duny představují důležitou součást ekosystému, jsou rozhraním mezi pevninskou a oceánskou sférou. Představují jedinou bariéru, která zajišťuje ochranu před destrukcí pobřeží způsobenou záplavami, bouřkami a hurikány (Bazzichetto et al., 2016). Zajišťují koloběh živin a slouží pro rekreační účely (Finlayson et al., 2005). Pobřežní ekosystémy patří mezi nejohroženější ekologické systémy na světě, ale zároveň zahrnují nejvíce well-being faktorů (faktory osobní pohody). Degradace písečných dun má primární vliv na kvalitu pobřežního ekosystému zahrnující slané mokřady, mangrovníky, mořské travnaté louky.

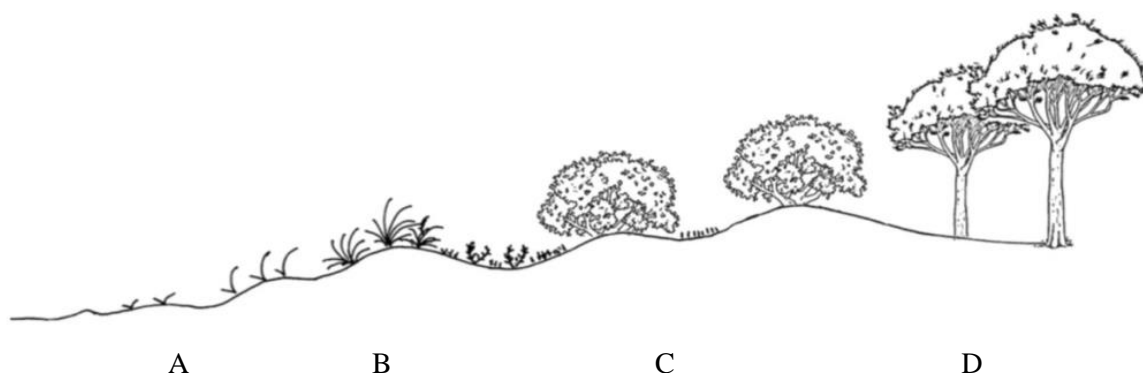
Mořské travnaté ekosystémy (seagrass ecosystems) v pobřežních oblastech jsou momentálně poškozeny nebo zcela zničeny antropogenní činností. Mezi hlavní devastující činnosti člověka lze zařadit mechanické čištění pobřeží, rozšiřování písečných pláží pro turistické účely, eutrofizaci vod, přesolování půdy způsobené redukcí přítoků sladké vody, změny habitatu, klimatické změny. Největší úbytek travnatých mořských habitatů byl lokalizován v mediteránním klimatu, na pobřeží Floridy, v části Austrálie, jihovýchodní Asii a v Karibiku (Finlayson et al., 2005).

Vlivem degradace pobřežních ekosystémů dochází k narušení struktury korálových útesů, významně je zhoršená kvalita vodních toků (pitné vody). Negativní sekundární dopady na pobřežní oblasti jsou: přílišné zatížení půdy dusíkem (nadměrné hnojení v zemědělství), nepřiměřeně velká sklizeň zatěžující půdu, změny v teplotním režimu vod a rozšíření invazivních druhů. Za těmito změnami stojí narůstající populace a zvýšená ekonomická aktivita. Turistický ruch je hlavním zdrojem ekonomického zisku přímořských států. Pobřežní populace se v létě může zvýšit o 20 %, v nejnavštěvovanějších lokalitách až o 320 %. Enormně zvýšené počty turistů mají negativní vliv na ekologii pobřežních ekosystémů. Polovina hlavních světových měst leží v okruhu 50 km od pobřeží, populace v pobřežních lokalitách je 2,6 x větší než ve vnitrozemských lokalitách (Finlayson et al., 2005).

### 3.3 TOPOGRAFICKÉ USPOŘÁDÁNÍ PŘIROZENÝCH PLÁŽÍ

Přítomnost vegetace představuje důležitou součást pro stabilizaci ekosystému, zabraňuje transportu písku a erozi pobřeží. Topografie dunových přesypů zároveň vymezuje podmínky pro růst vegetace (Bazzichetto et al., 2016). Přirozené pláže jsou uspořádány do série dunových přesypů, na obrázku č. 2 jsou popsány jednotlivé kategorie s typickým výskytem druhů, které jsou vázány na pobřežní ekosystémy (Drius et al., 2019).

Obrázek 2: Typické uspořádání dunových přesypů (Drius et al. 2019)



**A:** Pohyblivé duny v prvotním stádiu. Uspořádání proměnlivého písečného přesypu s výskytem *Elymus farctus*. Přesypy jsou ve tvaru drobných vlnek. V tomto prostředí žijí převážně pionýrské druhy.

**B:** Vyšší pohyblivé duny podél pobřeží se zastoupením trvalých bylin. Dominantně se zde vyskytuje *Ammophilla arenaria* (vytváří tzv. „bílé duny“).

**C:** Zpevněné pobřežní duny s výskytem *Juniperus oxycedrus subsp. Macrocarpa* a *Juniperus communis* (vytváří tzv. „šedé duny“). Veliké zastoupení jalovců (jehličnaté druhy), keřovitého nebo stromovitého menšího vzrůstu. Původem pocházejí jalovce ze středomoří a rostou do pyramidových tvarů.

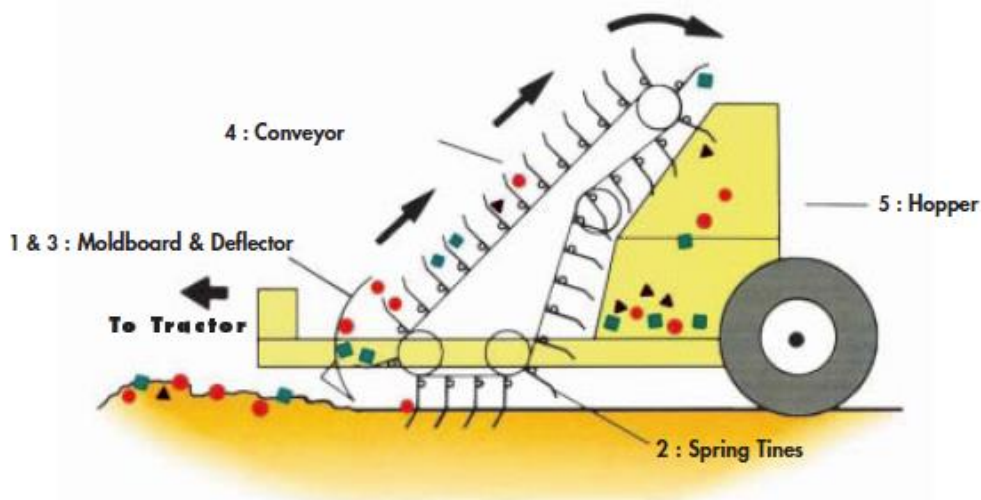
**D:** Zpevněné duny s lesním zastoupením s výskytem středomořských a atlantických teplomilných borovic: *Pinus halepensis*, *Pinus pinea* a *Pinus pinaster* (Community, 2010).

### 3.4 ČIŠTĚNÍ PLÁŽÍ

Pobřežní lokality lákají ročně milióny turistů, kteří s sebou přinášejí benefity pro ekonomiku země, ale na druhou stranu způsobují škodlivé zásahy do životního prostředí. Cestovní ruch je hlavním profitujícím odvětvím v pobřežních státech. Turisté mají na výběr ze široké škály destinací, proto je vyvíjen veliký tlak na estetickou stránku písečných pláží. Pohozené odpadky a zarostlé pláže představují jeden z hlavních důvodů k nenavštívení pláže (Ryan et al., 2014). Pohozené smetí navozuje pro turisty pocit nezdravého prostředí. Nečištěné pláže ztrácejí rekreační potenciál a tím mohou snížit pozitivní vliv na lokální ekonomiku a mají negativní dopad na kvalitu života místních obyvatel (Portman et Brennan, 2017). Williams et Micallef (2009) zhodnotili ve svém sociálním výzkumu preference turistů a kritéria při výběru destinace. Mezi nejzásadnější faktory byly zařazeny: absence odpadků, bezpečí, dobrá kvalita vody, vybavenost a scenérie lokality, přičemž čisté pláže bez odpadků jsou nejzásadnějším kritériem (Williams et Micallef, 2009). Uklízení pláží představuje základní koncept managementu pobřežních ekosystémů, v oblasti Pontal do Paraná v Brazílii utratí ročně 200 000 US \$ za čištění pláže o délce 25 km v pravidelném cyklu čištění 53 dní (Krelling et al., 2017). Ve Velké Británii utratí ročně za úklid odpadků z pláží 18 miliónů €, v Nizozemí a Belgii představuje průměrná roční částka za čištění pláží 10,4 miliónů € (Mouat et al., 2011).

Pobřeží lze zbavit nežádoucích odpadků a) mechanickým čištěním pomocí speciálně upravených kolových traktorů s bránami (obrázek č. 3), b) šetrnějším ručním sběrem, který je finančně a časově nákladnější (Gheskiere et al., 2006). Při mechanickém čištění pobřeží je písek zbaven jednak antropogenního znečištění, ale také přírodních složek (mořská tráva a řasy).

Obrázek 3: Mechanický čištění odpadků pomocí speciálně upravených brán (zdroj: URL1)



Při mechanickém čištění pobřeží dochází k odstranění svrchního krytu pláže včetně řas a rostlin, například druhu posidonie mořské (*Posidonia oceanica*) a jednoděložných rostlin rodu vocha (*Zostera*). Zmiňované druhy představují pro mnoho živočichů zdroj obživy a habitat (Dugan et al., 2013). Fauna využívá pobřežní kryt jako své útočiště a zdroj obživy. Meiofauna využívá pobřeží jako rodiště svých mláďat. Odstraněním svrchního pobřežního krytu dochází ke ztrátě hodnotných živin a k ovlivnění potravinového řetězce, a to vše vede ke ztrátě druhů vázaných na pobřežní ekosystémy (Del Vecchio et al., 2017). Mechanické čištění snižuje objem biomasy, zapříčiňuje absenci bakterií, meiofauny a makrofauny. Reakce organismů na změny prostředí jsou různé, druhy s širokou ekologickou valencí jsou schopné akceptovat změny a přizpůsobit se pozměněným podmínkám (Fanini et al., 2005). Malm et al. (2004) uvádí fakt, že mírně vyčištěné pláže vykazují podobnou úroveň biomasy jako pláže nečištěné. Nejvyšší denzita kraba ghost burrow (*Ocypode ceratophthalmus*) byla zaznamenána na plážích s mechanickým čištěním v intenzitě 3x týdně, naopak nejnižší denzita byla lokalizována na denně upravovaných plážích.

Je velice obtížné dosáhnout kompromisu mezi ekologickou stránkou a ekonomickým ziskem. Dokud bude ekonomický zisk z plážového turismu prioritním, bude těžké zavádět strategická opatření k ekologické ochraně pobřeží. Existují doporučující studie, které přinášejí do problematiky kompromis. V zájmu ochrany pobřežních ekosystémů a současného zachování ekonomického zisku z turistického ruchu je doporučeno pláž rozdělit na dva celky, přičemž jeden pás lze



mechanicky čistit pro turistické účely, zatímco druhý pás je ponechán bez zásahů. To umožňuje druhům migrovat z narušené oblasti do bezzásahového pásu, kde je zachován ekologický potenciál a druhy zde mohou nalézt znovu habitat. Tento způsob je testován na pobřeží ve Švédsku, kde je předmětem výzkumu nalezení vhodné šířky pásu a frekvence střídání (Griffin et al. 2018). Čištění pláží není jediným degradujícím procesem pobřežních ekosystémů, mezi další antropogenní činnosti ovlivňující přirozené písčité pláže patří: rozšiřování vzniklých rekreačních objektů, umělé zpevnění pobřeží a noční osvětlení (Zielinski et al., 2019).

### **3.5 DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ**

Dálkový průzkum země je dle definice Halounové et Pavelky (2008) věda o umění získávat užitečné informace o objektech, plochách či jevech prostřednictvím dat měřených na zařízeních, která s těmito zkoumanými objekty, plochami ani jevy nejsou v přímém kontaktu (Halounová et Pavelka, 2008).

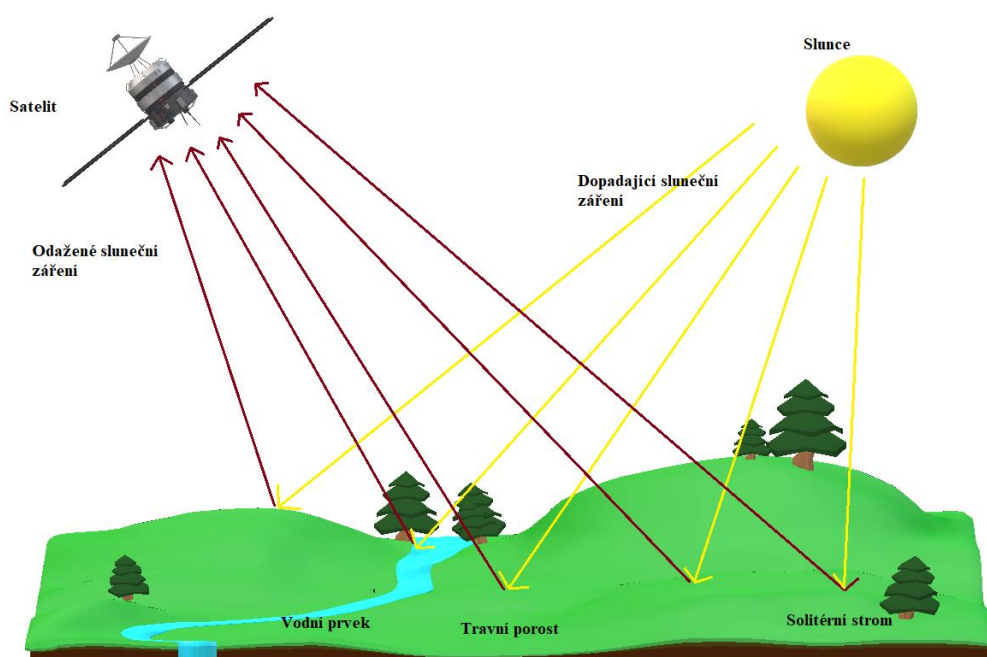
Přenos informací je zpravidla zprostředkován elektromagnetickým zářením. Interakce elektromagnetického záření s povrchem Země přináší informace o vzdálenosti mezi senzorem a snímaným objektem, ale také o orientaci, intenzitě, vlnové délce a polarizaci elektromagnetického záření. Měření poskytuje polohové informace o objektech a vlastnostech povrchových materiálů snímaného území (Campbell et Wynne, 2011). Satelit sloužící pro DPZ je opatřen jedním nebo více snímacími přístroji, které shromažďují informace o zemském povrchu. Podle zdroje elektromagnetického záření lze rozdělit DPZ na aktivní a pasivní systémy.

Aktivní systémy mají vlastní zdroj vysílaného záření, pasivní systémy používají jako zdroj elektromagnetického záření Slunce a Zemi (Reeves, 1979). Dále lze dělit DPZ podle typu oběžné dráhy satelitu: a) geostacionární dráha: satelit zpravidla umístěn nad rovníkem, perioda rotace je 24 hodin b) rovníková dráha: satelit obíhající kolem Země při nízkém sklonu, c) heliosynchronní dráha: satelit snímá dané místo na Zemi vždy ve stejný sluneční čas, satelity obíhající kolem Země s velkým úhlem sklonu (Zhu et al., 2018).

### 3.5.1 PASIVNÍ SYSTÉMY

Senzory bez vlastního zdroje záření, jako energie využívají elektromagnetické záření (Slunce), které prochází atmosférou a následně interaguje se zemským povrchem (obrázek č. 4). Pasivní systémy lze kategorizovat podle optického spektra na: panchromatické snímky (1 kanál), multispektrální snímky (3-10 kanálů), superspektrální snímky (10-50 snímků) a hyperspektrální snímky (50-300 kanálů) (Zhu et al., 2018). Příkladem satelitů poskytujících optická data jsou Sentinel-2, Landsat, SPOT, EROS, WorldView (Fajardo et al., 2016).

Obrázek 4: Stručné schéma znázorňující princip optického snímání



Optické snímky jsou zpravidla s menším topografickým zkreslením než snímky radarové a v malé míře se zde projeví vliv drsnosti povrchu. Nevýhodou je závislost na slunečním svitu a počasí. K výraznému zkreslení dochází zejména při vysoké oblačnosti a dešti, snímky je potřeba upravit (provést atmosférickou korekci). Pasivní systémy nedokáží měřit vzdálenosti a nelze snímat pod povrchem (Joshi et al. 2016). Výhodou při práci s optickými daty je snadnější porozumění při zpracování dat, které přináší jednodušší vizuální interpretace výsledků.

Optické snímky lze klasifikovat několika způsoby, obecně během klasifikace dochází k přiřazení informace o sémantickém znaku každému pixelu (charakterizuje jednotlivé klasifikační třídy). Klasifikace zpravidla probíhá s předpokladem, že jednomu pixelu bude přiřazen pouze jeden sémantický znak. Nicméně tento způsob

klasifikace může být nedostatečný při 1) práci se snímky s nízkým prostorovým rozlišením, 2) v členitém terénu, 3) na lokalitách s vysokou druhovou pestrostí (prales) (Bovolo et al., 2010). Pro dynamicky se vyvíjející ekosystémy je vhodnější zvolit fuzzy klasifikaci, která probíhá pod úrovní jednoho pixelu (subpixelová úroveň). Příkladem fuzzy klasifikace je metoda Spectral unmixing, která pracuje se známým počtem klasifikačních tříd a s jejich spektrálními charakteristikami. U této metody je důležité přesné vymezení referenčních tříd (endmembers) (Bovolo et al., 2010).

### 3.5.2 SENTINEL-2

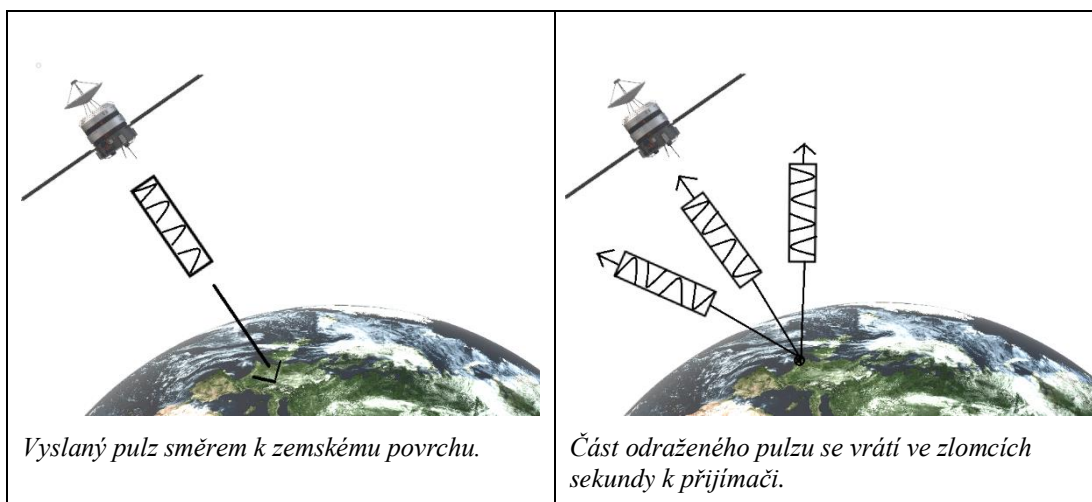
V provozu jsou dva satelity s životností 15 let, Sentinel-2A byl vypuštěn 23. 6. 2015 a Sentinel-2B byl vyslán na oběžnou dráhu 7. 3. 2017. Oba satelity se pohybují po heliosynchronní oběžné dráze v nadmořské výšce 786 km s fázovým posunem 180 °. Konstelace dvou satelitů poskytuje temporální rozlišení 5 dní na rovníku. Sentinel-2 je vybaven senzorem MSI (Multi Spectral Instrument) s 13 kanály (ESA ©2000-2020). Sentinel-2 poskytuje systematický sběr dat zemských a pobřežních lokalit od 56 ° do 84 ° zeměpisné šířky, snímány jsou i ostrovy: 1) o rozloze větší než 100 km<sup>2</sup>, 2) spadající pod Evropskou unii a 3) do vzdálenosti 20 km od pobřeží. Hlavními cíli mise Sentinel-2 jsou: 1) poskytnutí kontinuálních multispektrálních dat s vysokým rozlišením, 2) dat s vysokou frekvencí 3) navázání na snímky z mise SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre), 4) možnost pozorování změn krajinného pokryvu, určování změn v krajině (ESA ©2000-2020). Dle poznatků Drusch et al. (2012) slouží snímky Sentinelu-2 k monitoringu zemského povrchu, k možné predikci potenciálního nebezpečí a pro plánování bezpečnostních opatření.

## 3.6 RADAR

Radar (z anglického výrazu Radio Detection and Ranging) je aktivní senzor s vlastním zdrojem záření, který zaručuje nezávislost na denní době. Radarová data lze zařadit do mikrovlnného záření o vlnové délce mezi 0,1 mm až 1 m ( $f = 300 \text{ MHz} - 300 \text{ GHz}$ ). Radar vysílá signál tzv. pulzy směrem k zemskému povrchu, pulz následně interaguje se zemským povrchem a část odraženého zpětného rozptylu z vyslaného pulzu je zaznamenána radarovým přijímačem (obrázek č. 5).

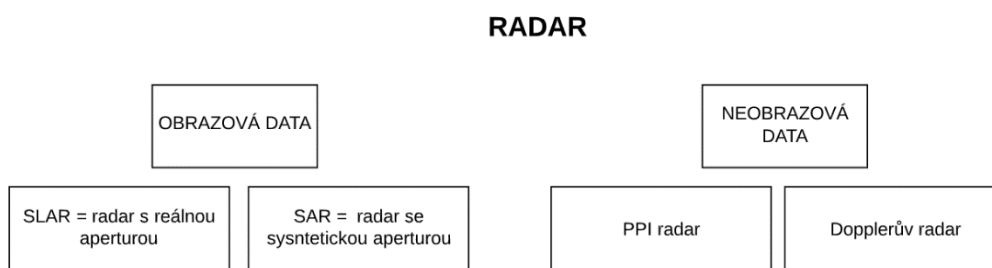
Měření pomocí radarové aparatury probíhá vždy pod šikmým úhlem. Mezi jednotlivými pulzy je určitá časová pauza, pulzy jsou vysílány ve stanovené periodě. Vyslané pulzy jsou schopné pronikat skrz atmosférické jevy – mlhu, mraky, smog a slabý déšť. Radarové systémy lze umístit na zemský povrch, letadlový či družicový nosič (Torres et al., 2012).

Obrázek 5: Princip radarového snímání



Radarová data poskytují obrazová a neobrazová data. Stručný přehled radarových dat je zobrazen na obrázku č. 6. Příkladem neobrazových dat je Dopplerův radar měřící rychlost vozidel a PPI radar (Plan position indicator) poskytující rovinný pohled na objekty nacházející se v dosahu antény. PPI radar lze použít pro meteorologické účely, monitoring vzdušného prostoru a navigační služby. Data dosahují nízké kvality, proto se pro účely DPZ nevyužívá.

Obrázek 6: Přehled radarových dat



Pomocí radaru lze snímat Zemi v denních i nočních hodinách, za každého počasí (radar má nízkou citlivost na oblačnost). Zároveň je radar citlivý na obsah vody, drsnost povrchu a umožňuje měřit vzdálenosti mezi objekty (interferometrií) (Joshi et al., 2016). Radar je schopný penetrace, tzn. procházet skrz zemský povrch (Fajardo et al., 2016). K vyšší penetraci dochází zpravidla při: a) delší vlnové délce pulzu, b) nižšímu úhlu, c) nízké vlhkosti zemského povrchu. Pulz, který je cross polarizovaný (VH/HV) má zpravidla nižší schopnost penetrace (Solbø et Solheim, 2005). Nevýhodou radaru je obtížnější komplexní interakce, problematická interpretace výsledků. Snímky je nutné před samotnou analýzou dat předzpracovat, aby došlo k minimalizaci vlivu topografického zkreslení.

### **Měření zpětného odrazu**

Hodnota zpětného rozptylu závisí na vnějších a vnitřních faktorech, mezi vnější faktory ovlivňující hodnotu zpětného rozptylu řadíme:

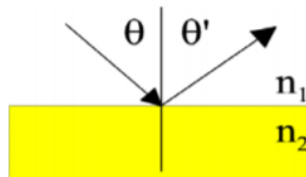
- drsnost povrchu
- dielektrické vlastnosti, které jsou ovlivněny především vlhkostí povrchu (objekty s vyšším obsahem vody reflektují více záření, výjimkou je vodní hladina)
- topografické uspořádání – orientace svahů

mezi vnitřní faktory, které souvisí s charakteristickými vlastnosti systému, řadíme:

- vlnovou délku mikrovlnného záření
- polarizaci
- azimut dopadajícího radarového pulzu (orientace ke snímanému objektu)
- úhel dopadu (pohledový úhel radaru) (Prajapati et al., 2016).

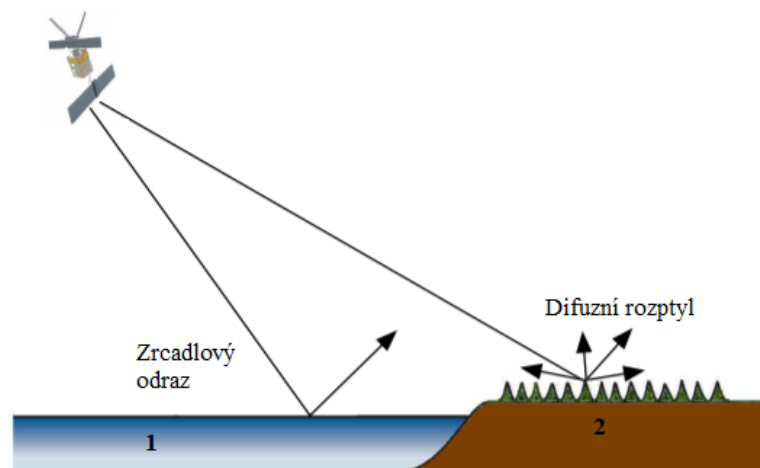
Všechny typy zemských objektů mají různou míru drsnosti, jejíž rozpoznávání záleží na použitém měřítku. Při vyšší drsnosti povrchu, dochází k eliminaci zrcadlového odrazu a výsledná zaznamenaná hodnota zpětného rozptylu je vyšší (Kornelsen et Coulibaly, 2013). Na obrázku č. 7 je znázorněno schéma odrazu od dokonale hladkého povrchu.

Obrázek 7: Fresnelova odrazivost dokonale hladkých povrchů (Kornelsen et Coulibaly, 2013)



Hladký povrch je definován následujícím vzorcem:  $h < \frac{\lambda}{8 \cdot \cos\theta}$ , pro drsný povrch platí následující vztah:  $h > \frac{\lambda}{8 \cdot \cos\theta}$ , kde  $h$  = průměrná výška nerovností povrchu,  $\theta$  = úhel dopadu,  $\lambda$  = vlnová délka (Kornelsen et Coulibaly, 2013).

Obrázek 8: Rozptyl vyslaného pulzu a) zrcadlově, b) difuzně (Solbø et Solheim, 2005)



Vodní plochy zpravidla působí jako hladký (zrcadlový) povrch, přichozí pulzy se při interakci s vodní hladinou odrazí sice silně, ale mimo radarový přijímač. Výsledná hodnota zpětného rozptylu z vodních ploch je zpravidla nízká a plochy jsou zobrazeny v mapě tmavou barvou. Vlny na mořské hladině vyvolané větrnou činností, vytvářejí difúzní rozptyl a zvyšují hodnotu zpětného odrazu (Solbø et Solheim, 2005). Objekty, jejichž povrch působí drsným povrchem, odrazí vyslaný pulz difuzním způsobem, část odraženého pulzu se vrátí zpět ve zlomcích sekundy k radarovému přijímači (obrázek č. 8). V městském prostředí jsou objekty zpravidla složeny z betonu, skla, oceli a také svým uspořádáním vytvářejí zákoutí a rohy. V takovém prostředí je obtížné předvídat chování zpětného rozptylu, hodnota zpětného rozptylu bývá v městském prostředí zpravidla vysoká.

### 3.6.1 RADAR SE SYNTETICKOU ANTÉNOU

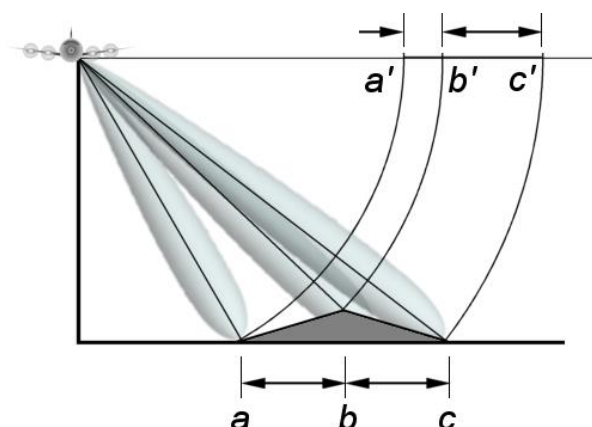
Radar se syntetickou anténou (dále jen SAR, zkratka vychází z anglického výrazu Synthetic Aperture Radar) zaznamenává hodnoty zpětného rozptylu z úzkého pruhu území kolmého na směr letu. SAR elektronicky simuluje extrémně dlouhou anténu, díky tomu je schopný získat data s vysokým prostorovým rozlišením. Jednotlivé vyslané a přijaté pulzy jsou kompletovány s daty z každého provedeného cyklu, zaznamenává se intenzita a fáze zpětného rozptylu. Po provedení několika cyklů jsou data zkombinována a je z nich vytvořen snímek (Salvi et al., 2012). Prostorové rozlišení je určeno dvěma faktory: a) příčné rozlišení = délka pulzu určuje prostorové rozlišení ve směru vyslaného pulzu b) podélné rozlišení = šířka vyslaného pulzu a horizontální vzdálenost.

Příklady radarových satelitů jsou TerraSAR-X, TanDEM-X (frekvenční pásmo X s vlnovou délkou 3,5 cm), RADARSAT-2 (frekvenční pásmo C s vlnovou délkou 6 cm). ESA má momentálně v provozu mise: Sentinel-1A, Sentinel-1B, Sentinel-3A a mezi ukončené mise řadíme ERS-1, ERS-2, Envisat (Fajardo et al., 2016).

#### Poziční chyby SAR

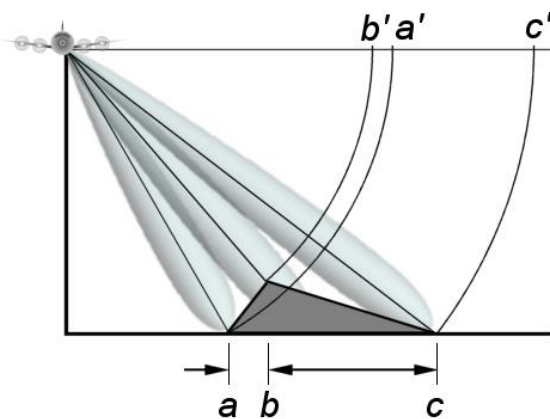
Radarové snímky mohou být zatíženy pozičními chybami, které způsobují topografické zkreslení. Nejčastější poziční chyby vznikají v členitém horském prostředí a patří mezi ně: zhuštění signálu, zpětný překryv a radarový stín. Na obrázku č. 9 je zobrazeno schéma zhuštěného signálu (foreshortening), při kterém je délka svahů, orientovaných k linii letu satelitu, výrazně zkrácena.

Obrázek 9: Příklad zhuštěného signálu, ke kterému dochází, kvůli šikmému snímání SAR, skutečná délka  $a-b$  je poté v obrazové rovině výrazně zkrácena ( $a'-b$ ) (zdroj: URL2)



Na obrázku č. 10 je znázorněna poziční chyba zpětný překryv (layover), který je způsoben převrácením zobrazovaných poloh u strmých svahů orientovaných k linii letu satelitu. Nastává v situaci, kdy radarový pulz dosáhne vrcholu (b) dříve než úpatí hory (a). Hodnoty zpětného rozptylu budou nejprve zaznamenány z místa vrcholu ( $b'$ ) a až z místa úpatí ( $a'$ ).

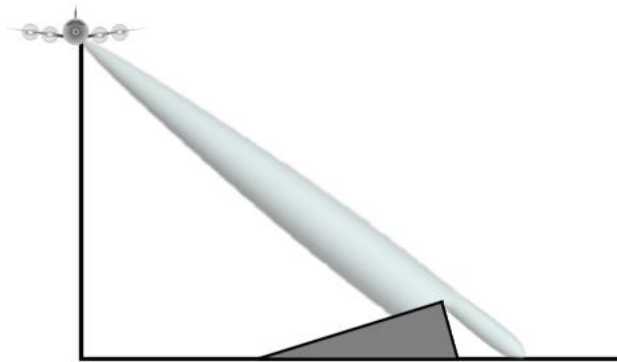
Obrázek 10: Příklad poziční chyby – zpětný překryv (zdroj: URL3)



Poziční chyba radarový stín (radar shadow) je zobrazena na obrázku č. 11, z míst nacházejících se v radarovém stínu nepřichází žádné hodnoty zpětného rozptylu. Převážně se tato chyba vyskytuje na odvrácené straně svahů od linie letu satelitu. Rozsah radarového stínu se zvětšuje s úhlem dopadu  $\theta$  (Chen et al., 2018).



Obrázek 11: Příklad poziční chyby – radarový stín (zdroj: URL4)



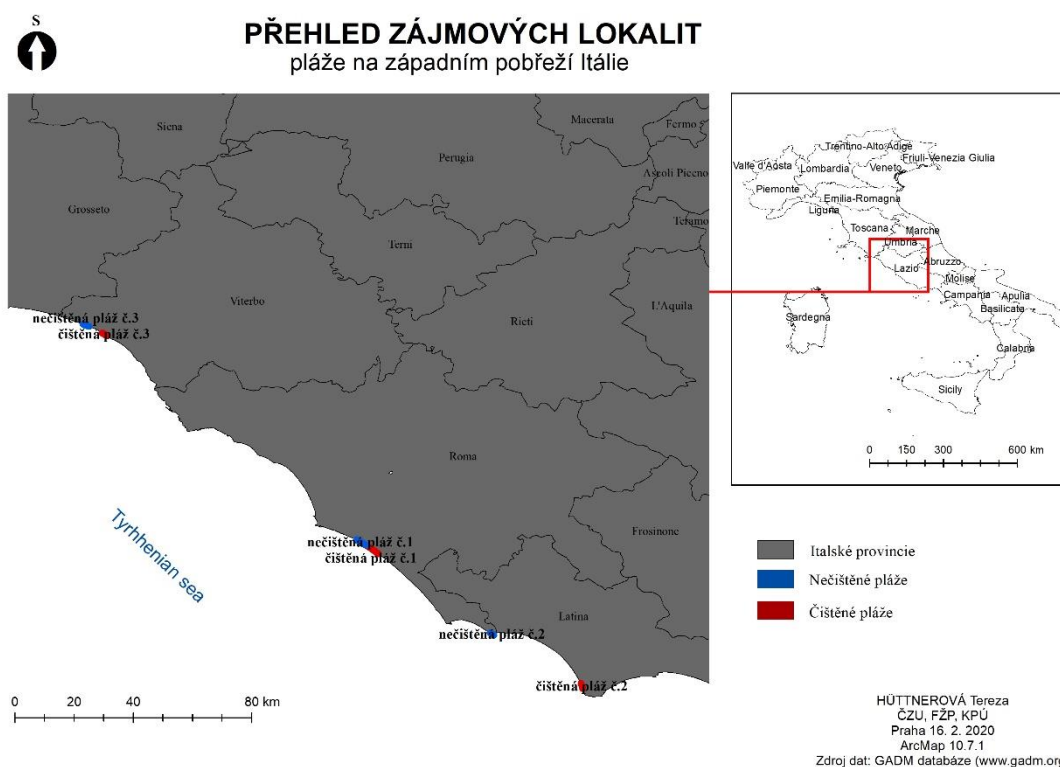
### 3.6.2 SENTINEL-1

Konstelace dvou identických satelitů (Sentinel-1A, Sentinel-1B) slouží k vylepšení SAR aplikací. Satelit je zkonstruovaný pro poskytování pravidelných – denních i nočních dat, za každého počasí s průměrným rozlišením 10 m<sup>2</sup>. Satelit Sentinel-1A byl vyslán 3. dubna 2014, Sentinel-1B byl vyslán 25. dubna 2016. Jejich životnost je odhadována na 12 let. Dráha letu je heliosynchronní, let probíhá ve výšce 693 km a inklinace představuje 98,18 stupňů. Polarizace je duální, anténa satelitu může vysílat a přijímat pulzy v horizontálním i vertikálním směru. Nad konkrétním územím je vždy použita stejná polarizace. Režim snímání je Interferometric Wide Swath Mode (IW) se šířkou záběru 250 km (Torres et al., 2012). Data Sentinelu-1 jsou zpracovány a poskytovány v několika úrovních: Level-0, Level-1, Level-2 (Torres et al., 2012). Snímky Sentinelu-1 slouží k mořským záchranným operacím, monitoringu tání a pohybu ledovců, interferometrickým aplikacím detekujícím poklesy a sesuvy země, sledování námořních plavidel a monitoringu krajinného pokryvu (Torres et al., 2012).

## 4 ZÁJMOVÉ ÚZEMÍ

Zájmové území, zobrazené na obrázku č. 12, se nachází na západním pobřeží Itálie. Dle druhé úrovně členění náleží do provincií Roma, Latina a Viterbo. Tyto provincie spadají do regionu Lazio, ve kterém žije přibližně 5 milionů obyvatel (OBP ©2019). Zájmové lokality (pláže) byly vybrány na základě jejich dostatečné šířky (minimálně 20 m). Všechny pláže se nacházejí na stejné straně pobřeží, kvůli eliminaci vlivu odlivu a přílivu. Podrobně bylo zpracováno 6 lokalit, z toho 3 čištěné a 3 nečištěné pláže. Na čištěných plážích dochází k mechanickému odstraňování svrchního krytu a povrch je pomocí brán zarovnáván a pravidelně čištěn, tyto pláže jsou přes letní sezónu turisticky hojně využívány. Nečištěné pláže mají typické dunové uspořádání, pláže nepředstavují turistický cíl.

Obrázek 12: Zájmové lokality na západním pobřeží Itálie



## 4.1 ČIŠTĚNÁ PLÁŽ Č. 1 CANCELLO

Čištěná pláž č. 1 Canello, zobrazená na obrázku č. 13, leží v sousedství chráněné oblasti Tenuta di Castelporziano, kde je lokalizovaná přítomnost endemického druhu srnce italského (*Capreolus capreolus italicus*). Tato chráněná oblast se rozpíná na rozloze 58,92 km<sup>2</sup>, které jsou součástí prezidentského panství. Pláž Canello byla v soukromém vlastnictví prezidenta Saragata, v roce 1966 byla část pláže (o délce cca 2 000 m) darována občanům Říma k bezplatnému užívání. V té době byla největší veřejnou pláží na území Itálie. V roce 1977 byl zakázán lov zvěře uvnitř chráněné oblasti a v roce 1999 byla oblast prohlášena za státní přírodní rezervaci. Pláž je přes 50 let intenzivně turisticky využívána (BUTAC ©2019). Zkoumaná pláž, zobrazená na obrázku č. 13, je dlouhá 4 364 m.

Obrázek 13: Snímek čištěné pláže č. 1 pořízený dne 1.7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro)



## 4.2 ČIŠTĚNÁ PLÁŽ Č. 2 SPIAGGIA LIBERA

Čištěná pláž č. 2 Spiaggia Libera, zobrazená na obrázku č. 14, leží v blízkosti města Sabaudia. Celá oblast kolem města Sabaudia je velmi frekventovaná, leží 95 km od města Řím a 156 km od města Neapol. V oblasti se nachází 15 km čištěných pláží. Pláže jsou označeny certifikační známkou tzv. Modrou vlajkou, kterou uděluje mezinárodní nezisková organizace Foundation for Environmental Education. Známkou je udělena na základě splnění

přísných podmínek, mezi které jsou zařazeny: čistota vody (pláž bez vyústění odpadních vod do moře), vypracovaný management odpadového hospodářství, recyklace výrobků, vybudování stezek pro pěší, vytvoření zelených ploch, environmentální osvěta turistů, monitoring a ochrana korálových útesů. V Itálii je certifikováno 342 pláží o celkové rozloze 301 318 km<sup>2</sup> ochrannou známkou Modrá vlajka (Lido et al., 2017).

Obrázek 14: Snímek čištěné pláže č. 2 pořízený dne 1.7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro)



Pobřežní duna v oblasti Sabaudia je 25 km dlouhá v charakteristicky vedeném půlměsíčovém tvaru (obrázek č. 15). Pláž je převážně tvořena jemným bílým pískem a dunovým přesypem, který místy tvoří až 27 m vysokou hradbu. Přímořská část duny (*čištěná pláž č. 2*) je vystavena silnému mořskému větru, půda je exponována mořskou solí, proto zde žijí jen halofytní rostliny. Lokality orientovány směrem do vnitrozemí jsou chráněné před mořskými větry a poskytují útočiště pro velikou škálu druhů. V létě je pláž navštěvována tisíci turisty. Nejvzácnější období z ekologické stránky je jaro, kdy zde kvetou druhy z čeledi bobovitých (*Fabaceae*) a druh silenka (*Silene*). Zkoumaná část pláže je dlouhá 1 810 m.

Pláž se rovněž nachází v lagunové oblasti tvořené čtyřmi pobřežními jezery brakického typu: Sabaudia (nazývané i Paola), Caprolace, Monaci, Fogliano. Jezera tvoří jedinečný komplex močálových ekosystémů zahrnutých do Ramsarské úmluvy, zároveň jsou vhodným habitatem pro mnoho druhů stěhovavého ptactva (Matthews, 1971).

Obrázek 15: Brakické jezero Paola oddělené od moře pobřežní dunou, součástí, které je čištěná pláž Spiaggia (zdroj: URL 5)



### 4.3 ČIŠTĚNÁ PLÁŽ Č. 3 MONTALTO MARINA

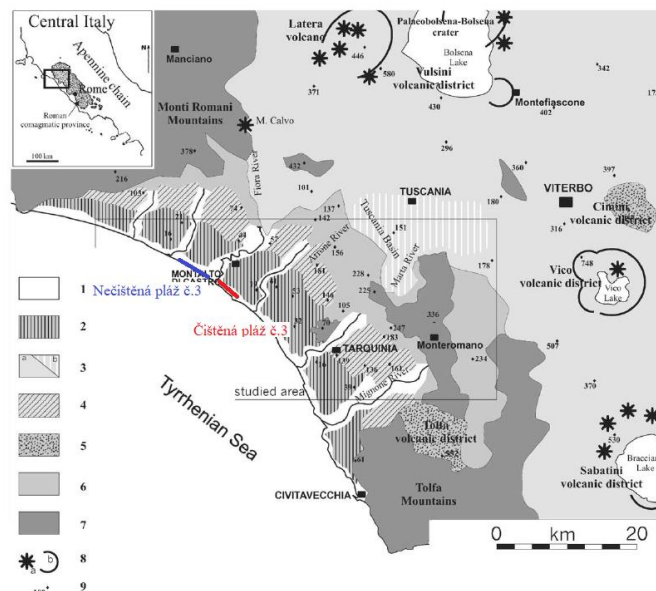
Čištěná pláž č. 3 Montalto Marina, zobrazená na obrázku č. 16, se rozpíná na délce 1 425 m. Vzdálena je 41 km od kráteru sopky Vulsiny, která dle odhadů explodovala před 3 000 lety. Explosivní sopečná erupce byla doprovázena silnými pyroklastickými proudy, zasažena byla oblast několika desítek km od hlavního kráteru sopky. Dotčeny byly pobřežní oblasti, kde se sopečný prach a popel usazoval společně s mořskými sedimenty (Barberi et Villari, 1994).

Obrázek 16: Snímek čištěné pláže č. 3 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro)



Dle vulkanologického výzkumu je oblast na obrázku č. 17 složena mořskými sedimenty z období středního Pleistocénu (zhruba před 1,806 miliony let), které byly v pozdější době obohaceny o vulkanické složky (De Rita et al., 2002). V oblasti se nachází *čištěná pláž č. 3* a *nečištěná pláž č. 3*.

Obrázek 17: Vulkanologická mapa s přehledem sopečné činnosti, upraveno autorem (De Rita et al., 2002)



#### 4.4 NEČIŠTĚNÁ PLÁŽ Č. 1

*Nečištěná pláž č. 1*, zobrazená na obrázku č. 18, se nachází v blízkosti města Internetto (vzdálena od města je 4 km). Celková délka pláže představuje 2 953 m a leží v přímém sousedství s lokalitou *čištěná pláž č. 1*, od které je oddělena vodním kanálem. Pláž spadá do chráněné oblasti o celkové rozloze 58,92 km<sup>2</sup> a je v soukromém vlastnictví italské vlády. V roce 1999 byla vyhlášena jako státní přírodní rezervace Tenuta di Castelporziano s výskytem endemického druhu srnce italského (*Capreolus capreolus italicus*) (BUTAC ©2019).

Obrázek 18: Snímek nečištěné pláže č. 1 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro)



## 4.5 NEČIŠTĚNÁ PLÁŽ Č. 2

*Nečištěná pláž č. 2*, zobrazená na obrázku č. 19, je rovinatého charakteru s bohatým keřovým a stromovým pásmem. Délka pláže je 1 281 m a celá oblast je téměř bez antropogenních zásahů. V přirozených dunách je lokalizován výskyt kamýše písečného (*Ammophila arenaria*) a líru přímořského (*Pancratium maritimum*). Z pláže vede historický kamenný most na uměle vytvořený ostrov, kde se nachází opevněná pobřežní věž Torre Astura. Pláž byla ovlivněna činností sopky Colli Albani, která je vzdálena od pláže cca 37 km. Po celkově čtyřech erupcích jsou patrné pozůstatky kalder (poslední nastala zhruba před 35 000 lety) (Freda et al., 2006).

Obrázek 19: Snímek nečištěné pláže č. 2 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro)



## 4.6 NEČIŠTĚNÁ PLÁŽ Č. 3

*Nečištěná pláž č. 3* je zobrazená na obrázku č. 20. Nachází se v těsné blízkosti tepelné elektrárny Torrevaldaliga, která zahájila v roce 2003 provoz (SIRA – ARPAT V ©2019). Pláž o celkové délce 1 781 m je s omezeným přístupem.

*Obrázek 20: Snímek nečištěné pláže č. 3 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro)*





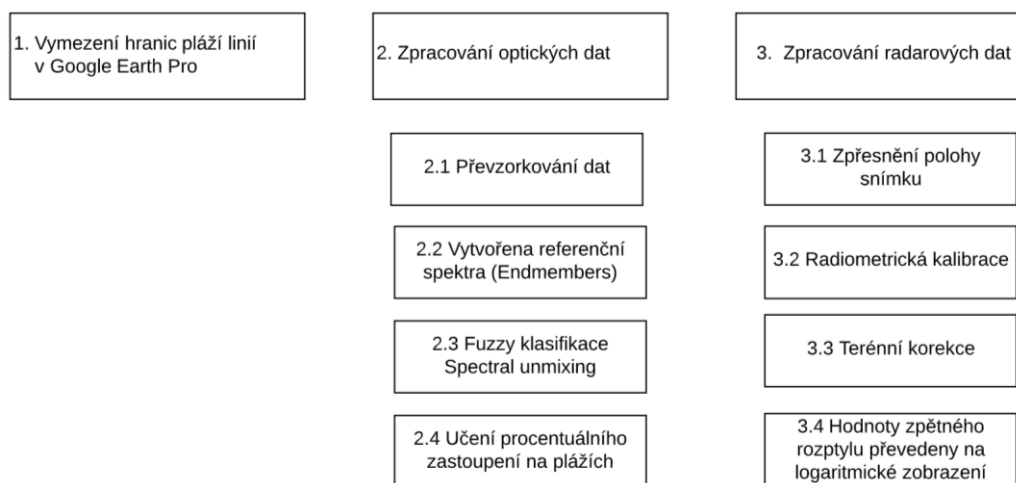
---

## 5 METODIKA

---

V rámci této kapitoly je popsán použitý software, zdroje dat a jednotlivé kroky, které byly zapotřebí ke stanovení výsledků a splnění daných cílů diplomové práce. Stručné schéma znázorňující klíčové kroky metodické části je zobrazeno na obrázku č. 21. V praktické části byla posuzována možnost použití DPZ za účelem monitoringu změn v pobřežních lokalitách, změny byly hodnoceny za pomoci radarových snímků ze Sentinelu-1 a optických snímků ze Sentinelu-2. Optické i radarové snímky jsou v prostorovém rozlišení 10 m<sup>2</sup>, proto při výběru zájmových lokalit byl dbán zřetel na dostatečnou šířku pláže.

Obrázek 21: Schéma znázorňující klíčové kroky praktické část práce



### 5.1 POUŽITÝ SOFTWARE

Během zpracovávání dat byly použity následující tři softwary: i) Google Earth Pro za účelem vymezení hranic pláží a pro určení referenčních ploch, které byly zapotřebí pro klasifikaci optických dat, ii) SNAP Desktop pro zpracování optických a radarových snímků a iii) ArcMap 10.7.1 pro statistické vyhodnocení dat a tvorbu mapových výstupů.

Software Google Earth Pro umožňuje prohlížení Země jako ze satelitu. Byl vytvořený firmou Keyhole, Inc., momentálně vlastněn portálem Google (SERC ©2018).

Software SNAP Desktop (Sentinel Application Platform) je vyvíjen společnostmi Brockmann Consult, Array Systems Computing a C-S. Software je ideální pro prohlížení, předzpracování a analýzu satelitních snímků vesmírného programu ESA. Mezi největší výhody softwaru patří velice rychlé zobrazení až gigapixelových snímků, možnost přidání WMS serverů nebo shapefilů z ArcMapu (ESA ©2000-2020).

ArcMap 10.7.1 je software od společnosti ESRI (Environmental Systems Research Institute) sloužící pro veškeré mapové úlohy včetně prostorových analýz, editaci a tvorbu nových dat (ESRI ©2019)

## 5.2 ZDROJ DAT

Za účelem monitoringu změn na nečištěných a čištěných plážích byly použity dva typy satelitních dat. Prvním typem byly optické snímky ze satelitu Sentinel-2 se senzorem MSI, druhým typem dat byly radarové snímky satelitu Sentinel-1 snímané v pásmu C za využití jednofrekvenčního radarového senzoru typu C-SAR (Synthetic Aperture Radar). Snímky obou satelitů byly získány z portálu Copernicus scihub, konkrétně prostřednictvím přístupu k datům Copernicus Open Access Hub. (Copernicus ©2020).

## 5.3 OPTICKÉ SNÍMKY SATELITU SENTINEL-2

V první části výzkumu byly použity snímky Sentinelu-2 v rámci úrovně zpracování 1 C, snímky jsou již radiometricky upraveny a geometricky zpřesněny. (ESA ©2000-2020). Upravené snímky jsou připraveny s náhledem snímku ke stažení na portálu Copernicus scihub. Snímky z optického senzoru byly použity pro řízenou klasifikaci dat. Použita byla metoda Spectral unmixing, která je dle Elmore et al. (2000) a Smith et al. (1990) vhodná pro území s řídkým vegetačním porostem. Tuto podmínku splňují všechny zájmové lokality. Jednotlivé pláže byly klasifikovány do následujících kategorií: *písek*, *vegetace*, *voda*, *sopečný prach a popel* a *chybová data*. *Chybová data* (z anglického výrazu error dat) představují jakýkoliv další materiál, který nebyl zastoupen ve vstupních kategoriích klasifikace. Důležitým kritériem při zpracování optických snímků je stav počasí, a to hlavně míra oblačnosti.

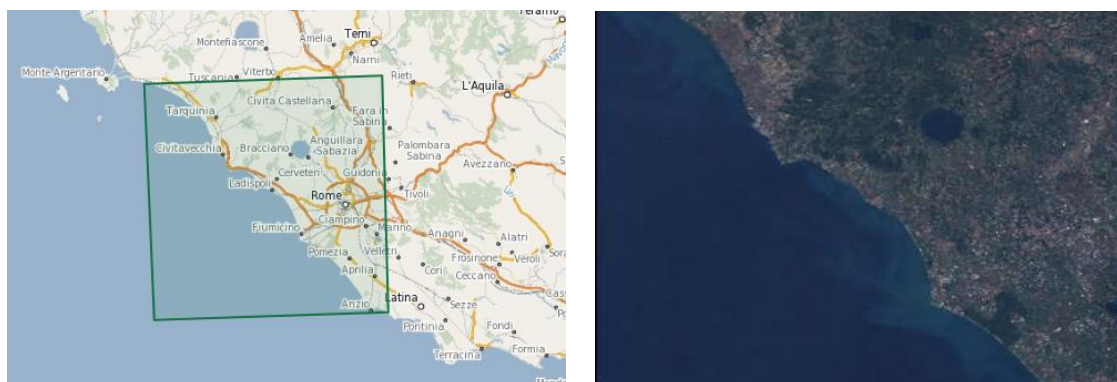
Tento údaj je dostupný před samotným stažením snímku, je obsažený v popisu produktu.

Optické snímky byly klasifikovány ve čtyřech období roku 2018 (jaro, léto, podzim, zima). Přesná data pořízení snímků s procentuální hodnotou oblačnosti jsou zobrazena v tabulce č. 1. Na obrázku č. 22 je znázorněn náhled optického snímku a zobrazení jeho pokrytí na území Itálie v prostředí Copernicus scihub.

*Tabulka 1 : Přehled použitých optických snímků s datem jejich pořízení včetně času snímání satelitem Sentinel-2.*

	2018	Obláčnost [%]
Jaro	21. 4. (čas: 10:00:29) – T32TTG	0.0
	21. 4. (čas: 10:00:29) – T33TUF	0.0
Léto	20. 7. (čas: 10:00:29) – T32TTG	0.007
	20. 7. (čas: 10:00:29) – T33TUF	0.0
Podzim	23. 10. (čas: 10:00:51) – T33TUF	3.419
	23. 10. (čas: 10:00:51) – T33TTG	0.0
Zima	10. 2. (čas: 10:01:39) – T33TTG	0.0
	10. 2. (čas: 10:01:39) – T33TUF	3.529

*Obrázek 22: Zobrazení pokrytí snímku a náhled optického snímku v prostředí Copernicus scihub (Copernicus ©2020)*

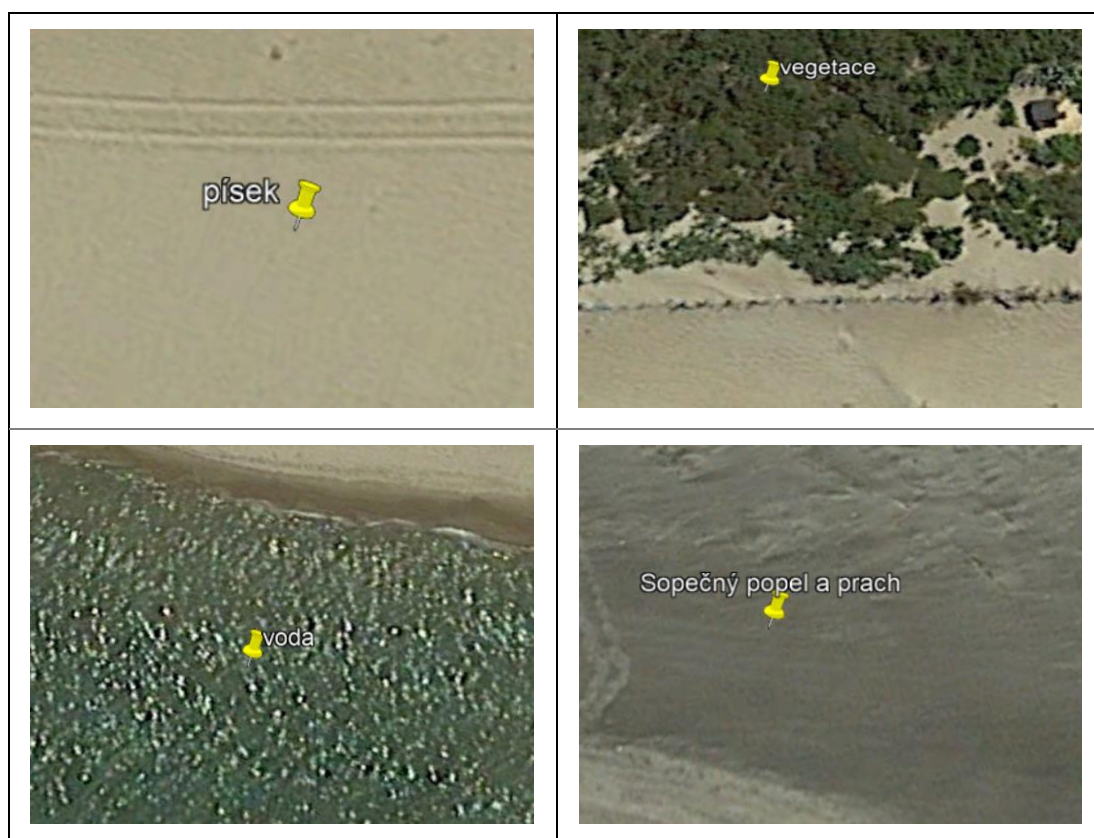


### 5.3.1 ZPRACOVÁNÍ SNÍMKŮ ZE SENTINELU-2

Optické snímky byly zpracovány za účelem zjištění poměru obsažených složek v zájmových lokalitách. V následujících krocích je popsáno zpracování optických snímků.

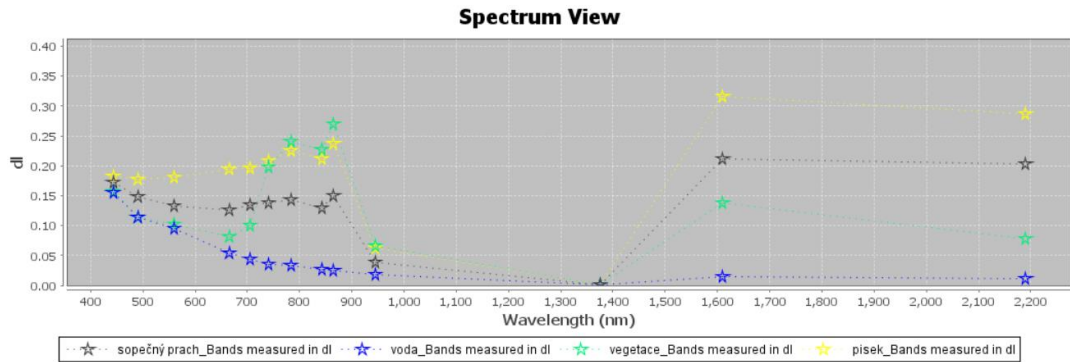
1. Data byla převzorkována na velikost 10 m x 10 m.
2. Za účelem vyšší přesnosti byla referenční spektra (endmembers) určena v softwaru Google Earth Pro a následně byla importována do softwaru SNAP pomocí funkcionality Pin manageru. Na obrázku č. 23 jsou zobrazeny určené referenční plochy v softwaru Google Earth Pro.

Obrázek 23: Vytvořená referenční spektra tzv. endmembers (zdroj: Google Earth Pro)



3. Použité snímky jsou v rozlišení 10 x 10 m, a proto bylo nejvhodnější použít klasifikační metodu Spectral unmixing. Klasifikace probíhá pod úrovní pixelu, jako příklad lze uvést, že se jeden pixel bude skládat z: 50 % písku, 25 % vegetace, 20 % vody a 5 % chybových dat (odpad, plasty). Vzniklá vrstva s chybovými daty představuje místa, která podle spektrální křivky nezapadají do žádné z určených kategorií. Na obrázku č. 24 je zobrazena spektrální křivka pro klasifikované kategorie.

Obrázek 24: Spektrální křivka pro jednotlivé kategorie – sopečný popel a prach, vodu, vegetaci a písek

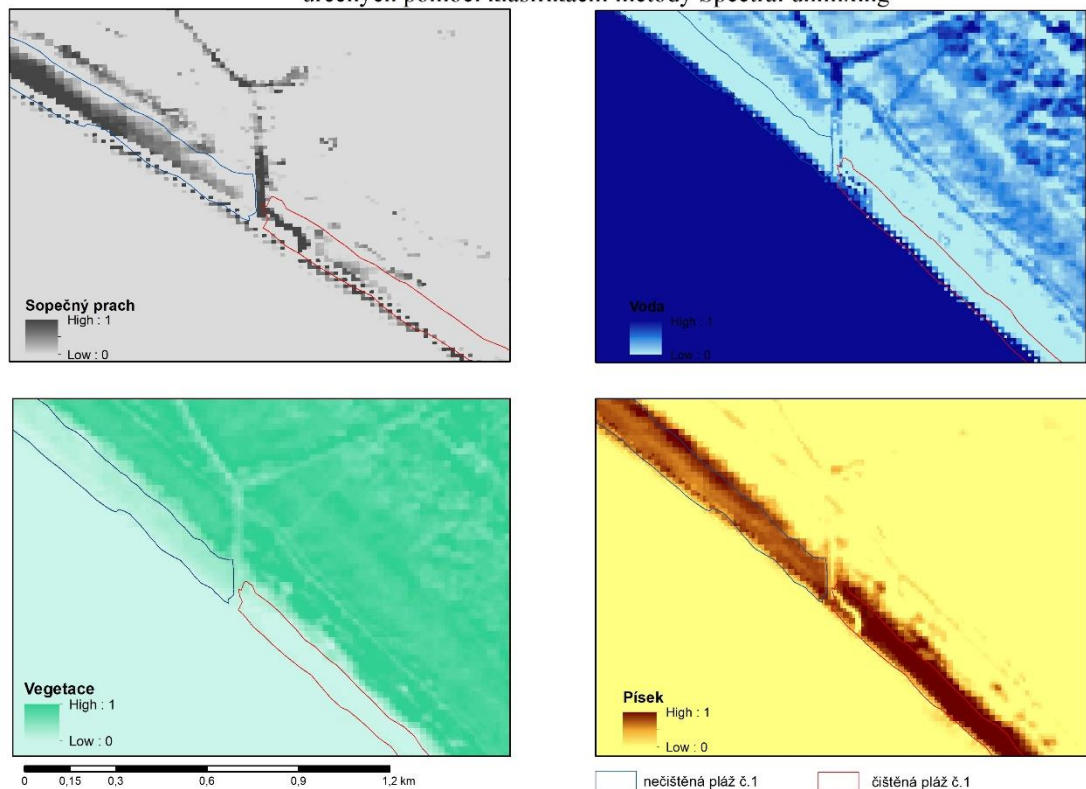


4. Klasifikovaný snímek byl uložen ve formátu BigTIFF
5. Procentuální složení bylo určeno v softwaru ArcMap pomocí funkce Zonal Statistic (zonální statistika).

Ukázka provedené klasifikace optických snímků na nečištěné pláži č. 1 a čištěné pláži č. 1 je znázorněna na obrázku č. 25. Nejintenzivnější stupně barvy představují nejvyšší zastoupení dané kategorie.

Obrázek 25: Klasifikované optické snímky (sopečná prach a popel, voda, vegetace, písek)

Zastoupení jednotlivých kategorií  
určených pomocí klasifikační metody Spectral unmixing

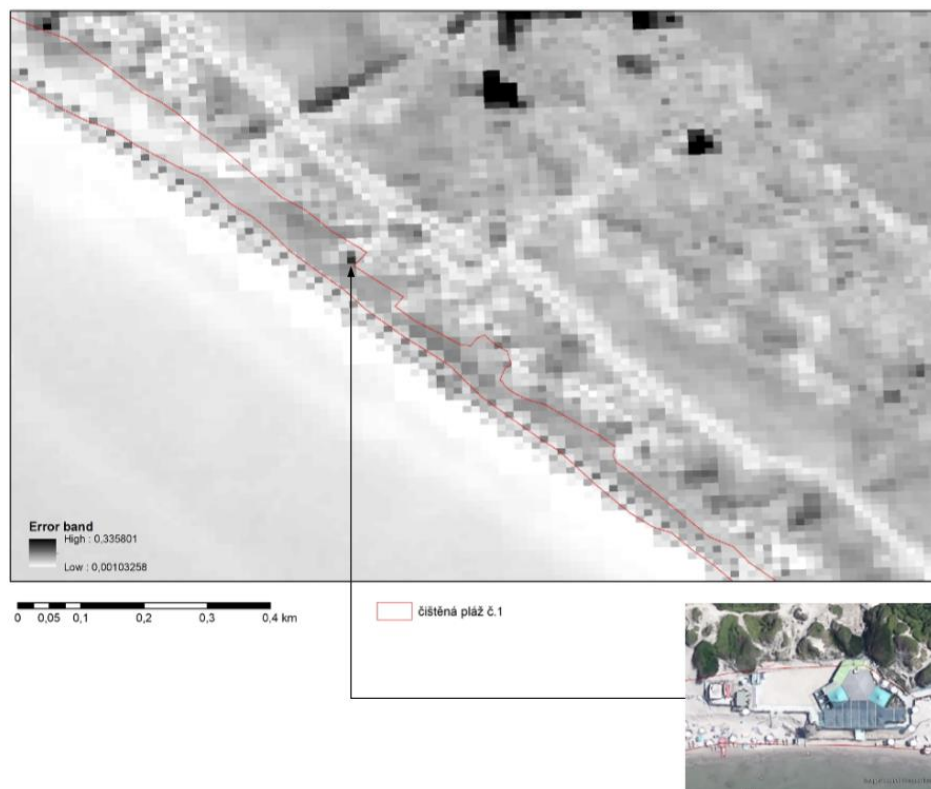


Na obrázcích č. 26 a 27 je znázorněna vrstva chybová data, která představuje místa nezapadající podle spektrální křivky do žádné z určených klasifikovaných kategorií (*vegetace, písek, sopečný prach a popel a voda*). Nejintenzivnější odstíny šedé barvy značí nejvyšší zastoupení chybových dat. Na obrázku č. 26 jsou zachyceny vyšší hodnoty za hranicí čištěné pláže č. 1. V softwaru Google Earth Pro je patrné, že se na daných místech nachází tenisový kurt, který má jiný spektrální projev než určené klasifikační kategorie. Na obrázku č. 27 je zachyceno technické zázemí čištěné pláže č. 1, který svým spektrálním projevem nezapadá do žádné z určených klasifikačních kategorií.

Obrázek 26: Snímek zobrazující chybová data



Obrázek 27: Snímek zobrazující chybová data



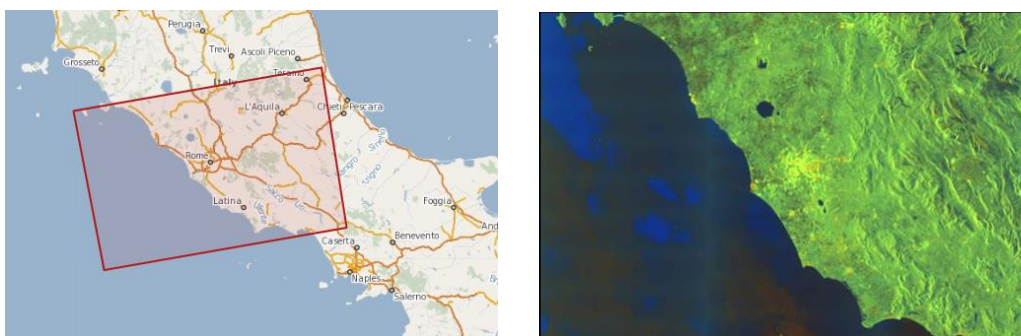
## 5.4 RADAROVÉ SNÍMKY SATELITU SENTINEL-1

Ve druhé části výzkumu byly použity radarové snímky ze Sentinelu-1 ve formátu GRD (Ground Range Detected), data jsou zpracována na základě vícenásobného snímání totožného místa a následně jsou snímky “složeny“ a georeferencovány pomocí elipsoidu WGS84. GRD snímky mají odstraněny termální šum (Torres et al., 2012). Prvotní analýza proběhla z dat za rok 2018, přičemž z každého měsíce byl použit jeden snímek. Pro možnost sledování změn v historickém vývoji byly použity snímky z roku 2014, a to konkrétně v rozmezí od října až do prosince a snímky z roku 2015 od září do prosince. Přesné datumy použitých snímků včetně časů snímání jsou zobrazeny v tabulce č. 2. Na obrázku č. 28 je znázorněn náhled radarového snímku a zobrazení jeho pokrytí na území Itálie v prostředí Copernicus scihub.

Tabulka 2 : Přehled použitých radarových snímků s datem jejich pořízení včetně času snímání satelitem Sentinel-1

	Rok 2018	Rok 2015	Rok 2014
Leden	7. 1. (čas: 17:04:50)		
Únor	6. 2. (čas: 17:05:32)		
Březen	2. 3. (čas: 17:05:32)		
Duben	1. 4. (čas: 17:04:49)		
Květen	1. 5. (čas: 17:05:33)		
Červen	6. 6. (čas: 17:05:35)		
Červenec	6. 7. (čas: 17:04:54)		
Srpen	5. 8. (čas: 17:05:39)		
Září	4. 9. (čas: 17:04:58)	26. 9. (čas: 17:05:38) 26. 9. (čas: 17:25:38)	Data nejsou dostupná.
Říjen	4. 10. (čas: 17:05:41)	20. 10. (čas: 17:05:14) 20. 10. (čas: 17:05:39)	14. 10. (čas: 17:05:27) 25. 10. (čas: 17:05:02)
Listopad	3. 11. (čas: 17:04:59)	25. 11. (čas: 17:05:14) 25. 11. (čas: 17:05:38)	14. 11. (čas: 17:05:27) 30. 11. (čas: 17:04:37)
Prosinec	3. 12. (čas: 17:05:41)	19. 12. (čas: 17:05:13) 19. 12. (čas: 17:05:38)	12. 12. (čas: 17:05:21) 12. 12. (čas: 17:05:51)

Obrázek 28: Mapa znázorňující pokrytí a náhled radarového snímku (Copernicus ©2020)

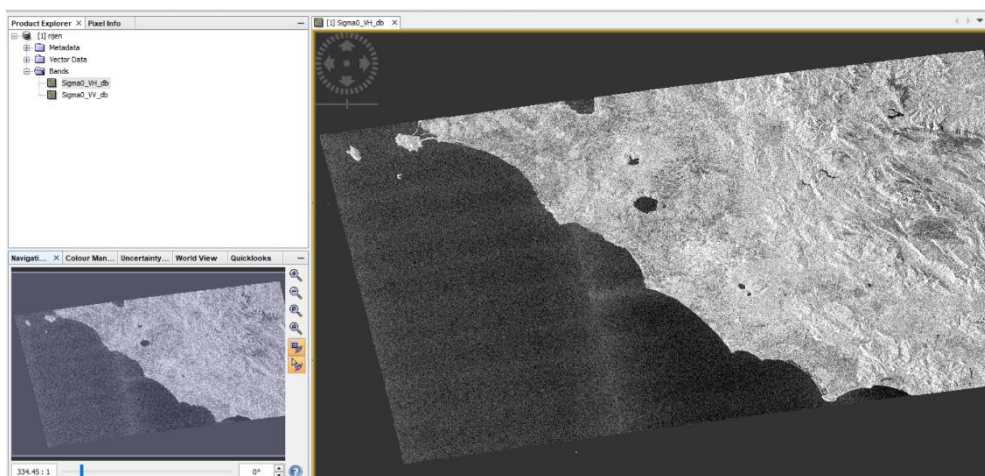


#### 5.4.1 PŘEDZPRACOVÁNÍ RADAROVÝCH SNÍMKŮ ZE SENTINELU-1

Před samotnou analýzou radarových dat bylo potřeba snímky předzpracovat v softwaru SNAP Desktop. Na obrázku č. 29 je zobrazen zpracovaný radarový snímek v jednotkách dB (Decibel).



Obrázek 29: Prostředí softwaru SNAP s nahráním radarovým snímkem



Radarové snímky byly předzpracovány ve čtyřech krocích: upřesnění polohy, radiometrická kalibrace, terénní korekce, zobrazení hodnot zpětného rozptylu v jednotkách dB.

### 1) Radar -> Apply orbit file

Informace o poloze snímání, které jsou obsaženy v metadatech daného snímku, jsou nepřesné. Přesná oběžná dráha satelitu je stanovena až po několika dnech. V prostředí SNAP lze nahrát vektorová data s informacemi o přesné dráze a rychlosti Sentinelu-1 a polohu snímku lze tedy zpřesnit.

### 2) Radar -> Radiometric -> Calibrate Polarizace

Snímky byly následně radiometricky zkalibrovány. Při kalibraci byly hodnoty pixelů transformovány do hodnot reflektance (hodnoty zpětného rozptylu). Kalibrovány byly obě polarizace snímků, tedy VV a VH. Výstupním pásmem bylo vybráno sigma0.

### 3) Radar -> Geometric -> Terrain Correction -> Range doppler terrain correction

Snímky jsou pořizovány s proměnlivým úhlem snímání (vždy větším než 0 stupňů). Měnicí se úhel zapříčiňuje určité geometrické zkreslení. Terénní korekce slouží k odstranění takto vzniklých nepřesností a snaží co nejpřesněji kopírovat reálný terén. Metoda Range doppler terrain correction dokáže odstranit geometrické zkreslení způsobené topografií (zhuštění signálu, zpětný překryv a radarový stín) za pomoci digitálního modelu terénu.

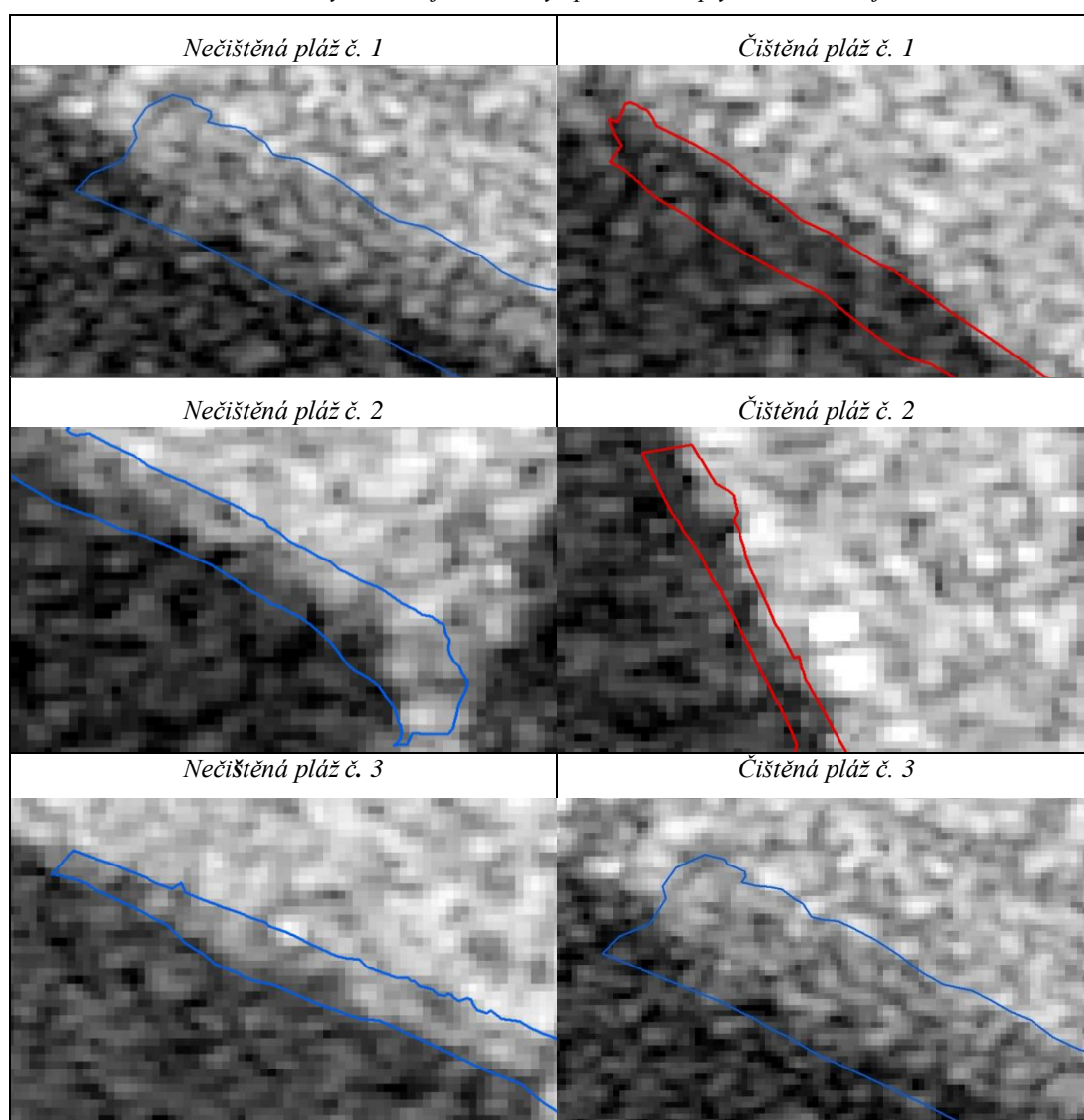
#### 4) Pásma byla převedena na hodnoty dB

Posledním krokem předzpracování snímků bylo převedení koeficientu zpětného rozptylu (backscatter) z lineárního na logaritmické zobrazení, které se uvádí v jednotkách dB (Finlayson et al., 2005).

#### 5.4.2 ANALÝZA RADAROVÝCH DAT ZE SENTINELU-1

Analýza dat byla provedena v softwaru ArcMap za pomoci zonální statistiky, která pracuje s buňkami v určité zóně (pláži). Pláže byly statisticky vyhodnoceny a určena byla průměrná hodnota, standartní odchylka, minimum, maximum, rozsah hodnot. Na obrázku č. 30 jsou zobrazeny zpracované radarové snímky znázorňující hodnoty zpětného rozptylu.

Obrázek 30: Snímky zobrazující hodnoty zpětného rozptylu v období říjen 2018



---

## 6 VÝSLEDKY

---

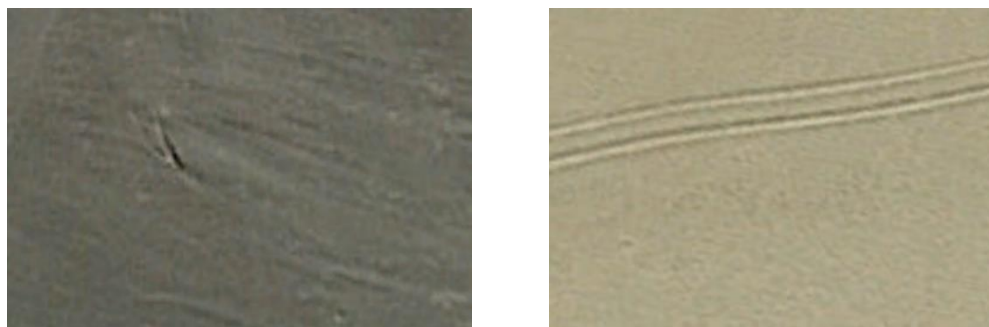
Za použití metod DPZ došlo k monitoringu změn v pobřežních lokalitách, a to na dvou rozdílných typech: i) čištěných plážích, ii) nečištěných plážích. Následující výsledky diplomové práce jsou rozčleněny dle typu použitých dat, nejprve jsou uvedeny výsledné hodnoty z optických snímků satelitu Sentinel-2 a poté radarové snímky ze satelitu Sentinel-1. Veškeré výsledné hodnoty a mapové výstupy jsou uvedeny v přílohách č. 1-19.

### 6.1 SLOŽENÍ PLÁŽÍ DLE OPTICKÝCH SNÍMKŮ

V první části jsou uvedeny výsledky z analýzy optických dat. Klasifikace snímků proběhla za účelem zjištění poměrného zastoupení složek na pláži. Snímky byly analyzovány ve čtyřech ročních obdobích za rok 2018, v každém ročním období (jaro, léto, podzim, zima) byl vybrán vhodný snímek s co nejmenší mírou oblačnosti. Procentuální vývoj kategorie *vegetace* je popsán v samostatné podkapitole.

Procentuální hodnoty vyjadřují plošnou výměru konkrétní kategorie pokryvu (*písek, sopečný prach a popel, vegetace, voda anebo chybová data*) z celkové výměry pláže. Prvotně měly být pláže kategorizovány do čtyř kategorií, avšak po prostudování dané oblasti a zjištění informací o sopečné činnosti, která v minulosti silně ovlivnila vývoj pobřežních lokalit, byla přidána ještě pátá kategorie, a to *sopečný prach a popel*. Tato kategorie neobsahuje jen fragmenty sopečného prachu a popelu, ale také rozložené zbytky naplaveného dřeva a mořských řas, které splývají se spektrálním projevem *sopečného prachu a popelu*. Na levé straně obrázku č. 31 je zobrazena struktura *nečištěné pláže č. 2* se zřetelně tmavším substrátem sopečného původu a naplaveným dřevem, na pravé straně obrázku je zobrazena *čištěná pláž č. 2* s výrazně světlejším povrchem, a tedy s vyšším zastoupením písku.

Obrázek 31: Struktura nečištěné pláže č. 2 (levý snímek) a čištěné pláže č. 2 (pravý snímek)



Přípravné práce na plážích probíhají zpravidla v jarním období, na obrázku č. 32 jsou zachycené patrné stopy po přípravných pracích na letní turistickou sezónu.

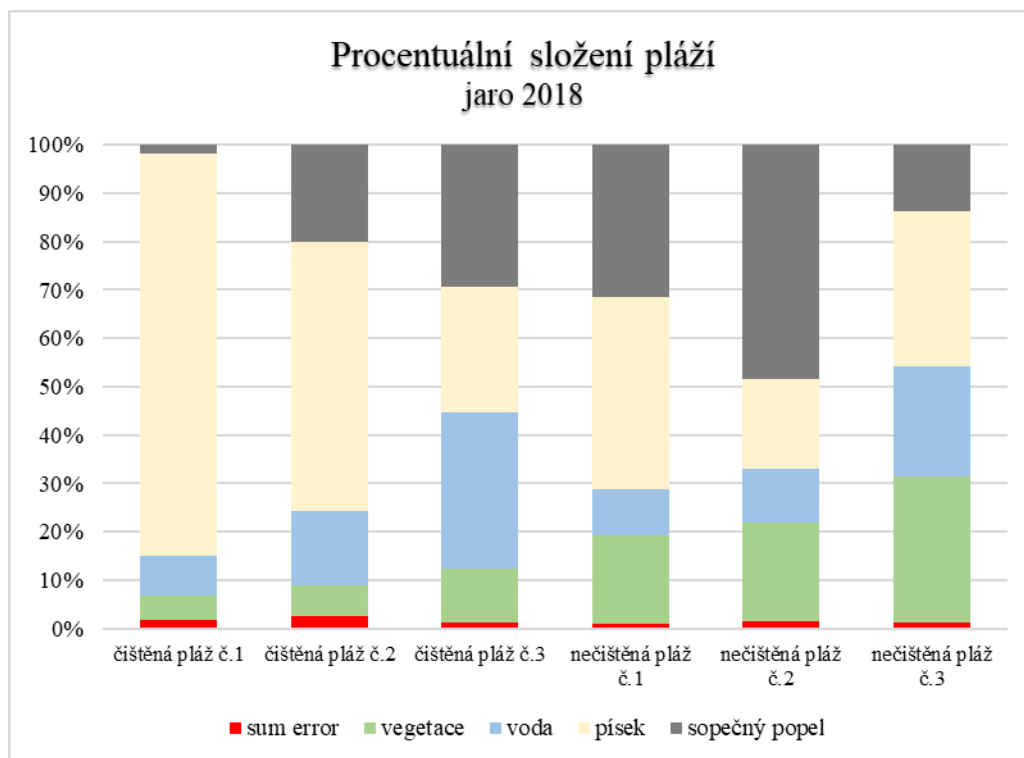
Obrázek 32: Přípravné práce na čištěné pláži č. 1 ze dne 26. 4. 2018 (zdroj: Google Earth Pro)



První vyhodnocení optických snímků proběhlo za časové období jaro 2018 (použitý snímek je z dubna). Na obrázku č. 33 jsou graficky znázorněny procentuální hodnoty všech kategorií. Čištěná pláž č.1 byla zastoupena pískem na rozloze 83 %, čištěná pláž č.2 obsahovala písek na 55 % své rozlohy, zato čištěná pláž č.3 vykazovala daleko nižších procentuálních hodnot (29 %). Nejméně písku se nacházelo na nečištěné pláži č. 2, a to 18 %. Kategorie sopečný prach a popel byla nejvíce zastoupena na nečištěné pláži č. 2, a to na 50 % své rozlohy. Vysokých hodnot dosahovala tato kategorie na nečištěné pláži č. 1 (32 %) a na čištěné pláži č. 3 byl obsažen sopečný prach a popel ze 31 %. Naopak nejmenší zastoupení bylo lokalizováno na čištěné pláži č. 1, sopečný prach a popel se rozkládal na celkových 3 %. Kategorie voda byla lokalizována s nejvyšším zastoupením na čištěné pláži č. 3, zaujímala 32 % ze své rozlohy, takto vysoká hodnota může být způsobena vlivem

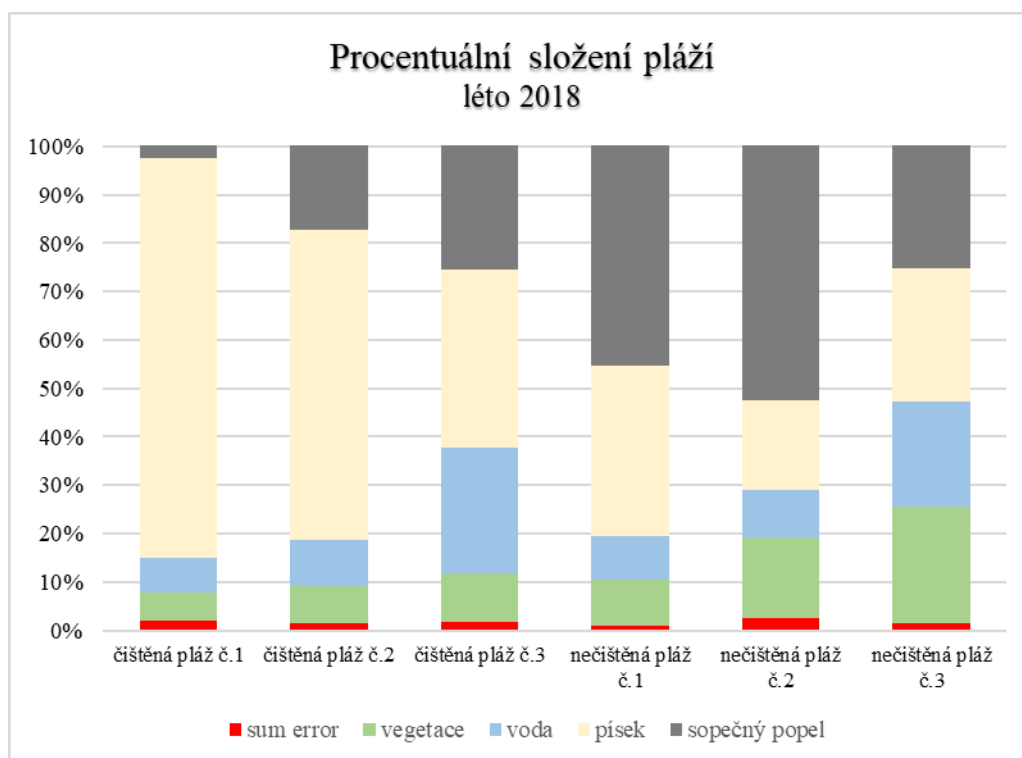
přílivu. Vyšších procentuálních hodnot vody bylo dosaženo na *nečištěné pláži č. 3* (23 %). Zatímco nejmeně vody bylo obsaženo na *čištěné pláži č.1* (8 %) a na *nečištěné pláži č.1* (9 %). Kategorie *chybová data*, neboli cizí materiál, byla v rozmezí od hodnoty 0,9 % (*nečištěné pláži č. 1*) až do 2,4 % (*čištěná pláž č.2*).

Obrázek 33: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za jaro 2019



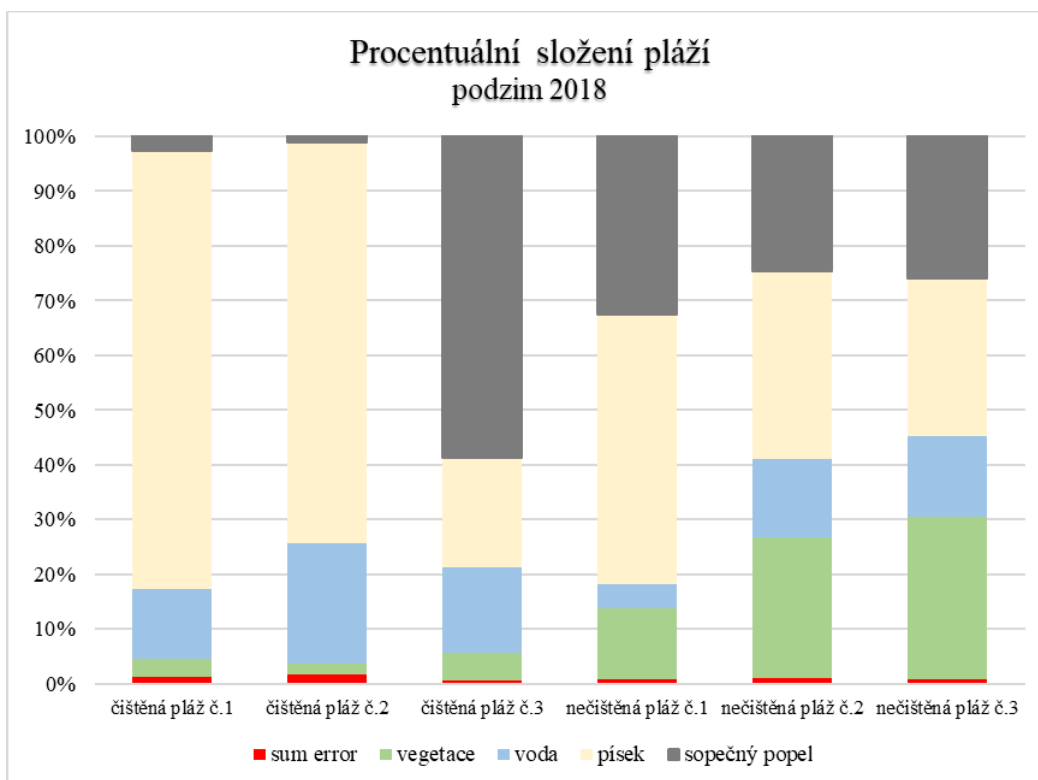
Druhé vyhodnocení optických snímků proběhlo za časové období léto 2018 (použitý snímek je z července). Na obrázku č. 34 jsou graficky znázorněny procentuální hodnoty všech kategorií. Na *čištěné pláži č. 2* se zvýšilo množství *písku* o 8 % oproti jarnímu období a celkově se území pokryté *pískem* zvýšilo na hodnotu 63 %, k zřetelnému nárůstu *písku* došlo i na *čištěné pláži č. 3*, a to konkrétně o 12 %, tedy na celkových 37 %. Tento nárůst mohl být způsoben mechanickým čištěním lokalit. K úbytku *písku* došlo na *nečištěné pláži č. 1* o 4 % a na *nečištěné pláži č. 3* o 4 %.

Obrázek 34: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za léto 2019



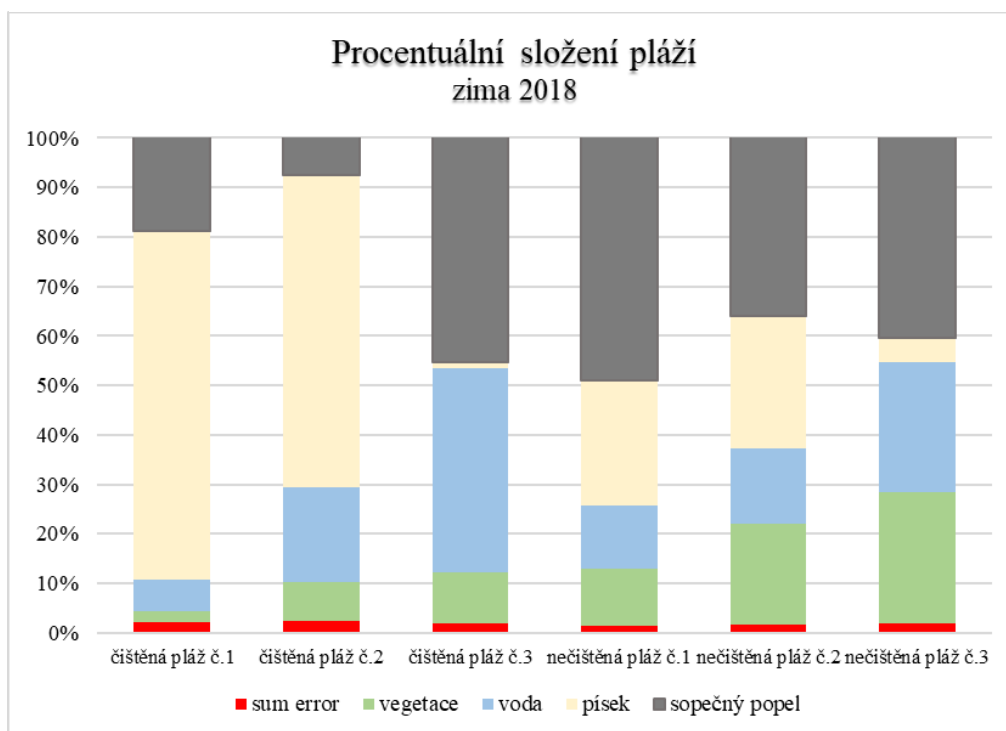
Třetí vyhodnocení optických snímků proběhlo za časové období podzim 2018 (použitý snímek je z října). Na obrázku č. 35 jsou graficky znázorněny výsledné procentuální hodnoty jednotlivých kategorií. Čištěné pláže č. 1 a č. 3 vykazovaly snížené množství kategorie *písek* oproti sledovanému letnímu období, konkrétně se snížila plocha *písku* o 3 % na *čištěné pláži č. 1* (na celkové množství 79 %) a na *čištěné pláži č. 3* se množství *písku* snížilo o 18 % (na celkovou hodnotu 19 %). Nečištěné pláže obsahovaly daleko menšího množství *písku*, v průměru 37 %. Čištěná pláž č. 3 již na první pohled svým tmavým zbarvením indikuje zvýšené množství usazeného *sopečného prachu a popelu*, to se oproti minulému období razantně zvýšilo až na 59 %. Pláže obsahovaly v průměru 1,16 % *chybových dat*.

Obrázek 35: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za podzim 2019



Čtvrté vyhodnocení optických snímků proběhlo za časové období zima 2018 (použitý snímek je z února). V tomto období se zřetelně snížilo množství *písku* na všech zkoumaných plážích, na *čištěné pláži č. 1 a č. 2* ubylo o 9 %, na *čištěné pláži č. 3* o 19 %. Veliký úbytek *písku* byl zpozorován také na *nečištěné pláži č. 1* o 15 %, na *nečištěné pláži č. 3* o 24 %, na *nečištěné pláži č. 2* se množství snížilo o 8 %. Naopak se na těchto přirozených lokalitách zvýšilo množství *vody*, na *nečištěné pláži č. 1* o 8 %, na *nečištěné pláži č. 2* o 1 %, na *nečištěné pláži č. 3* o 11 % a také na *čištěné pláži č. 3* o 26 %, což mohlo být způsobeno vlivem přílivu. *Sopečný prach a popel* byl během zimního období obsažen na všech plážích ve větším množství, mohlo to být způsobeno vyšší přítomností naplavených řas, dřeva a mikročástic mořského odpadu, který splývá se spektrálním projevem *sopečného prachu a popelu*. Na obrázku č. 36 jsou graficky znázorněny výsledné procentuální hodnoty jednotlivých kategorií za zimní období.

Obrázek 36: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za zimu 2019



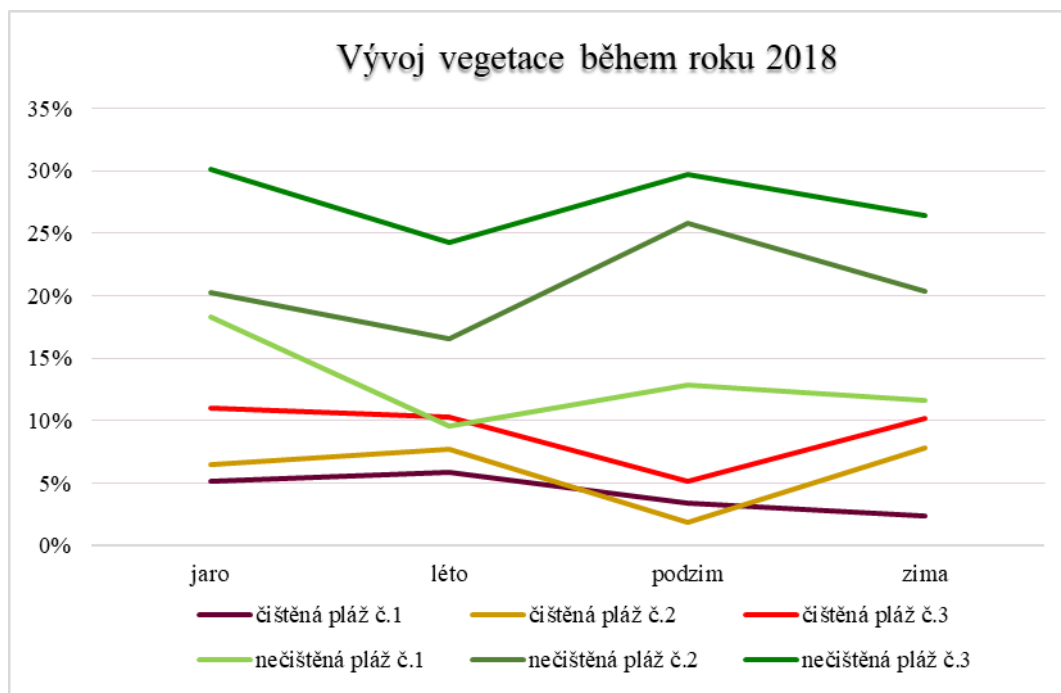
### Klasifikační kategorie vegetace

Vývoj vegetace je graficky znázorněn na obrázku č. 37, nejvíce *vegetace* bylo lokalizováno na nečištěných plážích v průběhu celého roku. *Nečištěná pláž č. 1* obsahovala nejvíce *vegetace* v jarním období (zhruba 18 %), nejméně v letním období (9 %), na podzim byla procentuální hodnota znovu navýšena, a to na 13 % a během zimy bylo množství *vegetace* na pláži sníženo na 12 %. *Nečištěná pláž č. 2* obsahovala na jaře 20 % *vegetace*, v létě byla zastoupena jen 17 %, nejvíce *vegetace* obsahovala na podzim (26 %) a v zimě bylo na pláži 20 % *vegetace*. Na *nečištěné pláži č. 3* bylo lokalizováno nejvyšší množství *vegetace* v jarním období, a to 30 %. V létě byla *nečištěná pláž č. 3* složena z 24 %, na podzim procentuální hodnota opět narostla na 29 % a v zimě byla nepatrně snížena na 26 %. Čištěné pláže byly složeny z daleko nižších procentuálních hodnot *vegetace*. V jarních měsících, kdy pláže ještě nebyly mechanicky upraveny, zpravidla obsahovaly nejvyšších procentuálních hodnot *vegetace*: *čištěná pláž č. 1* (5 %), *čištěná pláž č. 2* (6 %) a *čištěná pláž č. 3* (11 %). Během turistické sezóny (léto-podzim) pláže vykazovaly snížené množství *vegetace*, na *čištěné pláži č. 1* ubyly zhruba 2 % *vegetace*, na *čištěné pláži č. 2* ubylo 5 %, na *čištěné pláži č. 3* ubylo 6 % vegetačního pokryvu. Po ukončení



turistické sezóny a také pravidelném čištění pláží dochází k částečné regeneraci lokalit a nárůst *vegetace* byl zpozorován na *čištěné pláži č. 2* a *čištěné pláži č. 3* o 5 %.

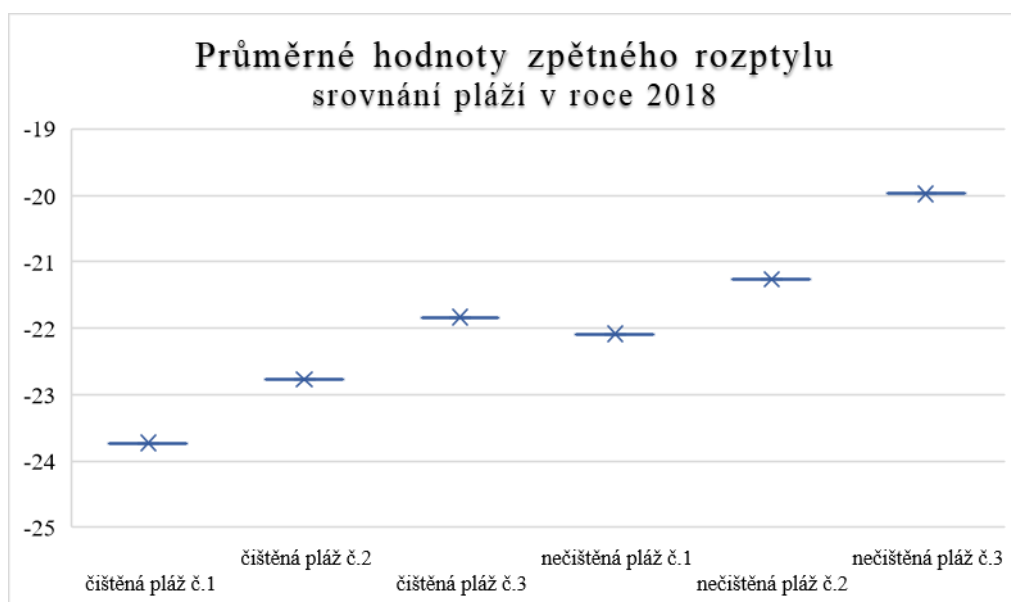
Obrázek 37: Znárodnění vývoje klasifikační třídy *vegetace*



## 6.2 SÍLA PŘIJATÉHO PULZU Z RADAROVÝCH DAT

Pro druhou část výzkumu byla stanovena následující hypotéza: Nečištěné pláže, které obsahují více *vegetace* a mají tzv. typické dunové uspořádání, by měly rozptylovat radarový pulz difúzním způsobem a tím pádem by měl radarový přijímač zaznamenat vyšší hodnoty zpětného rozptylu. Z obrázku č. 38 vyplývá, že *nečištěná pláž č. 3* vykazuje nejvyšších průměrných hodnot zpětného rozptylu za rok 2018 (-19,978 dB) a také byla složena ze všech pláží nejvyšším procentuálním obsahem *vegetace*. Druhá nejvyšší hodnota zpětného rozptylu byla zaznamenána na *nečištěné pláži č. 2* (-21,261 dB). Třetí nejvyšší hodnota byla dosažena na *čištěné pláži č. 3* (-21,834 dB), dále *nečištěná pláž č. 1* (-22,085 dB), *čištěná pláž č. 2* (-22,768 dB) a nejnižší průměrné hodnoty zpětného rozptylu byly zaznamenány na *čištěné pláži č. 1* (-23,731 dB).

Obrázek 38: Srovnání hodnot zpětného rozptylu na jednotlivých lokalitách

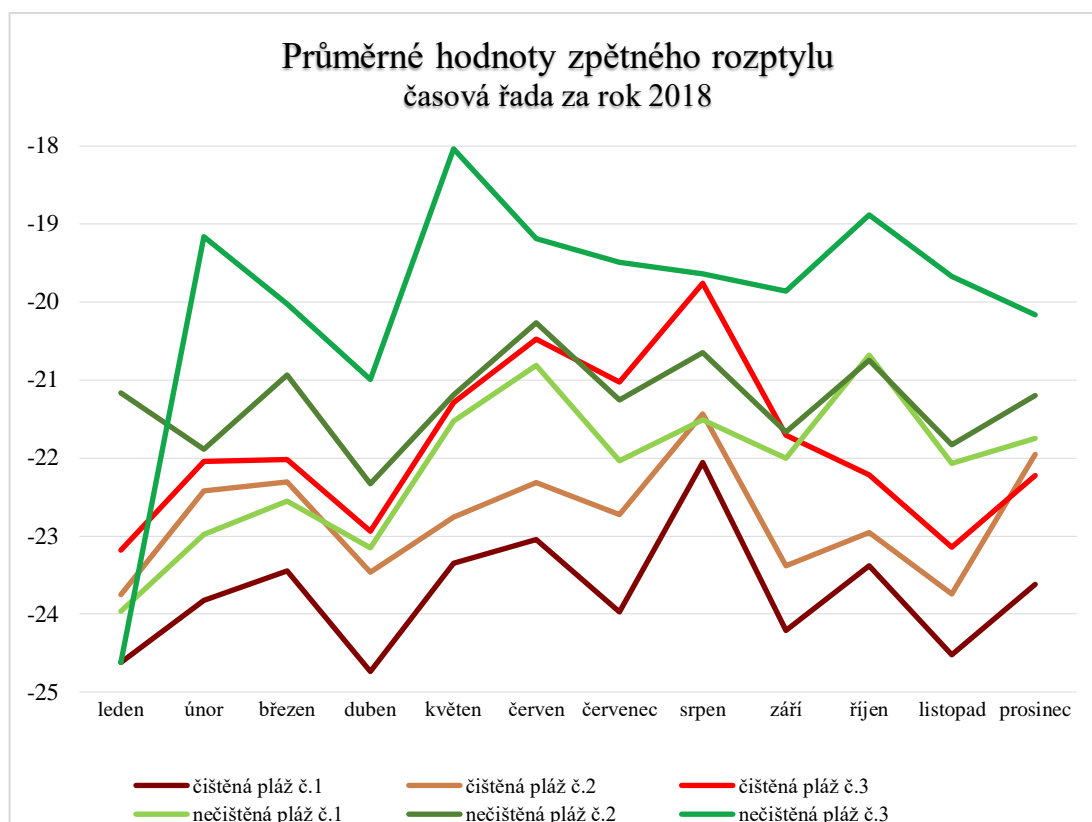


Hodnoty zpětného rozptylu na čistěných plážích jsou během letní sezóny ovlivněny přítomností rušivých elementů (turisté, plážový materiál). V srpnu 2018 byly zaznamenány zvýšené hodnoty přijatého signálu zpětného rozptylu, což mohlo být způsobeno vyšší turistickou návštěvností. V září, kdy dochází ke stagnaci turistické návštěvnosti a také odstranění rušivých elementů, byly zaznamenány snížené hodnoty zpětného rozptylu radaru. Na obrázku č. 39 je graficky znázorněn vývoj hodnot zpětného rozptylu za sledované období v roce 2018, klesající trend byl zaznamenán na všech zájmových plážích v následujícím období: březen/duben, červen/červenec, srpen/září a na přelomu října/listopadu. Naopak nárůst hodnot zpětného rozptylu byl registrován na všech plážích od dubna do května.

Narůstající hodnoty zpětného rozptylu byly zachyceny na nečistěných plážích v podzimním období, kdy bylo na plážích zastoupeno vysoké množství *vegetace*. Na čistěných plážích byl turistický provoz ukončen v průběhu podzimního období, změny se tedy projeví až v zimním období, kdy se začínaly pláže částečně regenerovat. V klidové fázi na čistěných plážích dochází k růstu *vegetace*, která zvyšuje hodnoty zpětného rozptylu, na *čistěné pláži č. 1* narostla hodnota zpětného rozptylu mezi listopadem a prosincem 2018 o 0,903 dB, na *čistěné pláži č. 2* o 1,789 dB a na *čistěné pláži č. 3* o 0,920 dB. Naopak nečistěné pláže, které nejsou ovlivněné antropogenní činností, dosahovaly vyšších hodnot o dva měsíce dříve, konkrétně na přelomu září a října byl zaznamenán nárůst hodnoty

zpětného rozptylu na *nečištěné pláži č. 1* o 1,324 dB, na *nečištěné pláži č. 2* o 0,920 dB, na *nečištěné pláži č. 3* o 0,974 dB.

Obrázek 39: Průměrné hodnoty zpětného rozptylu za rok 2018

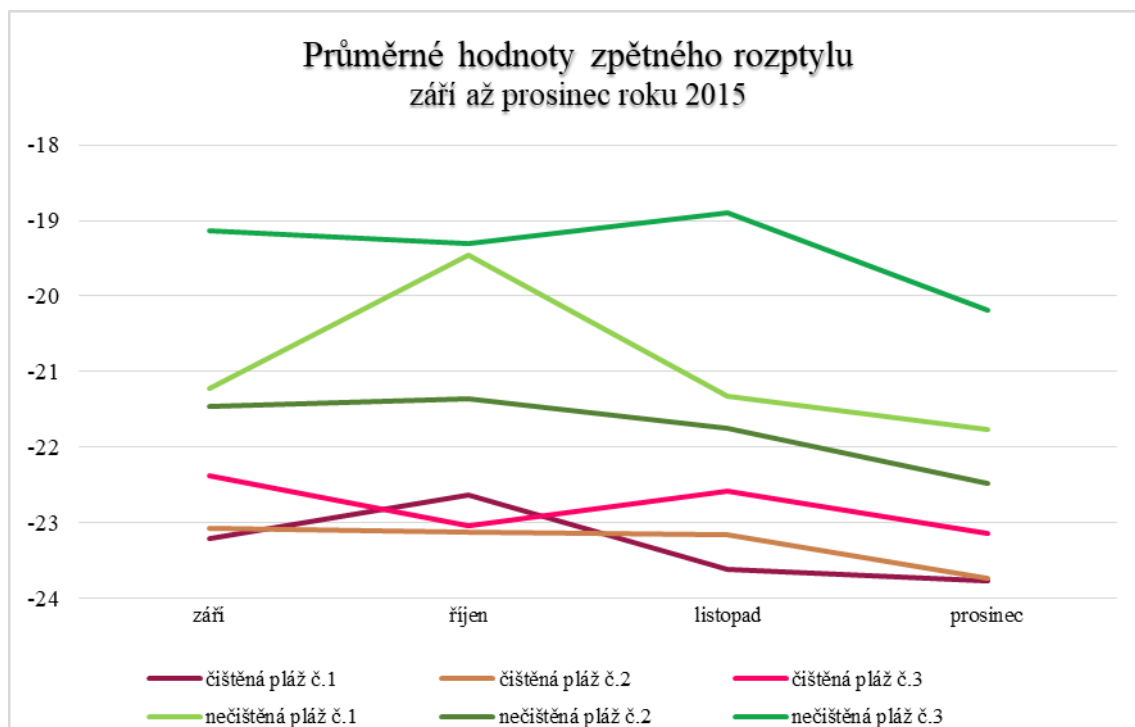


Pro možnost časové komparace výsledku a zhodnocení vývoje na plážích byly zpracovány snímky z časového období: 1) říjen až prosinec roku 2014 (snímek ze září 2014 není k dispozici) a 2) snímky od září do prosince roku 2015. Podzimní období s překlenutím do zimního bylo vybráno záměrně, a to kvůli absenci rušivých elementů (turisté a plážový materiál) na čištěných plážích, a tedy minimalizování nepřesných hodnot při měření zpětného rozptylu radaru.

Z grafického znázornění na obrázku č. 40 vyplívá, že nečištěné lokality ve sledovaném období 2015 dosahovaly vyšších hodnot zpětného rozptylu než čištěné lokality. Nejvyšší hodnota zpětného rozptylu byla zaznamenána na nečištěné pláži č. 3 (-19,383 dB). *Nečištěná pláž č. 1* dosahovala průměrné hodnoty zpětného rozptylu -20,945 dB, *nečištěná pláž č. 2* hodnoty zpětného rozptylu -21,758 dB. *Čištěná pláž č. 3* dosahovala nejvyšších hodnot v listopadu (-22,584 dB), její průměrná hodnota za zkoumané období byla -22,784 dB. *Čištěná pláž č. 2* měla od září do listopadu konstantní průběh, následně došlo k poklesu hodnoty zpětného rozptylu (průměrná hodnota -23,274 dB). *Čištěná pláž č. 1* měla nejdynamičtější vývoj,

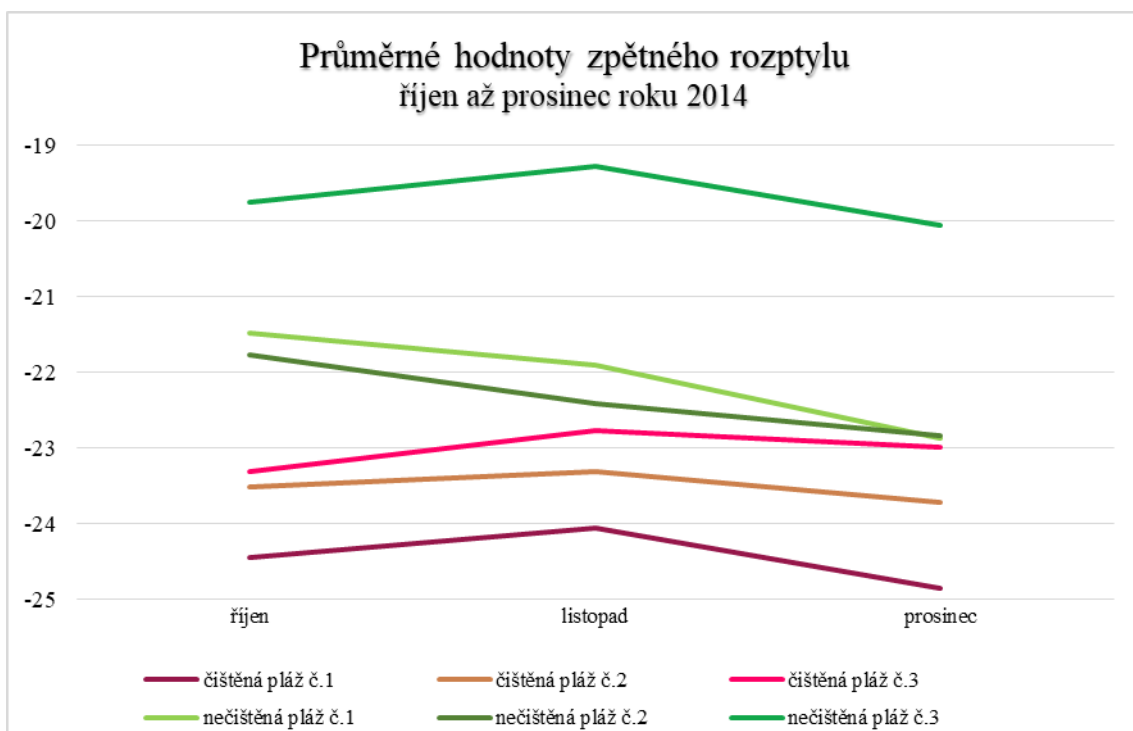
v říjnu dosahovala nejvyšších hodnot zpětného rozptylu (-22,631 dB), v následujícím měsíci byla hodnota zpětného rozptylu výrazně snížena (-23,621 dB).

Obrázek 40: Průměrné hodnoty zpětného rozptylu za časové období září–prosinec 2015



Nejstarší dostupné snímky ze Sentinelu-1, pocházejí z října 2014. Na obrázku č. 41 je znázorněn grafický vývoj za sledované období 2014, kdy dosahovaly nečištěné pláže opět vyšších hodnot zpětného rozptylu (*nečištěná pláž č. 1* -22,086 dB, *nečištěná pláž č. 2* -22,338 dB, *nečištěná pláž č. 3* -19,687 dB) než pláže čištěné. Nejnižší hodnota zpětného rozptylu byla zaznamenána na čištěné pláži č. 1, a to -24,454 dB. *Čištěná pláž č. 2* dosahovala hodnoty -23,508 dB a *čištěná pláž č. 3* hodnoty -23,021 dB.

Obrázek 41: Průměrné hodnoty zpětného rozptylu za časové období říjen–prosinec 2014



---

## 7 DISKUSE

---

V rámci diplomové práce byly hodnoceny změny v pobřežních lokalitách mediteránního klimatu v Itálii. Čištěné pláže jsou zbavovány svrchního krytu a během letní turistické sezóny jsou pravidelně čištěny. Pláže bez přítomnosti odpadků představují jeden z klíčových faktorů při výběru destinace pro letní dovolenou. Mechanické čištění probíhá pomocí kolového traktoru se speciálně upravenými bránami, to dokáže z písku odseparovat nežádoucí příměsi odpadků, ale také veškerou vegetaci a naplavené řasy. Mechanické čištění je velice efektivní, a za velmi krátký čas lze vyčistit území o vysoké rozloze. Druhou možností, jak se zbavit nežádoucích příměsí, je ruční sběr, kdy manuálně lidská síla odstraní z pláže odpadky ponechané turisty (Zielinski et al., 2019). Pláž je po manuálním úklidu zbavena antropogenních nečistot a je zde zachována určitá možnost pro omezený růst vegetace a výskyt druhů vázaných na pobřežní oblasti. Tento proces čištění pláží je časově náročný a také je nutná dostatečná kapacita lidských sil.

Pro přesné určení vlivu mechanického čištění na ekologii pobřeží by bylo potřeba provést komplexní studii, která by se odehrála v hlavní turistické sezóně na třech odlišných plážích s různou turistickou intenzitou. Na každé pláži by se vytvořily dvě vzorkovací lokace: i) s mechanickým čištěním ii) ruční čištění. Ohled by byl třeba brát i na typ použitého mechanického stroje, hloubku hrabání, intenzitu čištění (Zielinski et al., 2019). Určitým kompromisem v dané problematice by bylo navržení pásového střídání čištěných a nečištěných úseků pláže, kdy by byla zachována plocha pro druhy vázané na pobřežní ekosystémy a také území pro rekreační účely. Griffin et al. (2018) se snaží v rámci svého výzkumu nalézt ideální rozestupy pro střídání čištěných a nečištěných pásů. Z ekologického hlediska by bylo vhodné četné střídání pásů, aby byla i meiofauna schopná migrovat do bezzásahového pásu. Z ekonomického hlediska by byl vyvíjen tlak na co největší úseky čištěných pláží s nízkou četností střídání.

I přes určité limitující faktory byla prokázána schopnost monitoringu pobřežních ekosystémů pomocí metod DPZ. Největší omezení bylo identifikováno v letním období, kdy jsou na čištěných plážích přítomny rušivé elementy (turisté, plážový materiál). Z výsledných hodnot vyplývá, že množství vegetace ovlivňuje sílu přijatého radarového pulzu, nejvyšší hodnoty zpětného rozptylu byly zaznamenány *na nečištěné*

pláži č. 3, která obsahovala 28,5\* % *vegetace*. Nízké procentuální hodnoty *vegetace* byly dosaženy na čištěných plážích, a to 4,2\* % na *čištěné pláže č. 1*, 6,0\* % na *čištěné pláže č. 2*, tyto pláže dosahovaly také nejnižších hodnot zpětného rozptylu. Stejný trend se nepotvrdil na čištěné pláži č. 3, která obsahovala o něco více *vegetace* než ostatní čištěné pláže (9,2\* %), ale hodnoty zpětného rozptylu byly vyšší než na *nečištěné pláže č. 1*, která měla zastoupení *vegetace* 13,1\*%. *Čištěná pláž č. 3* obsahovala vysoké procentuální zastoupení *sopečného prachu a popela* oproti *čištěné pláži č. 1 a čištěné pláži č. 2*. Typ půdního substrátu a jeho rozdílná frakce (*písek/sopečný prach a popel*) by mohl ovlivňovat sílu zpětného rozptylu, tím pádem by vznikaly chyby při generalizaci modelů. Z výzkumu v diplomové práci vyplývá, že obsah prachových částic na plážích zvyšuje hodnotu zpětného rozptylu.

Z výsledných hodnot klasifikace optických dat vyplývá, že procentuální zastoupení kategorie *vegetace* razantně stouplo na nečištěných lokalitách na přelomu léta a podzimu (*nečištěná pláž č. 1* o 3,3 %, *nečištěná pláž č. 2* o 9,2 %, *nečištěná pláž č. 3* o 5,4 %). Na čištěných lokalitách došlo k mírnému nárůstu *vegetace* až na přelomu období podzim/zima (*čištěná pláž č. 2* o 5,9 %, *čištěná pláž č. 3* o 5,1 %), na *nečištěné pláži č. 1* byl zaznamenán nepatrný úbytek, a to -0,95 %. Hodnota zpětného rozptylu narostla na nečištěných plážích mezi zářím a říjnem a na čištěných plážích se zvýšila mezi listopadem a prosincem. Tento trend by mohl naznačovat částečnou regeneraci čištěných pláží, návrat prvků *vegetace* do antropogenně přeměněných pláží. Tento vývoj se nepotvrdil ve zkoumaném časovém období září–prosinec 2015 a v období říjen–prosinec 2014, kdy hodnoty zpětného rozptylu na čištěných plážích mezi listopadem a prosincem mírně klesají. Z toho zjištění vyplývá, že proces regenerace pláží je velice komplikovaný a obnova je zdlouhavá, přes klidové období se nestihnou dostatečně obnovit prvky *vegetace*. Zajímavé by bylo navázat na tuto problematiku výzkumem, který by se zabýval vývojem čištěné pláže, která byla uzavřená na delší časovou dobu a bylo by možné sledovat přeměnu antropogenně ovlivněné lokality a reintrodukci druhů.

\* průměrné procentuální hodnoty provedené klasifikace za celé sledované období, tj. jaro–zima 2018

Proces fuzzy klasifikace může být razantně ovlivněn vlivem přílivu a odlivu. Procentuální zastoupení klasifikační třídy *voda* může být nadhodnoceno při vyšší úrovni hladiny způsobené přílivem. Na přiloženém obrázku č. 42 je zobrazená rozdílná úroveň mezi přílivem a odlivem na *čištěné pláži č.3*, tento rozdíl je zhruba 30-metrový. Levý snímek zachycuje příliv ze dne 2.4. 2019, pravý snímek s nižší úrovní hladiny pochází ze dne 2.7. 2019. Červená linie na obou snímcích značí hranice čištěné pláže č.3 a na pravém snímku (2.7. 2019) je vyznačena, modrou přerušovanou linií, maximální výška vodní hladiny při přílivu.

Obrázek 42: Rozdílná úroveň vodní hladiny způsobená vlivem přílivu a odlivu (zdroj: Google Earth Pro)



Pláže jsou důležitou součástí pobřežních ekosystémů, nejenom že představují turistický cíl, vhodné habitaty pro mnoho druhů, ale také působí jako ochranná bariéra před destrukcí přímořských oblastí. Díky sérii dun a přítomnosti vegetace dokážou účinně ochránit pobřeží před destrukcí. Nečištěné pláže jsou tedy mnohem stabilnější (obsahují více vegetace a jejich povrch má přirozené dunové uspořádání), v menší míře se zde projevuje eroze. Přítomnost mangrovníků a středomořských macchií zajišťuje ochranu přímořských oblastí a snižuje náchylnost vlivem extrémních událostí (bouřky, vlny tsunami). Například poškození po vlně tsunami (prosinec 2014) v Indickém oceánu bylo daleko větší v turistických oblastech (WIDECAST © 2020). Za účelem eliminace destrukce pobřeží vlivem mechanického čištění by bylo nejvhodnější odstraňovat antropogenní odpadky pouze ručním sběrem. Pokud je nutné vyčistit rozsáhlejší pobřežní oblast za použití kolového traktoru s bránami, tak by mechanické práce měly probíhat během dne, pod přílivovou linií a brány by neměly zasahovat do větší hloubky než 5 cm (WIDECAST © 2020).



Ohrožené nejsou jen antropogenně přeměněné čištěné pláže. Přirozené lokality pláží trpí při nekontrolovatelném pohybu turistů, kteří udupávají vegetaci a způsobují pedokompakci. Vyšší degradace je způsobena zážitkovými jízdami na čtyřkolkách v pobřežních dunách (Bonte et Hoffman, 2005). V rámci pětiletého výzkumu od Acosta et al. (2013) vyplývá, že se prvky vegetace zotaví daleko rychleji, pokud je území oplocené a nedochází k dalšímu narušování. Tento způsob pasivní ochrany je časově a finančně velice efektivní a lze ho aplikovat na jakékoliv pláži.

Nečištěné pláže jsou přirozeně uspořádány do čtyř kategorií dle topografického uspořádání (*A: pohyblivé duny v prvotním stádiu, B: vyšší pohyblivé duny, C: zpevněné pobřežní duny, D: zpevněné duny s lesním zastoupením*). Zpevněné pobřežní duny vykazují nejmenší adaptaci na změny, zato pohyblivé duny v prvotním stádiu snášejí velmi dobře stresové podmínky a časté změny habitatu (Bazzichetto et al., 2016). Dle výzkumu Acosta et al. (2009) je vegetace v prvních stádiích dunového uspořádání (hlavně v kategoriích uspořádání *A: pohyblivé duny v prvotním stádiu, B: vyšší pohyblivé duny*) zastoupena převážně jednoletými druhy rostlin, které obnovují své populace na jaře (některé druhy začátkem léta). Čištěné pláže jsou v klidovém režimu od podzimního období, kdy se částečně obnoví struktury vegetace. V zimním období je růst veškeré flóry utlumen a během jarního období, kdy se začínají obnovovat populace jednoletých rostlin dochází k mechanickému vyčištění pláží. Z toho vyplývá, že proces regenerace prvních dvou kategorií uspořádání by nemusel být tak časově náročný (Yousefi Lalimi et al., 2017).

Vzhledem k prostorovému rozlišení použitých snímků (10 m<sup>2</sup>), nebylo možné sledovat změny v jednotlivých kategoriích uspořádání. Na pláži bylo pohlíženo jako na celek bez možnosti analyzování změn mezi jednotlivými kategoriemi. K přesnějším výsledkům a možnosti sledování jednotlivých kategorií uspořádání by bylo vhodné použít satelit s velmi vysokým prostorovým rozlišením, například radarový satelit TanDEM-X se senzorem SAR poskytující data o prostorovém rozlišení 1 m<sup>2</sup>. Mise TanDEM-X je zdrojem rozsáhlého mapování s velmi vysokým rozlišením, použití je finančně limitováno. Metoda využívající volně dostupné snímky ze Sentinelu-1 je finančně efektivní, hlavně pokud bychom mapovali rozsáhlejší území. (Gutenson et al., 2017).

V dalším výzkumu, by bylo vhodné aplikovat danou metodiku na rozsáhlejší pobřežních oblast. S tím je spojená časově náročná vektorizace území. Vhodné by bylo

najít automatickou metodu extrakce pobřežní oblasti. Dle Lubczonek (2017) lze použít radarové snímky Sentinelu-1 pro detekci pobřeží linie pro střední až nízká měřítka mapy, v městském prostředí (technické konstrukce, budovy) a přístavištích (zakotvené lodě) dochází ale k pozičním chybám. V rámci této metodiky lze pomocí linie vyznačit rozhraní mezi mořem a pevninou, nikoliv celou pobřežní oblast (polygon). Také by bylo vhodné vytvořit přesný digitální model terénu s vysokým prostorovým rozlišením, za účelem zjištění terénní variability pláží. Terénní nerovnosti jsou na čištěných plážích přes turistickou sezónu urovnávány, zatímco nečištěné pláže jsou uspořádány do série dunových přesypů. Z vytvořených digitálních modelů terénu by bylo možné určit rozdílnou variabilitu terénu na čištěných plážích v období: a) hlavní turistické sezóny b) v klidovém období, kdy pláže nejsou čištěné a rekreačně využívány (částečně by se mohly obnovit dunové přesypy).

---

## 8 ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE

---

V rámci diplomové práce byla ověřena možnost použití DPZ za účelem monitoringu změn v pobřežních lokalitách. Hodnocení bylo provedeno na celkově šesti lokalitách dvojího typu: 1) čištěné pláže, které jsou antropogenně ovlivněné a 2) nečištěné pláže přirozeného charakteru s dunovým uspořádáním a přítomností vegetace. Analýza probíhala na snímcích od vesmírné agentury ESA, použity byly dva odlišné typy dat: a) pasivní optický senzor umístěný na satelitu Sentinel-2, b) aktivní radar v mikrovlnném záření umístěný na satelitu Sentinel-1. Optické snímky byly použity ke klasifikaci pokryvu pláží. Radar byl použit k vyhodnocení hodnot zpětného rozptylu.

Nejprve byly vyhodnoceny optické snímky, ze kterých bylo zjištěno procentuální složení jednotlivých kategorií obsažených na plážích. Čištěné pláže obsahovaly vysoké procentuální zastoupení písku a malé procento *vegetace*. Výjimku představovala *čištěná pláž č.3*, která jednak obsahovala vyšší množství *sopečného prachu a popela* ale také *vegetace*. Nečištěné pláže dosahovaly vyšších hodnot zpětného rozptylu díky a) typickému dunovému uspořádání a b) vyššímu obsahu *vegetace*. Nejvyšší průměrná hodnota zpětného rozptylu byla zaznamenána na *nečištěné pláži č.3* (-19,976 dB), která také obsahovala nejvyšší procentuální množství *vegetace*. Nejnižší signál byl lokalizován na *čištěné pláži č. 1*, která obsahovala nejnižší procentuální množství *vegetace* (-23,731 dB). Výjimkou byla *čištěná pláž č.3* na které byly zaznamenány daleko vyšší hodnoty zpětného rozptylu (-21,834 dB) než na *čištěné pláži č.1* (-23,731 dB) a na *čištěné pláži č. 2* (-22,768 dB). *Čištěná pláž č. 3* byla složena z vysoké procentuální hodnoty *sopečného prachu a popela* a obsahovala vyšší množství *vegetace* oproti ostatním čištěným plážím. Z výsledných hodnot tedy vyplývá, že typ substrátu (*písek/sopečný prach a popel*) ovlivňuje výslednou hodnotu zpětného rozptylu.

Během letní turistické sezony mohly být výsledky ovlivněny přítomností rušivých elementů (lehátka, slunečníky, turisté), proto byly radarové snímky analyzovány v roce 2014 a 2015 jen v „klidovém období“ (podzim-zima). V podzimním období, kdy čištěné pláže nejsou ovlivněny přítomností rušivých elementů, bylo dosaženo obdobných výsledků – nejvyšší hodnota zpětného rozptylu

zaznamenána na *nečištěné pláži č. 3* (-19,471 dB) a nejnižší signál také na *čištěné pláži č. 1* (-24,035 dB).

Výsledné hodnoty získané pomocí metod DPZ reflektují odlišnosti v pobřežních ekosystémech (čištěná x nečištěná pláž). Předkládaná práce navíc nabízí finančně efektivní metodiku, pomocí které lze zmapovat rozsáhlé území pobřežních ekosystémů. Snímky satelitů Sentinel-1 a Sentinel-2 vykazují potenciál pro použití k monitoringu pobřežních ekosystémů. Díky bezplatnému přístupu ke snímkům od vesmírné agentury ESA, vysokému temporálnímu a prostorovému rozlišení lze velice snadno mapovat změny v různých ekosystémech.

---

## 9 PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

---

ACOSTA, A.; JUCKER, T.; PRISCO, I.; SANTORO, R., 2013. Passive Recovery of Mediterranean Coastal Dunes Following Limitations to Human Trampling. In: *Passive Recovery of Mediterranean Coastal Dunes Following Limitations to Human Trampling*. s. 187–198. ISBN 978-3-642-33444-3.

BARBERI, Franco; VILLARI, L. Volcano Monitoring and Civil Protection Problems During the 1991-1993 Etna Eruption. Giardini editori, 1994.

BAZZICHETTO, M., M. MALAVASI, A. T.R. ACOSTA a M. L. CARRANZA, 2016. How does dune morphology shape coastal EC habitats occurrence? A remote sensing approach using airborne LiDAR on the Mediterranean coast. *Ecological Indicators* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **71**(July), 618–626. ISSN 1470160X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolind.2016.07.044

BONTE, Dries; HOFFMANN, Maurice. Are coastal dune management actions for biodiversity restoration and conservation underpinned by internationally published research?. In: Proceedings ‘Dunes and Estuaries 2005’. VLIZ, 2005. p. 165-178.

BOVOLO, Francesca, Lorenzo BRUZZONE a Lorenzo CARLIN, 2010. A novel technique for subpixel image classification based on support vector machine. *IEEE Transactions on Image Processing* [online]. **19**(11), 2983–2999. ISSN 10577149. Dostupné z: doi:10.1109/TIP.2010.2051632

CAMPBELL, James a Randolph WYNNE, 2011. *Introduction to Remote Sensing*. B.m.: Guilford Press. ISBN 978-1-60918-176-5.

CHEN, Xiaohong, Qian SUN a Jun HU, 2018. Generation of complete SAR geometric distortion maps based on DEM and neighbor gradient algorithm. *Applied Sciences (Switzerland)* [online]. **10**(11), 1–14. ISSN 20763417. Dostupné z: doi:10.3390/app8112206

COLLET, Isabelle; ENGELBERT, Andries. Coastal regions: people living along the coastline, integration of NUTS 2010 and latest population grid. *Statistics in focus*, 2013, 30: 2013.

COMMUNITY, Economic, 2010. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (OJ L 206 22.07.1992

p. 7). *Documents in European Community Environmental Law* [online]. (L), 568–583. Dostupné z: doi:10.1017/cbo9780511610851.039

COWLING, Richard M., Philip W. RUNDEL, Byron B. LAMONT, Mary Kalin ARROYO a Margarita ARIANOUTSOU, 1996. Plant diversity in mediterranean-climate regions. *Trends in Ecology and Evolution* [online]. **11**(9), 362–366. ISSN 01695347. Dostupné z: doi:10.1016/0169-5347(96)10044-6

DE RITA, Donatella, Marina FABBRI, Ilaria MAZZINI, Paolo PACCARA, Andrea SPOSATO a Alessandra TRIGARI, 2002. Volcaniclastic sedimentation in coastal environments: The interplay between volcanism and Quaternary sea level changes (central Italy). *Quaternary International* [online]. **95–96**, 141–154. ISSN 10406182. Dostupné z: doi:10.1016/S1040-6182(02)00035-6

DEL VECCHIO, Silvia, Tommaso JUCKER, Marta CARBONI a Alicia T.R. ACOSTA, 2017. Linking plant communities on land and at sea: The effects of *Posidonia oceanica* wrack on the structure of dune vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **184**, 30–36. ISSN 02727714. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecss.2016.10.041

DRIUS, Mita, Laurence JONES, Flavio MARZIALETTI, Maria Carla DE FRANCESCO, Angela STANISCI a Maria Laura CARRANZA, 2019. Not just a sandy beach. The multi-service value of Mediterranean coastal dunes. *Science of the Total Environment* [online]. B.m.: Elsevier B.V., **668**, 1139–1155. ISSN 18791026. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.364

DRUSCH, M., U. DEL BELLO, S. CARLIER, O. COLIN, V. FERNANDEZ, F. GASCON, B. HOERSCH, C. ISOLA, P. LABERINTI, P. MARTIMORT, A. MEYGRET, F. SPOTO, O. SY, F. MARCHESE a P. BARGELLINI, 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment* [online]. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2011.11.026

DUGAN, Jenifer E., David M. HUBBARD a Brenna J. QUIGLEY, 2013. Beyond beach width: Steps toward identifying and integrating ecological envelopes with geomorphic features and datums for sandy beach ecosystems. *Geomorphology* [online]. B.m.: Elsevier B.V., **199**, 95–105. ISSN 0169555X. Dostupné z: doi:10.1016/j.geomorph.2013.04.043

ELMORE, Andrew J., et al. Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. *Remote sensing of environment*, 2000, 73.1: 87-102.

FAJARDO, Santiago, GARCÍA-GALVAN, Federico R., Violeta BARRANCO, Juan C. GALVAN a Sebastian Feliu BATLLE, 2016. We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % . *Intech* [online]. *i*(tourism), 13. Dostupné z: doi:http://dx.doi.org/10.5772/57353

FANINI, Lucia; CANTARINO, C. Martín; SCAPINI, Felicita. Relationships between the dynamics of two *Talitrus saltator* populations and the impacts of activities linked to tourism. *Oceanologia*, 2005, 47.1.

FINLAYSON, Max, Christian LÉVÊQUE, G RANDY MILTON, Garry PETERSON, Dave PRITCHARD, Blake D RATNER, Walter V REID, Carmen REVENGA, María RIVERA, Frederik SCHUTYSER, Mark SIEBENTRITT, Mishka STUIP, Rebecca THARME, Harold A MOONEY, Angela CROPPER, Doris CAPISTRANO, Stephen R CARPENTER, Kanchan CHOPRA, Partha DASGUPTA, Rik LEEMANS, Robert M MAY, Prabhu PINGALI, Rashid HASSAN, Cristián SAMPER, Robert SCHOLES a Robert T WATSON, 2005. *A Report of the Millennium Ecosystem Assessment Contributing Authors, and Sub-global Coordinators Review Editors: José Sarukhán and Anne Whyte (Co-chairs) and MA Board of Review Editors The Cropper Foundation, Trinidad and Tobago*. ISBN 1569735972.

FREDA, Carmela, Mario GAETA, Daniel B. KARNER, Fabrizio MARRA, Paul R. RENNE, Jacopo TADDEUCCI, Piergiorgio SCARLATO, John N. CHRISTENSEN a Luigi DALLAI, 2006. Eruptive history and petrologic evolution of the Albano multiple maar (Alban Hills, Central Italy). *Bulletin of Volcanology* [online]. **68**(6), 567–591. ISSN 14320819. Dostupné z: doi:10.1007/s00445-005-0033-6

GHESKIERE, Tom, Vincx MAGDA, Pison GREET a Degraer STEVEN, 2006. Are strandline meiofaunal assemblages affected by a once-only mechanical beach cleaning? Experimental findings. *Marine Environmental Research* [online]. **61**(3), 245–264. ISSN 01411136. Dostupné z: doi:10.1016/j.marenvres.2005.10.003

GRIFFIN, Caroline, Nicola DAY, Hanna ROSENQUIST, Maren WELLENREUTHER, Nils BUNNEFELD a André S. GILBURN, 2018. Tidal range and recovery from the impacts mechanical beach grooming. *Ocean and Coastal*

*Management* [online]. **154**(January), 66–71. ISSN 09645691. Dostupné z: doi:10.1016/j.ocecoaman.2018.01.004

GUTENSON, Joseph, Michael FOLLUM, Alan SNOW a Mark WAHL, 2017. Large-Scale Flood Inundation Modeling in Data Sparse Environments using TanDEM-X Terrain Data. *Open Water Journal*. **4**(2), 4. ISSN 2472-0259.

HALOUNOVÁ, Lena, PAVELKA, Karel. Dálkový průzkum Země. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03124-1.

JOSHI, Neha, Matthias BAUMANN, Andrea EHAMMER, Rasmus FENSHOLT, Kenneth GROGAN, Patrick HOSTERT, Martin Rudbeck JEPSEN, Tobias KUEMMERLE, Patrick MEYFROIDT, Edward T.A. MITCHARD, Johannes REICHE, Casey M. RYAN a Björn WASKE, 2016. A review of the application of optical and radar remote sensing data fusion to land use mapping and monitoring. *Remote Sensing* [online]. **8**(1), 1–23. ISSN 20724292. Dostupné z: doi:10.3390/rs8010070

Kornelsen, K.C. and Coulibaly, P. (2013) Advances in Soil Moisture Retrieval from Synthetic Aperture Radar and Hydrological Applications. *Journal of Hydrology*, 476, 460-489. Dostupné z: doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.10.044>

KRELLING, Allan Paul, Allan Thomas WILLIAMS a Alexander TURRA, 2017. Differences in perception and reaction of tourist groups to beach marine debris that can influence a loss of tourism revenue in coastal areas. *Marine Policy* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **85**(March), 87–99. ISSN 0308597X. Dostupné z: doi:10.1016/j.marpol.2017.08.021

LIDO, Cannero Riviera, Gardone RIVIERA, Spiaggia LIDO, Bedollo Località PIAZZE, Bar SPIAGGIA, Al Pescatore RIVIERA, Porto SANT, Elpidio LUNGOMARE, Marina PALMENSE, Barletta Andria TRANI, Fasano EGNAZIA, Case BIANCHE, Torre CANNE, Melendugno ROCA, San FOCA, Nord CENTRO, Torre SPECCHIA, Torre Sant ANDREA, Punta ALICE, Melissa LITORALE a Torre MELISSA, 2017. Elenco completo delle spiagge Bandiera Blu 2017 per un totale di 342 spiagge. 2017.

LUBCZONEK, Jacek, 2017. Application of Sentinel-1 imageries for shoreline extraction. *Proceedings International Radar Symposium* [online]. 1–9. ISSN 21555753. Dostupné z: doi:10.23919/IRS.2017.8008161



- MALM, Torleif, Sonja RÅBERG, Sabine FELL a Per CARLSSON, 2004. Effects of beach cast cleaning on beach quality, microbial food web, and littoral macrofaunal biodiversity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* [online]. **60**(2), 339–347. ISSN 02727714. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecss.2004.01.008
- MATTHEWS, Geoffrey Vernon Townsend, 1993. The Ramsar Convention on Wetlands: its history and development.
- MOUAT, John; LOZANO, Rebeca Lopez; BATESON, Hannah. Economic impacts of marine litter. Kommunenes Internasjonale Miljøorganisasjon, 2010.
- PORTMAN, Michelle E. a Ruth E. BRENNAN, 2017. Marine litter from beach-based sources: Case study of an Eastern Mediterranean coastal town. *Waste Management* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **69**(2017), 535–544. ISSN 18792456. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2017.07.040
- PRAJAPATI, Richa, Shashi KUMAR a Shefali AGRAWAL, 2016. Simulation of SAR backscatter for forest vegetation. *Earth Observing Missions and Sensors: Development, Implementation, and Characterization IV* [online]. **9881**, 98811T. ISSN 1996756X. Dostupné z: doi:10.1117/12.2224036
- REEVES, Henry M. Pecora IV Remote Sensing Symposium. Wildlife Society Bulletin, 1979, 63-64.
- RYAN, Peter G., Annerie LAMPRECHT, Debbie SWANEPOEL a Coleen L. MOLONEY, 2014. The effect of fine-scale sampling frequency on estimates of beach litter accumulation. *Marine Pollution Bulletin* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, **88**(1–2), 249–254. ISSN 18793363. Dostupné z: doi:10.1016/j.marpolbul.2014.08.036
- SALVI, S., S. STRAMONDO, G. J. FUNNING, A. FERRETTI, F. SARTI a A. MOURATIDIS, 2012. The Sentinel-1 mission for the improvement of the scientific understanding and the operational monitoring of the seismic cycle. *Remote Sensing of Environment* [online]. B.m.: Elsevier Inc., **120**, 164–174. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2011.09.029
- SMITH, M. O.; ADAMS, J. B.; GILLESPIE, A. R. Reference endmembers for spectral mixture analysis. In: Proc. 5th Australasian Remote Sensing Conference. 1990. p. 331-340.
- SOLBØ, Stian a Inger SOLHEIM, 2005. Towards operational flood mapping with

satellite SAR. *European Space Agency, (Special Publication) ESA SP. (572)*, 1603–1609. ISSN 03796566.

TORRES, Ramon, Paul SNOEIJ, Dirk GEUDTNER, David BIBBY, Malcolm DAVIDSON, Evert ATTEMA, Pierre POTIN, Bj Örn ROMMEN, Nicolas FLOURY, Mike BROWN, Ignacio Navas TRAVER, Patrick DEGAYE, Berthyl DUESMANN, Betlem ROSICH, Nuno MIRANDA, Claudio BRUNO, Michelangelo L'ABBATE, Renato CROCI, Andrea PIETROPAOLO, Markus HUCHLER a Friedhelm ROSTAN, 2012. GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment* [online]. **120**, 9–24. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2011.05.028

Williams, A. and Micallef, A. 2009. *Beach Management Principles and Practice*. London: Earthscan.

YOUSEFI LALIMI, F., S. SILVESTRI, L. J. MOORE a M. MARANI, 2017. Coupled topographic and vegetation patterns in coastal dunes: Remote sensing observations and ecomorphodynamic implications. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* [online]. **122**(1), 119–130. ISSN 21698961. Dostupné z: doi:10.1002/2016JG003540

ZHU, Lingli, Juha SUOMALAINEN, Jingbin LIU, Juha HYYPPÄ, Harri KAARTINEN a Henrik HAGGREN, 2018. A Review: Remote Sensing Sensors. In: *Multi-purposeful Application of Geospatial Data* [online]. B.m.: InTech. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.71049

ZIELINSKI, Seweryn, Camilo M. BOTERO a Andrea YANES, 2019. *To clean or not to clean? A critical review of beach cleaning methods and impacts* [online]. 1. únor 2019. B.m.: Elsevier Ltd. ISSN 18793363. Dostupné z: doi:10.1016/j.marpolbul.2018.12.027

## INTERNETOVÉ ZDROJE

BUTAC (Bufale Un Tanto Al Kilo), 2020: La tenuta presidenziale di Castelporziano (online) [cit.2020.01.12], dostupné z <<https://www.butac.it/la-tenuta-presidenziale-di-castel-porziano/>>

Copernicus, 2020: Copernicus Open Access Hub (online) [cit. 2020-02-03], dostupné z: <<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>>

ESA, 2020: Sentinel-2 MSI – Overview (online) [cit. 2020-02-27], dostupné z: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/overview>>

ESA, 2020: Sentinel-1 SAR – Overview (online) [cit. 2020-01-27], dostupné z: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/overview>>

ESA, 2020: Level-1 Product Formatting (online) [cit. 2019.02.03], dostupné z: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/products-algorithms/level-1-product-formatting>>

ESRI, 2020: What is ArcMap? Environmental Systems Research Institute (online) [cit. 2020-01-15], dostupné z: <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/map/main/what-is-arcmap-.html>>

Online Browsing Platform (OBP), 2020: Standard: ISO 3166 — Codes for the representation of names of countries and their subdivisions, version 4.8.0 (online) [cit.2020.01.10], dostupné z <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:code:3166:IT>>

SNAP, 2020: European Space Agency (ESA) (online) [cit. 2020-03-27], dostupné z: <<https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>>

SARC CARLETON, 2020: What is Google Earth? The Science Education Resource Center at Carleton College (online) [cit. 2020-02-15], dostupné z: <[https://serc.carleton.edu/introgeo/google\\_earth/what.html](https://serc.carleton.edu/introgeo/google_earth/what.html)>

SIRA-ARPAT, 2004: Dichiarazione EPER ENEL PRODUZIONE SPA – Centrale Termoelettrica Torrevaldaliga Nord relativa all'anno 2004 (online) [cit.2020.01.12], dostupné z <[http://sira.arpato.toscana.it/sira/eper/UL\\_190024.htm](http://sira.arpato.toscana.it/sira/eper/UL_190024.htm)>

WIDECAS, 2020: Loss of Coastal Vegetation. (online). [cit. 2020-01-15], dostupné z <<http://www.widecast.org/conservation/threats-and-solutions/loss-of-coastal-vegetation/>>

---

## 10 SEZNAM OBRÁZKŮ

---

Obrázek 1: Oblasti mediteránního klimatu (Cowling et al. 1996) .....	12
Obrázek 2: Typické uspořádání dunových přesypů (Drius et al. 2019) .....	14
Obrázek 3: Mechanický čištění odpadků pomocí speciálně upravených brán (URL1: <a href="https://www.doriandrake.com/hardware-lawn-and-garden-group/landscape-maintenanceconstruction/barber/">https://www.doriandrake.com/hardware-lawn-and-garden-group/landscape-maintenanceconstruction/barber/</a> ) .....	16
Obrázek 4: Stručné schéma znázorňující princip optického snímání .....	18
Obrázek 5: Princip radarového snímání .....	20
Obrázek 6: Přehled radarových dat .....	20
Obrázek 7: Fresnelova odrazivost dokonale hladkých povrchů (Kornelsen et Coulibaly, 2013) .....	22
Obrázek 8: Rozptyl vyslaného pulzu a) zrcadlově, b) difuzně (Solbø et Solheim, 2005) .....	22
Obrázek 9: Příklad zhuštěného signálu, ke kterému dochází, kvůli šikmému snímání SAR, skutečná délka a–b je poté v obrazové rovině výrazně zkrácena (a' - b) (URL2: <a href="https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html">https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html</a> ) .....	24
Obrázek 10: Příklad poziční chyby – zpětný překryv (URL3: <a href="https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html">https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html</a> ) .....	24
Obrázek 11: Příklad poziční chyby – radarový stín (URL4: <a href="https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html">https://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.en.html</a> ) .....	25
Obrázek 12: Zájmové lokality na západním pobřeží Itálie .....	26
Obrázek 13: Snímek čištěné pláže č. 1 pořízený dne 1.7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro) .....	27
Obrázek 14: Snímek čištěné pláže č. 2 pořízený dne 1.7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro) .....	28
Obrázek 15: Brakické jezero Paola oddělené od moře pobřežní dunou (URL5: <a href="https://blog.zingarate.com/parconazionaledelcirceo/spiaggia-torre-paola/">https://blog.zingarate.com/parconazionaledelcirceo/spiaggia-torre-paola/</a> ) .....	29
Obrázek 16: Snímek čištěné pláže č. 3 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro) .....	29
Obrázek 17: Vulkanologická mapa s přehledem sopečné činnosti, upraveno autorem (De Rita et al., 2002) .....	30

Obrázek 18: Snímek nečištěné pláže č. 1 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro) .....	31
Obrázek 19: Snímek nečištěné pláže č. 2 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro) .....	31
Obrázek 20: Snímek nečištěné pláže č. 3 pořízený dne 1. 7. 2019 (zdroj: Google Earth Pro) .....	32
Obrázek 21: Schéma znázorňující klíčové kroky praktické část práce.....	33
Obrázek 22: Zobrazení pokrytí snímku a náhled optického snímku v prostředí Copernicus scihub (Copernicus ©2020) .....	35
Obrázek 23: Vytvořená referenční spektra tzv. endmembers (zdroj: Google Earth Pro) .....	36
Obrázek 24: Spektrální křivka pro jednotlivé kategorie – sopečný popel a prach, vodu, vegetaci a písek .....	37
Obrázek 25: Klasifikované optické snímky (sopečná prach a popel, voda, vegetace, písek) .....	37
Obrázek 26: Snímek zobrazující chybová data .....	38
Obrázek 27: Snímek zobrazující chybová data .....	39
Obrázek 28: Mapa znázorňující pokrytí a náhled radarového snímku (Copernicus ©2020).....	40
Obrázek 29: Prostředí softwaru SNAP s nahraným radarovým snímek.....	41
Obrázek 30: Snímky zobrazující hodnoty zpětného rozptylu v období říjen 2018 ....	42
Obrázek 31: Struktura nečištěné pláže č. 2 (levý snímek) a čištěné pláže č. 2 (pravý snímek) .....	44
Obrázek 32: Přípravné práce na čištěné pláže č. 1 ze dne 26. 4. 2018 (zdroj: Google Earth Pro) .....	44
Obrázek 33: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za jaro 2019.....	45
Obrázek 34: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za léto 2019.....	46
Obrázek 35: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za podzim 2019.....	47
Obrázek 36: Výsledné procentuální hodnoty klasifikovaného optického snímku za zimu 2019.....	48
Obrázek 37: Znázornění vývoje klasifikační třídy vegetace .....	49

Obrázek 38: Srovnání hodnot zpětného rozptylu na jednotlivých lokalitách .....	50
Obrázek 39: Průměrné hodnoty zpětného rozptylu za rok 2018 .....	51
Obrázek 40: Průměrné hodnoty zpětného rozptylu za časové období září–prosinec 2015 .....	52
Obrázek 41: Průměrné hodnoty zpětného rozptylu za časové období říjen–prosinec 2014.....	53
Obrázek 42: Rozdílná úroveň vodní hladiny způsobená vlivem přílivu a odlivu (zdroj: Google Earth Pro .....	56

---

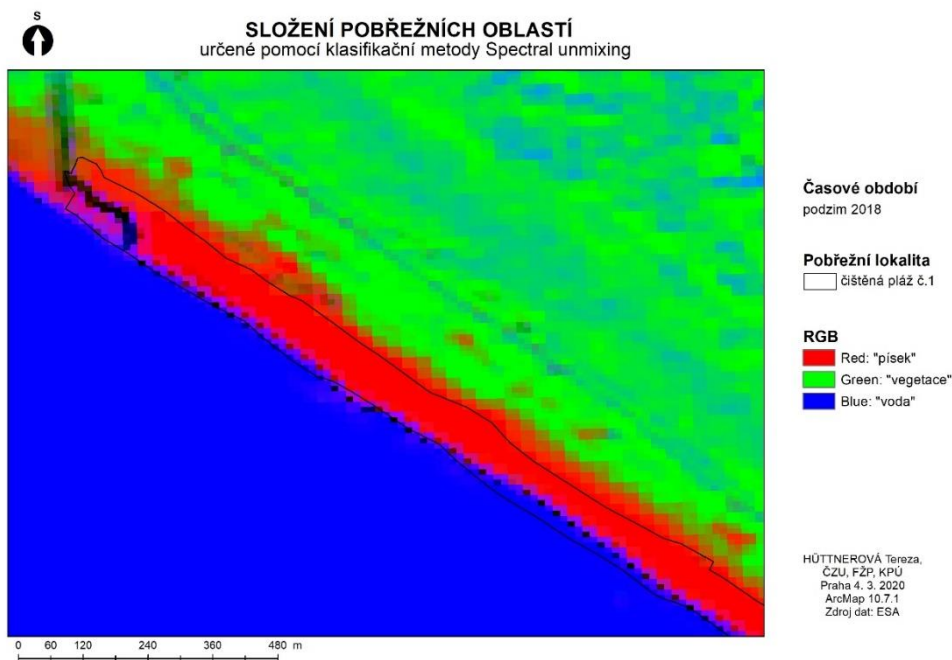
## 11 SEZNAM TABULEK

---

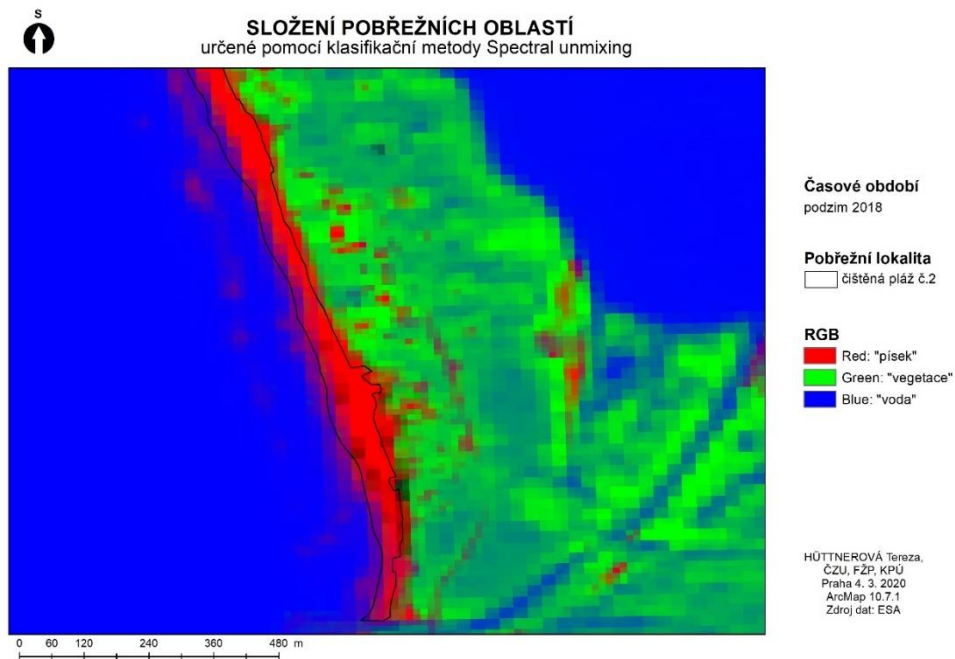
Tabulka 1 : Přehled použitých optických snímků s datem jejich pořízení včetně času snímání satelitem Sentinel-2.....	35
Tabulka 2 : Přehled použitých radarových snímků s datem jejich pořízení včetně času snímání satelitem Sentinel-1.....	40

## 12 PŘÍLOHY

Příloha č.1: Klasifikovaný optický snímek za sledované podzimní období 2018 na čištěné pláži č.1

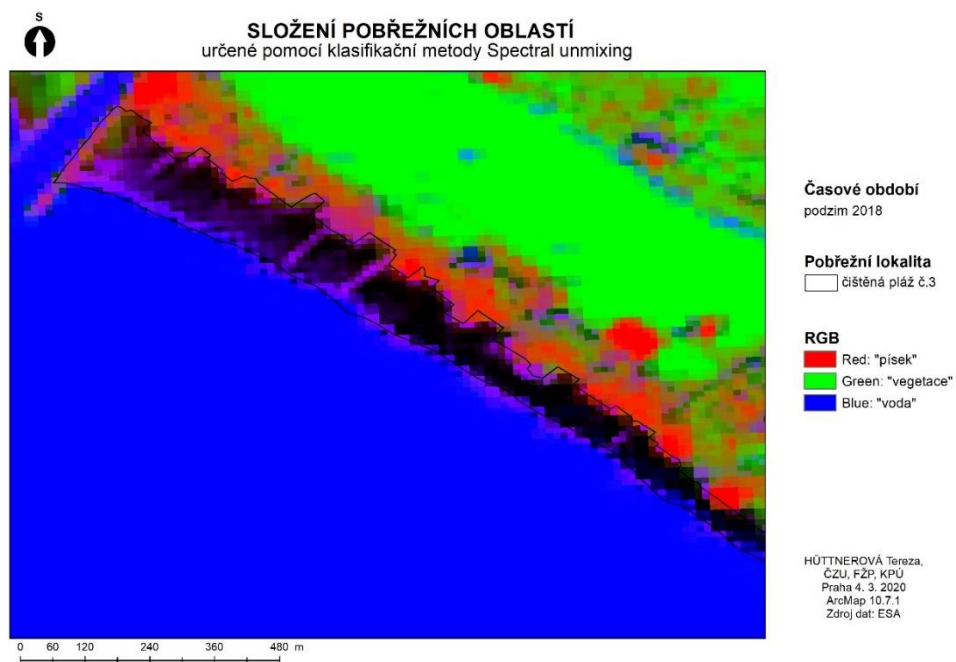


Příloha č.2: Klasifikovaný optický snímek za sledované podzimní období 2018 na čištěné pláži č.2

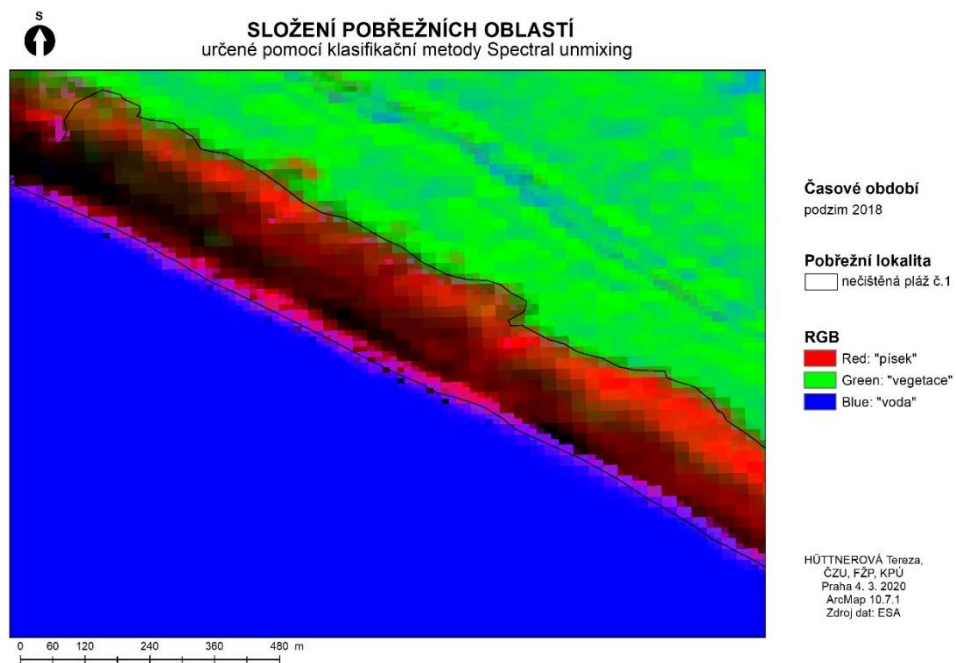




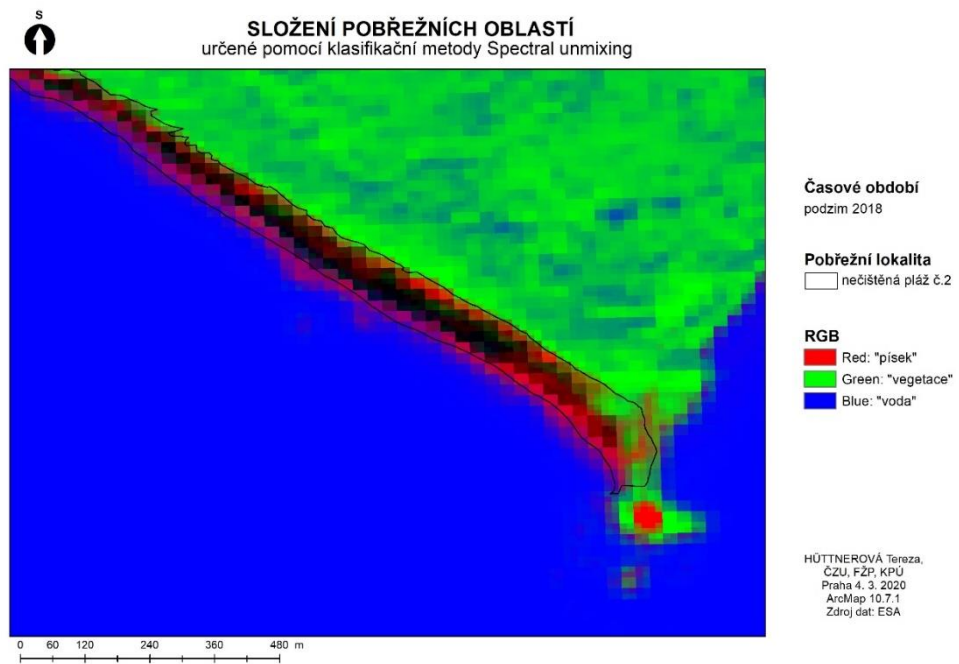
Příloha č.3: Klasifikovaný optický snímek za sledované podzimní období 2018 na čištěné pláži č.3



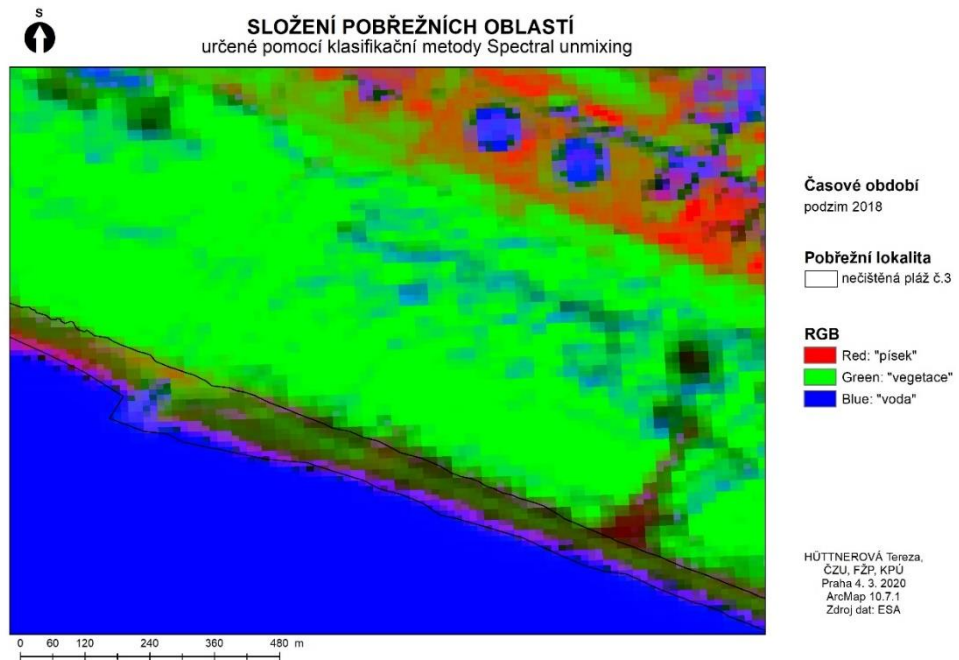
Příloha č.4: Klasifikovaný optický snímek za sledované podzimní období 2018 na nečištěné pláži č.1



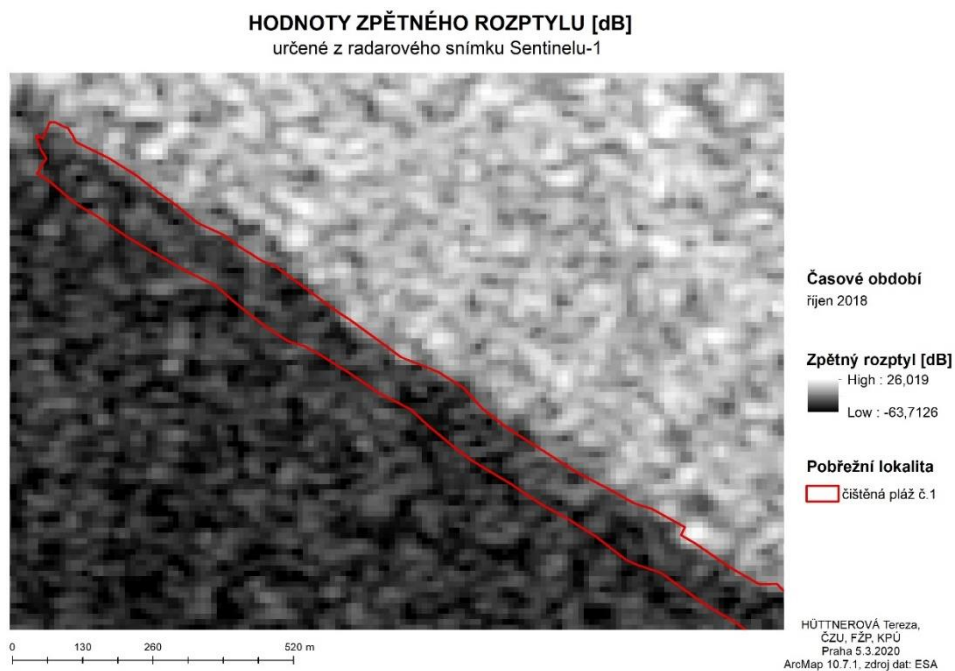
Příloha č.5: Klasifikovaný optický snímek za sledované podzimní období 2018 na nečištěné pláži č.2



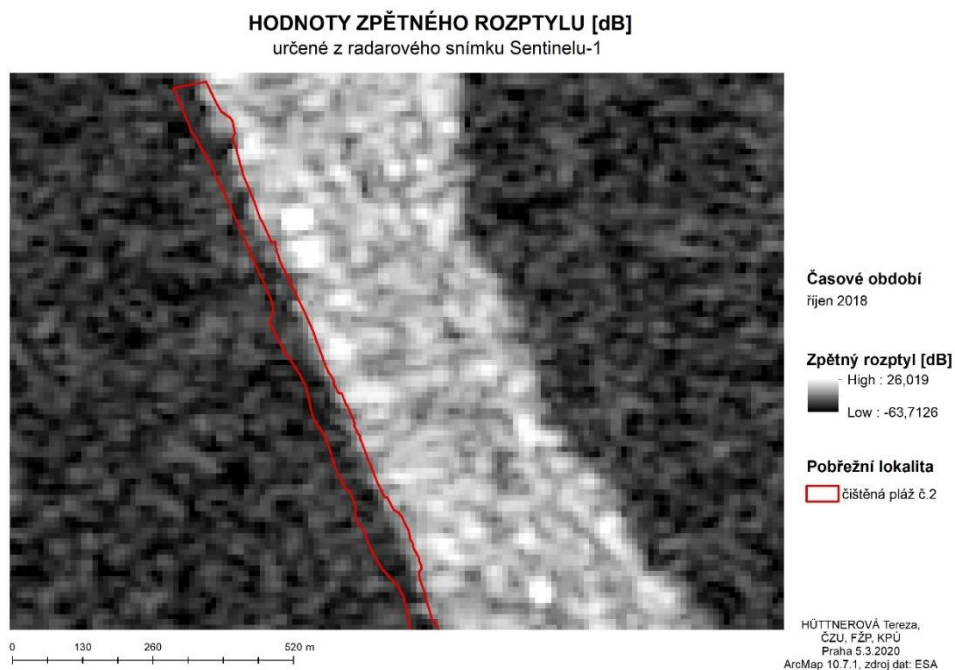
Příloha č.6: Klasifikovaný optický snímek za sledované podzimní období 2018 na nečištěné pláži č.2



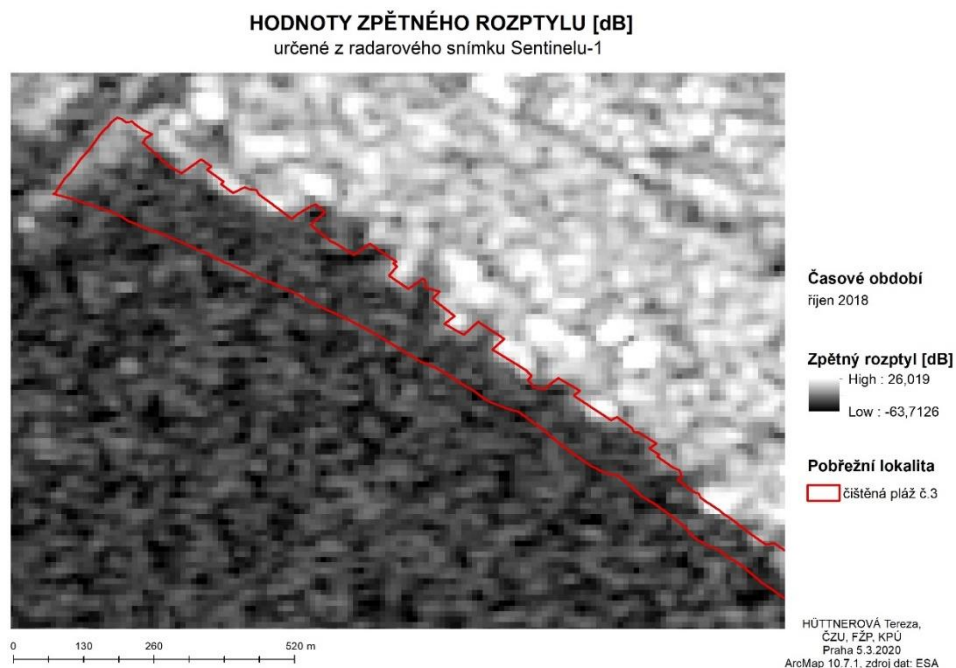
Příloha č.7: Vyhodnocené hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období říjen 2018  
na čištěné pláži č.1



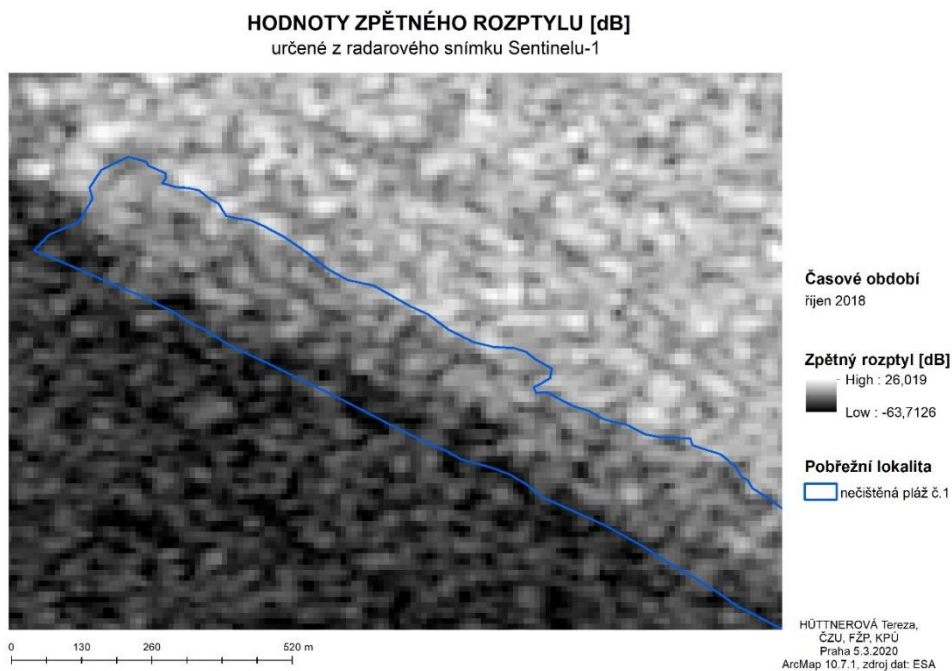
Příloha č.8: Vyhodnocené hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období říjen 2018  
na čištěné pláži č.2



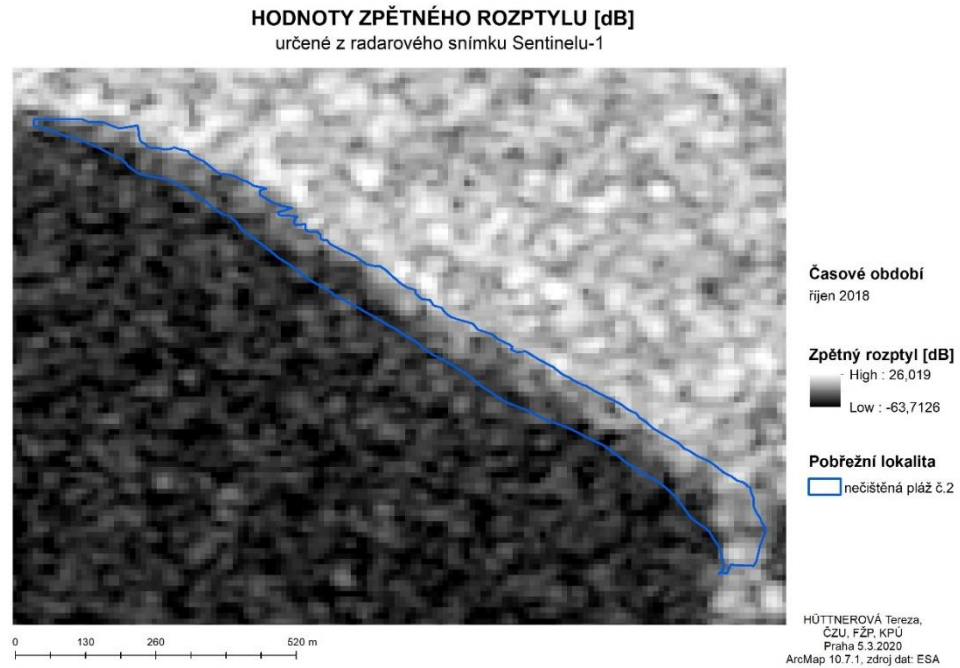
Příloha č.9: Vyhodnocené hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období říjen 2018 na čištěné pláži č.3



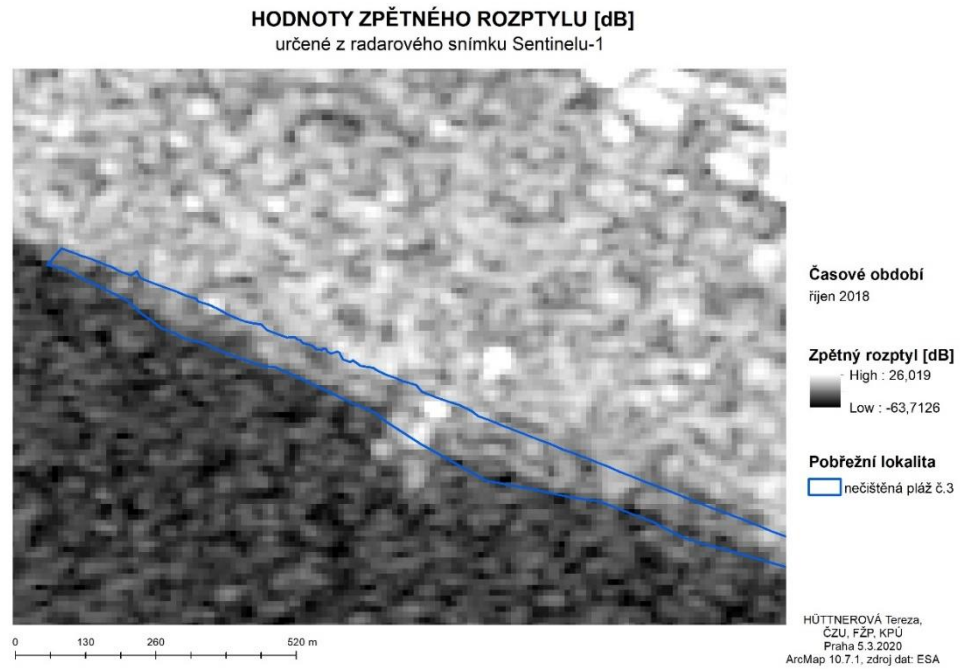
Příloha č.10: Vyhodnocené hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období říjen 2018 na nečištěné pláži č.1



Příloha č.11: Vyhodnocené hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období říjen 2018 na nečistěné pláži č.2



Příloha č.12: Vyhodnocené hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období říjen 2018 na nečistěné pláži č.3



Príloha č.13: Hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období leden – prosinec 2018 (zdroj: autor)

	čistištěná pláž č.1	čistištěná pláž č.2	čistištěná pláž č.3	nečistištěná pláž č.1	nečistištěná pláž č.2	nečistištěná pláž č.3
leden	-24,620854	-23,751756	-23,181057	-23,964715	-21,169112	-24,620854
únor	-23,824711	-22,417936	-22,042999	-22,982459	-21,885338	-19,158507
březen	-23,447921	-22,306569	-22,016645	-22,548435	-20,934914	-20,02157
duben	-24,73715	-23,467601	-22,937277	-23,153529	-22,329758	-20,996705
květen	-23,351854	-22,760647	-21,2856	-21,529338	-21,188817	-18,036234
červen	-23,042292	-22,311624	-20,475444	-20,808337	-20,265637	-19,183465
červenec	-23,969607	-22,721425	-21,024484	-22,03748	-21,25923	-19,491358
srpen	-22,056704	-21,433851	-19,758671	-21,507629	-20,648953	-19,636956
září	-24,207128	-23,384901	-21,709575	-22,005258	-21,66841	-19,858929
říjen	-23,379998	-22,957212	-22,219792	-20,68105	-20,748174	-18,883986
listopad	-24,519502	-23,745965	-23,140504	-22,06899	-21,833736	-19,673066
prosinec	-23,616284	-21,956882	-22,220398	-21,744144	-21,200588	-20,162267

Příloha č.14: Hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období září – prosinec 2015 (zdroj: autor)

	čištěná pláž č.1	čištěná pláž č.2	čištěná pláž č.3	nečištěná pláž č.1	nečištěná pláž č.2	nečištěná pláž č.3
září	-23,20138	-23,07605	-22,37685	-21,21892	-21,45153	-19,13816
říjen	-22,63141	-23,12562	-23,03206	-19,46209	-21,35183	-19,30236
listopad	-23,62119	-23,15403	-22,58455	-21,32842	-21,75621	-18,90511
prosinec	-23,76826	-23,74222	-23,14582	-21,77066	-22,47171	-20,18767

Příloha č.15: Hodnoty zpětného rozptylu v jednotkách dB za sledované období říjen – prosinec 2014 (zdroj: autor)

	čištěná pláž č.1	čištěná pláž č.2	čištěná pláž č.3	nečištěná pláž č.1	nečištěná pláž č.2	nečištěná pláž č.3
říjen	-24,452	-23,507	-23,308392	-21,473	-21,761	-19,7419
listopad	-24,055	-23,305	-22,768298	-21,908	-22,413	-19,273043
prosinec	-24,856	-23,712	-22,986583	-22,878	-22,840	-20,046963

Příloha č. 16: Složení pláží za časové období jaro 2018 (zdroj: autor)

Lokality	sopečný popel	voda	vegetace	písek	chybová data
čištěná pláž č.1	3,361%	8,239%	5,168%	83,232%	1,680%
čištěná pláž č.2	22,521%	15,377%	6,470%	55,631%	2,484%
čištěná pláž č.3	30,697%	32,346%	11,044%	25,913%	1,297%
nečištěná pláž č.1	32,494%	9,415%	18,323%	39,769%	0,967%
nečištěná pláž č.2	50,103%	11,102%	20,265%	18,530%	1,571%
nečištěná pláž č.3	15,073%	22,871%	30,166%	31,890%	1,265%

Příloha č. 17: Složení pláží za časové období léto 2018 (zdroj: autor)

Lokality	sopečný popel	voda	vegetace	písek	chybová data
čištěná pláž č.1	4,248%	7,257%	5,903%	82,592%	1,893%
čištěná pláž č.2	18,666%	9,563%	7,783%	63,989%	1,335%
čištěná pláž č.3	26,924%	25,775%	10,261%	37,041%	1,614%
nečištěná pláž č.1	46,261%	8,824%	9,554%	35,361%	1,018%
nečištěná pláž č.2	54,926%	9,823%	16,524%	18,727%	2,560%
nečištěná pláž č.3	26,709%	21,545%	24,259%	27,488%	1,431%

Příloha č. 18: Složení pláží za časové období podzim 2018 (zdroj: autor)

Lokality	sopečný popel	voda	vegetace	písek	chybová data
čištěná pláž č.1	3,940%	12,788%	3,386%	79,887%	1,189%
čištěná pláž č.2	2,772%	22,123%	1,924%	73,181%	1,670%
čištěná pláž č.3	59,439%	15,553%	5,137%	19,871%	0,622%
nečištěná pláž č.1	33,368%	4,408%	12,914%	49,311%	0,826%
nečištěná pláž č.2	25,606%	14,248%	25,783%	34,364%	1,024%
nečištěná pláž č.3	26,715%	14,794%	29,705%	28,787%	0,727%

Příloha č. 19: Složení pláží za časové období zima 2018 (zdroj: autor)

Lokality	sopečný popel	voda	vegetace	písek	chybová data
čištěná pláž č.1	20,812%	6,178%	2,439%	70,571%	2,043%
čištěná pláž č.2	9,920%	19,005%	7,836%	63,240%	2,473%
čištěná pláž č.3	47,328%	41,176%	10,236%	1,260%	1,958%
nečištěná pláž č.1	50,467%	12,708%	11,638%	25,187%	1,437%
nečištěná pláž č.2	37,727%	15,094%	20,367%	26,811%	1,773%
nečištěná pláž č.3	42,359%	26,397%	26,440%	4,804%	1,885%