

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD



NÁVRH A OVĚŘENÍ ROHOVÉHO ODRAŽEČE PRO  
ÚČELY STANOVENÍ POLOHOVÉ CHYBY AKTIVNÍCH  
DRUŽICOVÝCH SYSTÉMŮ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Bc. Filip Vejdovský

© 2021

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Filip Vejdovský

Krajinné inženýrství  
Regionální environmentální správa

### Název práce

Návrh a ověření koutového odražeče pro účely aktivních družicových systémů.

### Název anglicky

Design and verification of a corner reflector for active satellite systems.

---

### Cíle práce

Práce se bude skládat ze dvou částí. V první části se bude student podílet na návrhu, výrobě a instalaci koutového odražeče. V druhé části student ověří funkčnost a parametry navrženého koutového odražeče pomocí snímků ze satelitu Sentinel 1.

### Metodika

V rešeršní části práce budou pojednána témata dálkového průzkumu Země, radarového snímání a koutové odražeče.

Praktická část bude obsahovat výpočet charakteristik zkonstruovaného odražeče a popis jeho konstrukce.

Dále bude provedeno zhodnocení funkčnosti navrženého koutového odražeče pomocí snímků družice Sentinel-1 v programu SNAP.

---

Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

SAR, koutový odražeč, dálkový průzkum Země, radar, Sentinel 1, ESA

---

Doporučené zdroje informací

Halounová, Lena, a Karel Pavelka. Dálkový průzkum Země. ČVUT, Praha, 2005.

Pavelka, Dr.Ing. Karel. Zpracování obrazových záznamů DPZ. ČVUT, Praha, 1999.

Schuber, Adrian, David Small, Miranda Nuno, Dirk Geudtner, a Erich Meier. „Sentinel-1A Product Geolocation Accuracy: Commissioning Phase Result.“ Remote Sensing, 2015.

---

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. David Moravec, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Konzultant

Kropáček Jan

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2021

doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma:

„Návrh a ověření rohového odražeče pro účely stanovení polohové chyby aktivních družicových systémů.“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, 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 vědom, 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 29.3.2021

---

Bc. Filip Vejdovský

### **Poděkování**

Srdečné poděkování patří vedoucímu diplomové práce panu Ing. Davidovi Moravcovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, velkou vstřícnost, ochotu a čas, který mi věnoval při konzultacích.

V Praze 29.3.2021

---

Bc. Filip Vejdovský

## **Abstrakt**

Cílem této práce byl návrh, konstrukce a ověření koutového odražeče. Koutové odražeče slouží jako pasivní zařízení, které je využíváno v DPZ. Mají široké uplatnění, pokud se jedná o měření posunů terénu, měření přesnosti satelitů, či pozorování klimatických změn. Je velké množství konstrukcí a také materiálů použitelných na koutový odražeč. V této práci jsou shrnuty základní informace o DPZ. Dále se práce zabývá různými druhy konstrukcí a jejich vlastnostmi. Na základě těchto poznatků je navržen a zkonstruován koutový odražeč a vybráno místo pro jeho instalaci. Pomocí dat získaných z radaru Sentinel-1A je tento odražeč ověřen. Výsledky jsou porovnány s teoretickými poznatky a vyhodnoceny. Přínosem této práce je ověření teoretických poznatků, které se týkají především konstrukce. Jedná se především o přesnost při výrobě konstrukce. Dále je možné na základě těchto poznatků navrhnout a postavit další, plně funkční odražeč, který je možné využívat pro další pokusy.

**Klíčová slova:** dálkový průzkum Země, ESA, koutový odražeč, radar, SAR, Sentinel 1

## **Abstract**

The aim of this work was the design, construction and inspection of a corner reflector. Corner reflector is a passive device that is used in remote sensing. They are widely used when it comes to measuring terrain displacements, measuring the accuracy of satellites, or observing climate change. There is a large amount of construction and used materials applicable to the corner reflector. This work summarizes the basic information about remote sensing. Furthermore the work deals with different types of construction and their properties. Based on this knowledge, a corner reflector is designed and constructed and a place for its installation is chosen. Create data obtained from the radar Sentinel-1A is this reasoned verified. The results are compared with theoretical knowledge and evaluated. The benefit of this work is the control of theoretical knowledge concerning the main structures. It is mainly about precision in the construction of the device. Furthermore, based on these findings, it is possible to design and build another, fully functional reflector, which can be performed for further experiments.

**Keywords:** corner reflector, ESA, radar, remote sensing, SAR, Sentinel 1



# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Literární rešerše.....</b>	<b>3</b>
3.1 Dálkový průzkum Země (DPZ).....	3
3.2 Elektromagnetické záření .....	3
3.3 Vlnové spektrum .....	5
3.3.1 Zdroje elektromagnetického záření.....	6
3.3.2 Mikrovlnné záření .....	6
3.3.3 Vlnová délka .....	7
3.4 Radarová data .....	7
3.4.1 Radar .....	7
3.4.2 Druhy radarů .....	8
3.4.3 Prostorové rozlišení.....	8
3.5 Faktory ovlivňující záření .....	9
3.5.1 Interakce s atmosférou .....	9
3.5.2 Interakce mezi objekty a zářením .....	10
3.6 Geometrické charakteristiky záznamu .....	12
3.6.1 Měřítko distorze v šikmém směru.....	12
3.6.2 Distorze způsobená nerovností terénu .....	12
3.7 Zpracování radarových dat .....	14
3.7.1 Geometrické korekce .....	14
3.7.2 Atmosférické korekce .....	15
3.7.3 Radiometrická korekce.....	15
3.8 SAR Radar.....	15
3.8.1 Dopplerův efekt.....	16
3.8.2 Interferometrie.....	16
3.9 Sentinel 1 .....	17
3.10 Koutové odražeče .....	18
<b>4. Metodika.....</b>	<b>23</b>
4.1 Návrh odražeče.....	23
4.2 Umístění .....	27

4.3	Zpracování snímků .....	28
<b>5.</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>29</b>
<b>6.</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>33</b>
<b>7.</b>	<b>Závěr a přínos práce.....</b>	<b>36</b>
<b>8.</b>	<b>Přehled literatury a použitých zdrojů.....</b>	<b>37</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam grafů, obrázků a tabulek.....</b>	<b>41</b>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

DPZ	Dálkový průzkum Země
ESA	European Space Agency
IFW	Instantaneous Field of View
RAR	Real Aperture Radar
RCS	Radar cross section
SAR	Synthetic aperture radar

## 1. Úvod

Dálkový průzkum Země je dnes využit v mnoha oblastech lidské činnosti a výzkumu. Zažívá obrovský rozvoj. Radarová data jsou využívána k monitoringu zemského povrchu, a to jak pevniny, tak oceánů. Ale je možné ho využít i k výzkumu a monitoringu atmosférických jevů. Má mnoho výhod, mikrovlnné záření není omezeno denním světlem, dokáže procházet atmosférou bez velkých ztrát.

Tato práce se zabývá konstrukcí koutového odražeče a dále pak měřením přesnosti polohy satelitu za jeho pomoci. Jako radar pro tuto práci byl vybrán Sentinel 1.

Práce je rozdělena na teoretickou část, která se zabývá radarovými daty, principy jejich získávání a zpracování. Také se v této části řeší konstrukce odražeče. Další částí je praktická, která je zaměřena na měření polohy koutového odražeče pomocí satelitu. V závěru jsou vyhodnoceny jednotlivá měření, popsány výsledky a navrženy úpravy konstrukce.

## **2. Cíle práce**

Cílem práce je návrh a ověření rohového odražeče pro účely stanovení polohové chyby aktivních družicových systémů.

Součástí této práce je podrobná analýza charakteristik dálkového průzkumu, možností rohových odražečů na základě odborné literatury. Další částí je komparace jednotlivých tvarů a velikostí za účelem správného výběru koncepce odražeče.

Výstupem analýz bude výběr a konstrukce odražeče. Konstrukce odražeče bude následně ověřena na základě odražených signálů satelitu. Při požadovaném odrazu, bude odražeč moci být využit ke stanovení polohové chyby aktivních družicových systémů.

### **3. Literární řešerše**

#### **3.1 Dálkový průzkum Země (DPZ)**

„Dálkový průzkum je založen na fyzikálním poznatku, že pro každý fyzikální objekt a jeho stav je charakteristický způsob, jakým ovlivňuje okolní silová pole. Měřením charakteristik polí lze zpětně zjistit údaje o objektu, aniž bychom se s ním dostali do přímého kontaktu.“ (Kolář 1990)

„Dálkový průzkum je metoda, pomocí které je možno získávat informace o objektech a jevech bezkontaktními metodami. Člověk využívá řadu různých metod a používá proto různá technologická vybavení, aby získal kvantitativní a kvalitativní informace o těchto jevech a o jejich vlivu na jejich okolí. Existence této metody je založena na přenosu informací pomocí elektromagnetického záření. Využívané elektromagnetické záření tvoří jen část známého rozsahu elektromagnetického záření.“ (Halounová a Pavelka 2005)

Bezdotykové měření je založeno na poznatku, že každý objekt a jeho stav charakteristicky ovlivňuje a působí na okolní silová pole. Těmi může být pole elektromagnetické, gravitační, magnetické aj. (Pavelka, Zpracování obrazových záznamů DPZ 1999).

#### **3.2 Elektromagnetické záření**

Výběr konkrétního způsobu dálkového průzkumu, výběr silového pole, závisí na tom, jak malé jsou informační ztráty při přenosu informace mezi pozorovaným objektem a čidlem detektoru. Z tohoto důvodu se výhodně používá elektromagnetické pole (Kolář 1990).

Elektromagnetické záření vzniká přeměnou z jiných forem energií, jako jsou kinetická, chemická tepelná, elektrická, magnetická nebo jaderná. Velké množství transformací poskytuje elektromagnetické vlny různých oblastí elektromagnetického spektra (Halounová a Pavelka 2005).

Elektromagnetické záření se skládá z elektrického pole (E), které má proměnlivou amplitudu (maximální výchylku) ve směru kolmém na směr záření a z magnetického

pole (M) orientovaného kolmo k elektrickému poli i směru šíření záření. Obě pole se šíří rychlosti světla (c) (Remote sensing Tutorials 2019).

Elektromagnetická záření je tvořené vlnami a těch se řeší tři základní vlastnosti. Jsou jimi:

### **Vlnová délka**

Vlnová délka – délka vlny je vzdálenost dvou nejbližších bodů, které se periodicky opakují, značí se  $\lambda$  a jednotkou je m (metr) nejvyšší výkmit vlnové délky je amplituda

### **Frekvence**

Frekvence je počet opakování periodického jevu za časový úsek, značí se  $\nu$  (řecké  $\nu$ ) a jednotkou je hertz. Český ekvivalent je slovo kmitočt.

### **Polarizace**

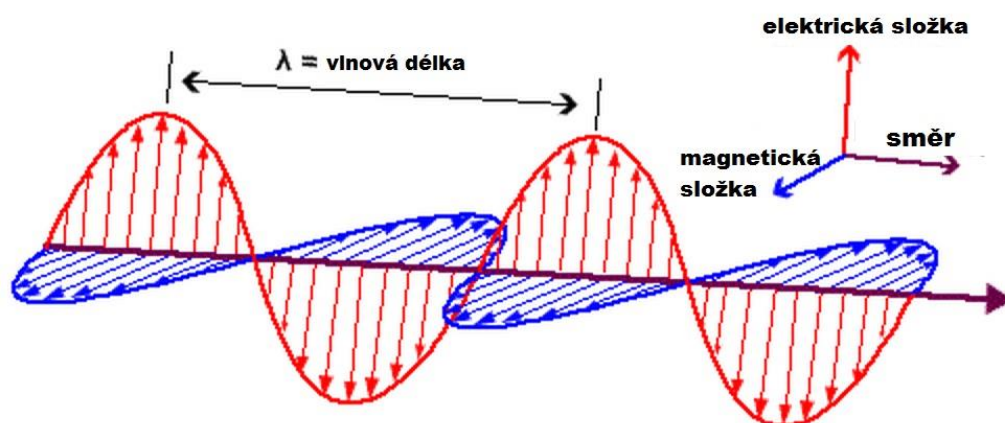
Elektromagnetické záření je složeno ze dvou částí, jak již název předpovídá. Je to vektorová složka elektrická a složka magnetického pole. Tyto složky jsou k sobě kolmé a jejich natočení měřené od směru šíření se nazývá polarizace. Nepolarizované jsou vlny, které ve všech směrech oscilují. Polarizace se měří u vyslané a přijímané vlny, jelikož se polarizace mění při odrazu od povrchu. Polarizované vlny jsou takové, které mají systematizovaný vztah mezi směrem oscilace vektoru elektrického pole a směrem šíření této vlny. V Tabulce 1 jsou uvedené druhy polarizací.

Tabulka 1: Druhy polarizací

Jednoduchá polarizace	HH, VV, HV, VH
Duální polarizace (Sentinel 1)	HH + HV, VV + VH nebo HH + VV
Alternativní polarizace	HH +HV alternováno VV +VH
Plná polarizace	HH + VV + HV + VH

*Zdroj: (Jena nedatováno)*

## Elektromagnetické pole



Obrázek 1: Schéma elektromagnetického pole

Zdroj: (Ing. Ivo Novák 2015)

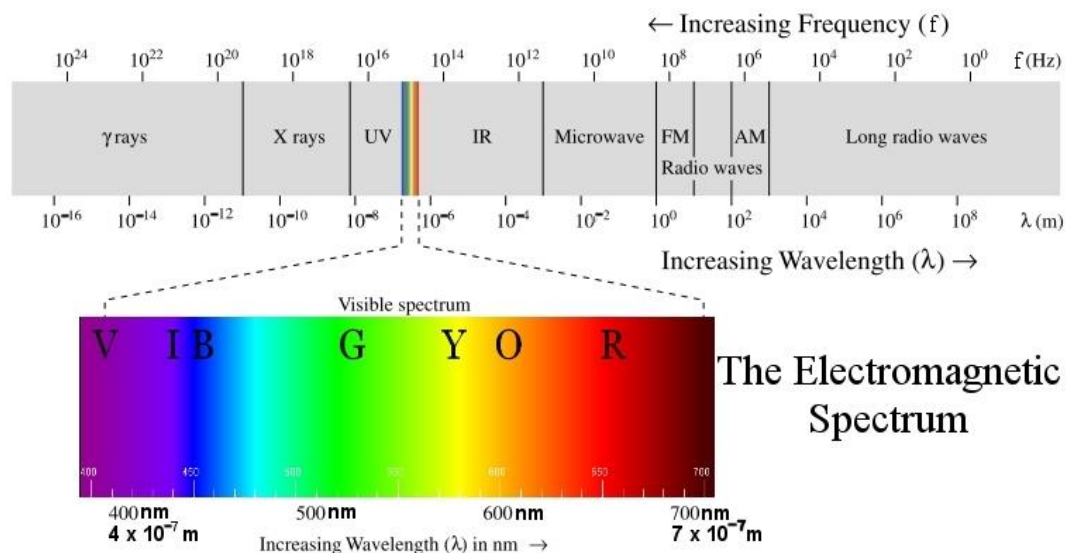
### 3.3 Vlnové spektrum

Vzhledem k pestrosti jevů, které jsou doprovázeny zrychleným pohybem nabytých částic, má elektromagnetické záření, které se v přírodě vyskytuje, spojitě spektrum. Celé spektrum je rozděleno do několika základních druhů elektromagnetického záření podle vlnové délky nebo frekvence (Kolář 1990).

Jelikož elektromagnetické záření se šíří rychlostí světla, mají vlnové délky vždy určitou frekvenci, která je na délce přímo závislá:

Dle frekvence se elektromagnetické záření dělí dle typu na viditelné, infračervené, mikrovlnné a další. Elektromagnetické spektrum je ilustrováno na Obrázku 2.





Obrázek 2: Elektromagnetické spektrum

Zdroj: (Cybersoft 1996-2021)

### 3.3.1 Zdroje elektromagnetického záření

Elektromagnetické záření se dělí na dva druhy podle svého původu. Jedním je přirozené, tj. například záření Slunce, Země a dalších předmětů. Jde o přírodní zdroje záření. Při práci s tímto druhem záření jde o „pasivní dálkový průzkum“. Druhou možností je uměle vytvořené záření. Zde se jedná o „aktivní dálkový průzkum“ a zdroji zde jsou různé antény, lasery. Tyto systémy jsou schopné záření vytvořit, vyslat a také zpátky zachytit určitou frekvenci a pracovat s ní

### 3.3.2 Mikrovlnné záření

Jedním ze spekter v Dálkovém průzkumu Země (DPZ) je mikrovlnné spektrum.

Mikrovlnné záření pokrývá rozsah od 1 mm do 1 m a je v nemalé míře tvořeno umělým způsobem. Vzniká tak záření s několikanásobně vyšší intenzitou, než je záření stejné vlnové délky produkované přírodními zdroji (Halounová a Pavelka 2005).

Snímání zemského povrchu v mikrovlnné části spektra eliminuje některé problémy, se kterými se setkáváme u optického či infračerveném snímání. Na rozdíl od většiny přístrojů, které měří odražené sluneční záření, má radar vlastní zdroj. Další velkou předností mikrovlnného snímání je délka samotných vln, která jim umožňuje prostoupit atmosféru téměř za jakýchkoliv podmínek, tedy i přes oblaka, dešť, sněžení

i dým. Signál radaru operujícího s vlnovou délkou větší než 2 cm je schopen proniknout oblaky. Pokud pracuje s vlnovou délkou větší než 4 cm, pronikne také deštěm (Barbieri a Lichtenegger 2005).

### 3.3.3 Vlnová délka

Různé radarové systémy používají různé vlnové délky radiového spektra. Vztah mezi vlnovou délkou a frekvencí je definován rovnicí  $c = \lambda \times \nu$ , kde  $c$  = rychlost světla,  $\lambda$  = vlnová délka a  $\nu$  = frekvence. Důležitější je ovšem fakt, že různé vlnové délky mají různé penetrační schopnosti. Delší vlnové délky zpravidla pronikají hlouběji do prostředí, ale v důsledku nižší energie a delší vlnové délky mají zpravidla nižší prostorové rozlišení. Zatímco krátké vlnové délky obvykle neproniknou tak hluboko, ale mají vyšší prostorové rozlišení (Aronoff 2005).

Tabulka 2: Vlnová délka

Frequency band	Frequency range (GHz)	Wavelength range (cm)
L band	1-2	15-30
S band	2-4	7,5-15
C band	4-8	3,75-7,5
K band	18-27	1,11-1,67
W band	75-110	0,27-0,4

*Zdroj: (ESA, European Space Agency 2000-2021)*

V Tabulce 2 jsou zobrazeny různé vlnové délky jejich frekvence a velikost. Pro tuto práci bude použita vlnová délka C band, o frekvenci 4-8 GHz a vlnové délce 4-8 cm.

## 3.4 Radarová data

### 3.4.1 Radar

Radar je aktivní mikrovlnný senzor. Výraz „aktivní“ znamená, že je vybaven vlastním zdrojem mikrovlnného záření. Akronym znamená RAdio Detection And Ranging, z toho vyplývá, že radar byl vyvinut proto, aby byly pomocí radiových vln určovány objekty a jejich umístění (Halounová a Pavelka 2005). Dle Chan a Koo (2008) vysílač vygeneruje silnou elektromagnetickou vlnu v radiových vlnových délkách. Anténa zachytí zpětnou ozvěnu a signál převede pomocí přijímače na digitální číslo

### **3.4.2 Druhy radarů**

V praxi se pro snímkování Země používají dva typy radarů. Prvním je radar s reálnou aperturou (RAR), který je konstrukčně jednodušší, ale také pro vesmírný dálkový průzkum nepoužitelný. V případě, že bychom chtěli dosáhnout prostorového rozlišení lepšího než 100 m, anténa by musela být dlouhá i několik kilometrů (Barbieri a Lichtenegger 2005).

Druhým typem je radar se syntetizovanou aperturou (SAR), je konstrukčně složitější, avšak umožňují simulovat anténu velkých rozměrů díky syntéze signálů více anténami, které jsou blízko sebe ve stejné poloze. Díky SAR můžeme získat snímky s vysokým rozlišením i z výšek, ve kterých se pohybují družice, na kterých bývají umístěny (Hellsten 1996).

### **3.4.3 Prostorové rozlišení**

U radaru se rozlišuje příčné a azimutové rozlišení.

Detail rozpoznatelný na snímku je závislý na prostorovém rozlišení senzoru a odpovídá velikosti nejmenšího objektu, který je možný zaznamenat. Prostorové rozlišení senzorů záleží zejména na IFOV (Instantaneous Field of View) – okamžitém zorném poli (Oršulák a Pacina 2010).

#### **Příčné prostorové rozlišení**

Příčnému prostorovému rozlišení se také říká rozlišení ve směru osy letu. Toto rozlišení je dáno délkou pulzu. Délka pulzu se určuje časem, po který je pulz vyslán. V případě, že je šikmá vzdálenost kratší než polovina délky pulzu, dochází k časovému překryvu odrazů. V tomto případě se objekty zaznamenají jako jeden. Rozlišení ve směru osy letu se v šikmých vzdálenostech rovná polovině délky pulzu. Toto rozlišení není na rozdíl od rozlišení měřených v horizontálních vzdálenostech závislé na vzdálenosti, ve které se objekt od nosiče nachází (Dobrovolný 1998).

#### **Azimutové prostorové rozlišení**

Azimutové rozlišení je dáno šířkou vyslaného paprsku, kterou určuje délka antény a vlnová délka vyslaného signálu (Barbieri a Lichtenegger 2005). Pro RAR radary bude klíčová vzdálenost od měřeného objektu. Čím bude vzdálenost delší, tím horší rozlišení nastane. Zde je výhoda SAR radaru. Dle Stimsona (1998) každý objekt

na zemském povrchu je pohybujícím se radarem snímán po určitý časový úsek, který je dán šířkou vyslaného paprsku. Pokaždé když je vyslán impulz, radar se na své dráze letu posune o kus dál. Echa těchto impulzů jsou potom zpracována tak, jako kdyby byla délka antény rovna délce trasy, kterou radar za dobu snímání urazí.

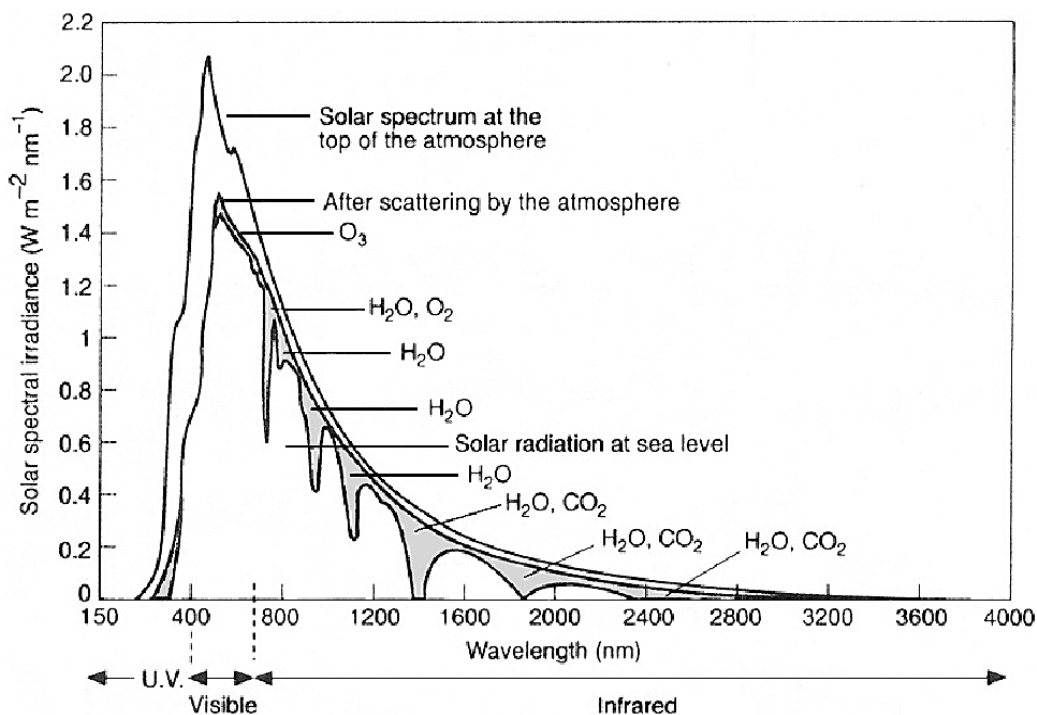
### **3.5 Faktory ovlivňující záření**

#### **3.5.1 Interakce s atmosférou**

Předtím než záření použité pro DPZ dosáhne povrchu Země, musí projít atmosférou. Částice a plyny v atmosféře mohou procházející záření ovlivnit. Tyto jevy jsou způsobeny mechanismy rozptylu a pohlcování (Oršulák a Pacina 2010).

Atmosférou ale neprochází všechno elektromagnetické záření stejně. Na zemský povrch dopadá záření, jehož energie je dána teoreticky Planckovým zákonem. Realita je obdobná, avšak některé vlnové délky jsou pohlcovány různě intenzivně složkami atmosféry. Částečné vymizení některých vlnových délek oproti teorii nazýváme absorpčními pásy. Naopak místa, kde je absorpce minimální, se nazývá atmosférická okna a jsou vhodná pro pozorování (Pavelka, Zpracování obrazových záznamů DPZ 1999).

Pokud jde o pohlcování, dle Koláře (1990) se nejvíce na atmosférické absorpci podílejí molekuly vodní páry, ozónu a oxidu uhličitého. Ozón zapříčiňuje absorpci slunečního záření na vlnových délkách kratších než 0,3  $\mu\text{m}$  a potom proměnný pás na vlnové délce kolem 9,6  $\mu\text{m}$ . Vodní páry a oxid uhličitý jsou hlavními molekulami, které pohlcují záření na vlnových délkách v blízkém infračerveném pásmu (Obrázek 4). Dále způsobují nepropustnost atmosféry v širokém pásmu vlnových délek od zhruba 20  $\mu\text{m}$  do 1000  $\mu\text{m}$ . Kromě těchto pásů existuje několik slabších pásů, které indikují přítomnost různých plynů. Dále se se na absorpci podílí atmosférický kyslík.



Obrázek 3: Pohlcování záření molekulami vodní páry a oxidem uhličitým

Zdroj: (Dickey a Falkowski 2001)

Rozptyl se objevuje, když částice nebo větší molekuly plynu přítomné v atmosféře ovlivňují elektromagnetické záření a odkloní ho od původní cesty. Vliv rozptylu závisí na vlnové délce záření, množství plynů a vzdálenosti, kterou záření prochází skrz atmosféru. Existují tři druhy rozptylu:

Rayleighův (molekulární) rozptyl – pokud jsou částice v atmosféře menší než  $\lambda$ . Způsobuje modrou barvu oblohy, barevné západy a východy slunce.

Aerosolový rozptyl – způsobují částice obdobné velikosti jako  $\lambda$  (prach, pyl)

Neselektivní rozptyl – způsobují velké částice (vodní kapky, velké kusy prachu). Výsledkem je bílá barva oblaků a mlhy (Oršulák a Pacina 2010).

### 3.5.2 Interakce mezi objekty a zářením

Záření, které dosáhne zemského povrchu, reaguje s objekty třemi různými možnostmi:

- Absorpce;
- Průchod;
- Odraz.

Celková reakce vyslané energie s povrchem bude mít minimálně jeden, ale i kombinaci více druhů interakcí. Poměr mezi těmito interakcemi závisí na vlnové délce, materiálu a stavu objektu. Absorpce nastane, pokud je záření pohlceno objektem. Průchod znamená, že vlny prochází přímo objektem a pokračují dále. Odrazem je označováno přeměření záření od povrchu objektu (Remote sensing Tutorials 2019).

Množství odraženého záření lze charakterizovat tzv. spektrální odrazivostí  $\rho(\lambda)$ , kterou lze definovat jako poměr intenzity odraženého záření ( $M_r$ ) a intenzity záření dopadajícího ( $M_i$ ) na určité vlnové délce ( $\lambda$ ) (Dobrovolný 1998).

$$\rho(\lambda) = \frac{M_r(\lambda)}{M_i(\lambda)}$$

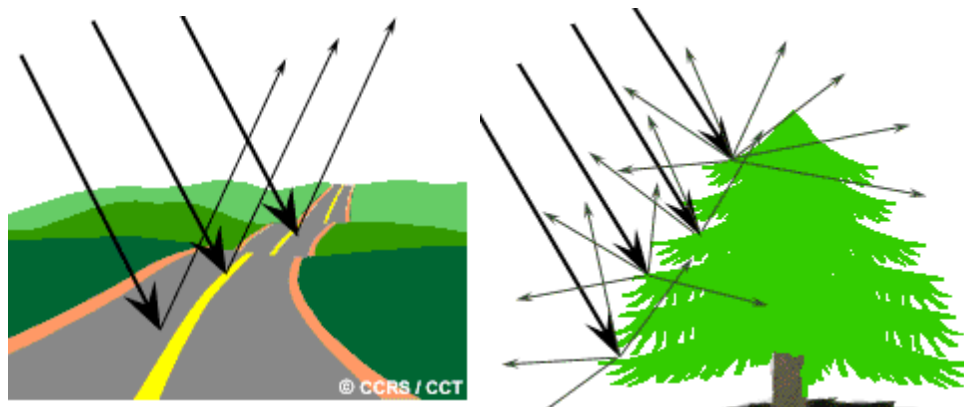
V dálkovém průzkum nás nejčastěji zajímá právě odraz. Rozlišujeme dva druhy odrazu, charakterizující opačné extrémy projevu (viz Obrázek 3):

- Spekulární (zrcadlový) odraz;
- Difúzní (rozptylový) odraz.

Difúzní odrazy jsou význačné především pro optická spektra a pasivní systémy. RADAR využívá všech odrazů, ze kterých je následně složen obraz.

K přesnému měření se používá koutový odražeč, který díky svému tvaru a druhu materiálu, ze kterého je vyroben, vytváří dvojité odraz (2 x zrcadlový), který je možné s pomocí SAR velmi dobře zachytit.

Hlavní roly u DPZ pomocí SAR hraje geometrie povrchu, dále pak homogenost povrchu a velikost částic k délce vysílaných vln. Dále je důležité složení jednotlivých objektů a schopnost jednotlivých částí absorbovat nebo odrážet záření (Remote sensing Tutorials 2019).



Obrázek 4: Odraz záření

*Zdroj: (Remote sensing Tutorials 2019)*

### 3.6 Geometrické charakteristiky záznamu

Radarové zobrazení je čistě matematicko – fyzikální abstrakce. Okolní realitu vnímáme na základě obrazu, který vzniká jako středové promítání, jehož prostorové charakteristiky jsou dány paralaxou různě vzdálených předmětů (Pavelka, Zpracování obrazových záznamů DPZ 1999). U optických přístrojů je umístění objektů v obraze dáno úhlovým měřením vzhledem k dráze nosiče. Naproti tomu radary používají pro umístění objektu ve snímku jeho šikmou vzdálenost od antény. V důsledku tohoto odlišného způsobu pořizování dat, mají radarové snímky svá specifika zkreslení (Cheney a Borden 2009).

#### 3.6.1 Měřítko distorze v šikmém směru

Záznamový systém v šikmém směru je konstruován tak, že prostor mezi přijatými signály odpovídá časovému intervalu mezi odrazy od odpovídajících jevů na zemi (Halounová a Pavelka 2005). Snímek v šikmé vzdálenosti můžeme převést na snímek ve skutečných horizontálních vzdálenostech pomocí trigonometrických funkcí a pomocí informace o nadmořských výškách (Remote sensing Tutorials 2019).

#### 3.6.2 Distorze způsobená nerovností terénu

K distorzi obrazu ve směru kolmé dráhy letu způsobené nerovností terénu dochází i u optických senzorů či skenerů. U radarových snímků však dochází k relativnímu posunutí objektů blíže k senzoru. Jelikož odraz od bližšího objektu či jeho části

je zaznamenán dříve. Tj. objekty, jako nepřiměřeně vysoké domy, nepadají směrem od středu snímku, ale dopadají na opačnou stranu (Remote sensing Tutorials 2019, Pavelka, Zpracování obrazových záznamů DPZ 1999).

Zkreslení, které se dělí na stín, zhuštění a překryv bude dále popsáno a je také ilustrováno na Obrázku 4.:

### **Stín**

Radarový stín nastane, když radarový signál není schopen dosáhnout povrchu a z těchto míst se tedy ani žádný signál nevrátí k záznamovému zařízení. Jelikož z těchto oblastí radar nezaznamená žádnou odraženou energii, ve výsledném snímku se stín projevuje černou barvou. Pokud z těchto oblastí nějaký signál přichází, jedná se o šum (Pavelka, Zpracování obrazových záznamů DPZ 1999, Remote sensing Tutorials 2019).

### **Zhuštění signálu**

Zhuštění radarového signálu nastává, když lokální incidenční úhel je, větší než nula, ale menší než incidenční úhel. Tj. pokud radarový signál doputuje k základně dříve než k vrchol, nastane zhuštění signálu. Maximální zhuštění signálu nastane tehdy, když je radarový paprsek na svah v celé jeho délce kolmý. V tomto případě jsou základna i vrchol zobrazeny současně (Pavelka, Zpracování obrazových záznamů DPZ 1999, Remote sensing Tutorials 2019).

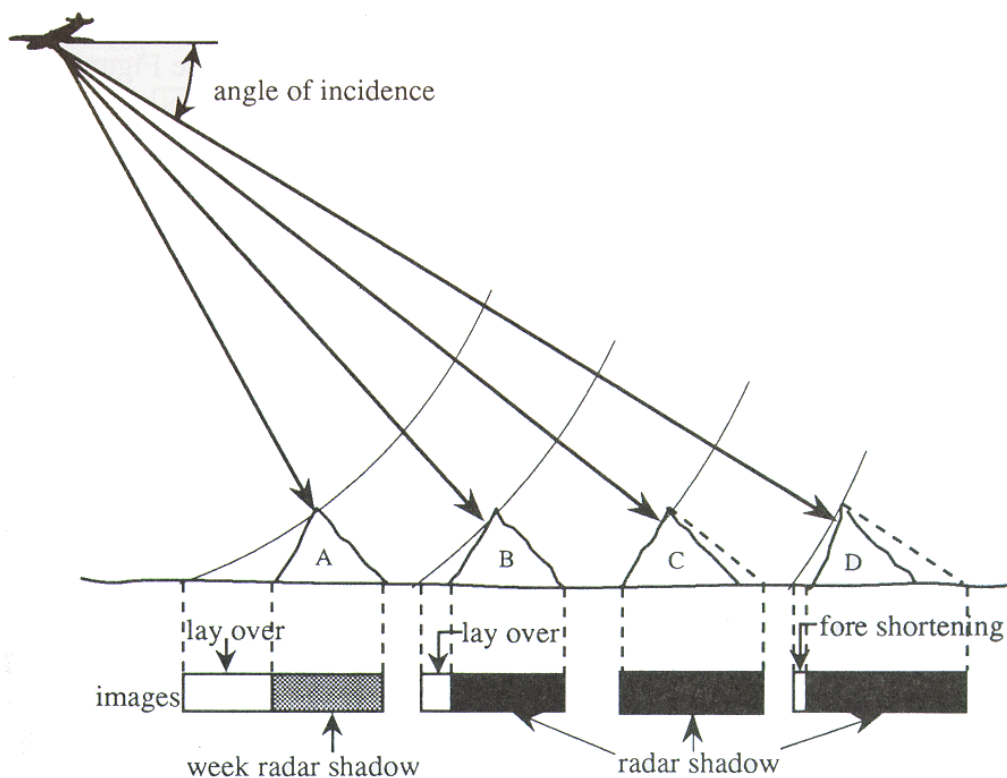
### **Překryv radarového signálu**

Překryv radarového signálu vznikne v obraze tehdy, když lokální incidenční úhel je větší než úhel pohledu. Překryv se v záznamu projevuje tehdy, když vlny doputují k vrcholu dříve, než k patě snímaného objektu. Na základě toho bude vrchol přesunut blíže k dráze nosiče a překryje tak základnu (Pavelka, Zpracování obrazových záznamů DPZ 1999, Remote sensing Tutorials 2019).

### **Slabý odraz**

Na odvráceném svahu může docházet také ke slabému odrazu. Pokud je odvrácený svah snímán, radarový signál z jeho spodní a horní části je přijat s relativně velkým zpožděním. Zaznamenaná energie je rozložena do větší oblasti a proto jsou tyto svahy zobrazeny tmavými odstíny (Barbieri a Lichtenegger 2005).





Obrázek 5: Distorze šikmého snímkování

Zdroj: (Remote sensing Tutorials 2019)

### 3.7 Zpracování radarových dat

Zpracování radarových dat zahrnuje geometrickou a radiometrickou korekci. Zpracování je určeno k odstranění nebo alespoň k potlačení zkreslení, poruch, šumu a k provedení prostorového ztotožnění nebo spojení více obrazů (Kolář 1990).

#### 3.7.1 Geometrické korekce

Kvůli zobrazení jednoho úhlu pohledu a topografickému reliéfu, dochází ke geometrickým zkreslení obrazů SAR, jako je kontrakce v popředí, překrývání a stín, které výrazně omezují jeho vypovídající hodnotu a použití. Proto je nutné provést geometrickou korekci na obrázcích SAR, abychom získali přesnou geografickou polohu, zatímco pomocí DEM (digitální model terénu) eliminujeme vliv topografických faktorů na snížení geometrického zkreslení (Leberl 1990).

### **3.7.2 Atmosférické korekce**

Cílem atmosférické korekce, je určit skutečné hodnoty odrazivosti povrchu, odstraněním atmosférických účinků ze satelitních snímků. Každý senzor, který zaznamenává elektromagnetické záření ze zemského povrchu pomocí viditelného nebo téměř viditelného záření, bude obvykle zaznamenávat směs dvou druhů energie. Hodnota zaznamenaná v jakémkoli místě pixelu na dálkově snímaném obrazu nepředstavuje skutečnou zen odrážející záři. Část jasu je způsobena odrazem sledovaného cíle, další část je odvozena od jasu samotné atmosféry. Pro zjištění skutečného stavu je tedy nutná korekce (Themistocleous a Hadjimitsis 2008). Tyto korekce se u radar běžně nedělají, jelikož radarové záření prochází velmi dobře skrz atmosféru.

### **3.7.3 Radiometrická korekce**

Cílem radiometrické korekce, je získat snímek, který bude zbaven radiometrického zkreslení. Snímek bude převeden tak, aby každý pixel obsahoval hodnotu síly odrazu pro dané místo. Ačkoli nekalibrované snímky SAR jsou dostatečné pro kvalitativní použití, kalibrované obrazy SAR jsou pro kvantitativní využití dat SAR nezbytné. Typické zpracování dat SAR, při kterém se vytvářejí obrazy úrovně 1, nezahrnuje radiometrické korekce a významné radiometrické zkreslení zůstává. Jsou jimi mimo jiné i vlivy topografie spojené zejména s většími úhly snímání. Proto je nutné aplikovat radiometrickou korekci na obrázky SAR tak, aby hodnoty pixelů obrázků SAR skutečně představovaly zpětný rozptyl radaru odrážejícího povrchu. Radiometrická korekce je také nezbytná pro srovnání snímků SAR získaných s různými senzory nebo získaných ze stejného senzoru, ale v různých časech, v různých režimech nebo zpracovaných různými procesory. Dále jsou to náhodné radiometrické chyby, pro které je vhodná korekce, jako výpadek senzoru, porucha přenosu signálu k Zemi (ESA, Sentinel Application Platform nedatováno).

## **3.8 SAR Radar**

SAR je radarová platforma, která letí konstantní rychlostí po předem určené trase. Velikost záběru reálného radaru závisí na tom, jak je anténa vysílající paprsek dlouhá. V SAR, dopřední pohyb antény je využit k syntéze (simulaci) velmi dlouhé

antény. V každé poloze je vyslán impuls, návrat ozvěny prochází přijímačem a je dále zaznamenáván. Variace Dopplerovy frekvence pro každý objekt na zemi jsou unikátní. Zpracování SAR zahrnuje porovnání variací Dopplerových frekvencí a demodulaci úpravy změny frekvence ve zpětných ozvěnách z každého bodu na zemi. Výsledkem tohoto procesu je obraz s vysokým rozlišením (Chan a Koo 2008). Odpovídající filtr, který zpracovává odražený signál (echo), zvyšuje azimutální rozlišení ve směru. Tomu se říká azimutální komprese. V případě SAR se nevhodnost rychlosti satelitu a nadmořské výšky redukuje Dopplerovým efektem. Proto je vyžadováno, aby SAR byl vysoko, jelikož korekce pro zpracování syntetické apertury v důsledku nestability v nižších výškách je velmi obtížné ((ACRoRS) 1999)

### 3.8.1 Dopplerův efekt

Jestliže se mění relativní vzdálenost mezi zdrojem záření s pevnou frekvencí  $\nu$  a pozorovatelem, bude mít signál přijatý pozorovatelem  $\nu'$ , která se liší od frekvence  $\nu$ . Tento rozdíl se nazývá Dopplerův posun.:

$$\nu_d = \nu' - \nu$$

Vztah mezi frekvencemi  $\nu_d$  a  $\nu$  vyjadřuje rovnice

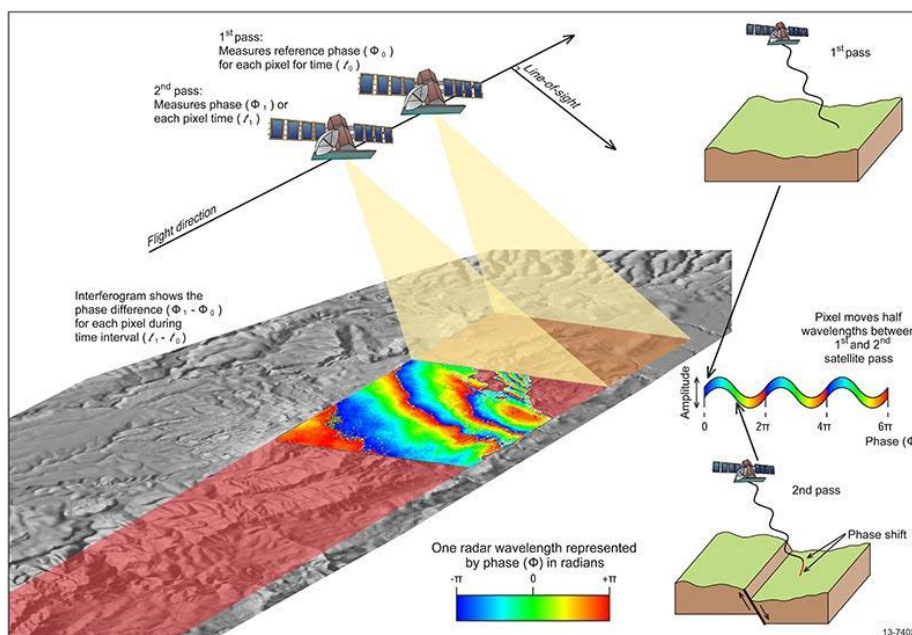
$$\nu_d = \nu \cdot v/c \cdot \cos\theta$$

kde  $v$  je relativní rychlost mezi zdrojem a pozorovatelem,  $c$  je rychlost světla a  $\theta$  je úhel mezi směrem postupu zdroje a spojnicí zdroje a pozorovatele. Dopplerův efekt se používá k zaostření. Záznamy stejného pole jsou zpracovávány na základě tohoto efektu, tudíž jsou zpřesňovány (Halounová a Pavelka 2005).

### 3.8.2 Interferometrie

Metoda odhadu výšky terénu, sledování posunů či tvorba digitálního modelu. Interferometrie se spoléhá na schopnost měřit fázi vyslaných a přijímaných elektromagnetických vln. Pokud se prostorem pohybují dvě vlny se stejnou vlnovou délkou a polarizací, ale počáteční bod jedné je mírně posunutý od ostatních způsobí to vzájemný vln. Tento posun vln se nazývá fázový rozdíl. Měřením fázového rozdílu může být spočítán rozdíl v dálce trajektorie vyslaného signálu. Při znalosti

pozice antény tím může být určena pozice objektu či její změna (Remote sensing Tutorials 2019). Ilustrace interferometrie viz Obrázek 6.



Obrázek 6: Interferometrie

Zdroj: (Australia 2020)

### 3.9 Sentinel 1

Částí vesmírného programu Copernicus je mise Sentinel-1, která se skládá ze dvou satelitů (A a B). Každý z nich nese SAR pracující v elektromagnetickém pásmu C (5.405 GHz). Oba satelity sdílejí stejnou orbitální dráhu s rozdílem rozestupu  $180^\circ$ . Sentinel-1 je designován se 7letou životností. Operuje na orbitě ve výšce 697 km. Sentinel-1A byl úspěšně vypuštěn v květnu 2014 následován byl o 18 měsíců později Sentinelem-1B. Po roce 2020 budou následovat jednotky C a D o stejných parametrech, které nahradí dosluhující jednotky (Geudtner, a další 2014).

Díky SAR je možné monitorovat zemský povrch za každého počasí a v jakoukoliv denní dobu. Toto pozorování je klíčové pro informace o oceánech, mořích a polárních oblastech (olejové skvrny, monitoring ledu, lodní doprava, trasy lodní dopravy atd.). SAR pozorování jsou také použity pro pozemní oblasti, poskytují data pro záchranou pomoc a ochranu. SAR interferometrie prokázala vědeckou a operační hodnotu pro monitoring terénu. Sentinel-1 může operovat v maximální délce

25 minut během orbity (okno během orbity je 100 min). (CSC Mission Management Team 2019).

Sentinel-1 funguje ve čtyřech různých zobrazovacích režimech, každý z nich má jiné rozlišení a pokrytí.

Tabulka 3: Režimy snímkování Sentinelu 1

Režim	Využití	Prostorové rozlišení	Šířka záběru
Strip Map Mode	Především při monitorování krizových událostí	5 x 5 m	80 km
Interferometric Wide Swath Mode	Nejpoužívanější režim snímání nad pevninou, částečně nad mořem	5 x 20 m	250 km
Extra Wide Swath Mode	Částečně používaný nad mořem a v polárních oblastech	20 x 40 m	400 km
Wave Mode	Hlavní režim snímání nad otevřeným mořem	Prostorové rozlišení 5 m ve čtvercích 20 x 20 km	každých 100 km, snímáno

*Zdroj: (ESA, European Space Agency 2000-2021)*

Režimy snímkování Sentinel-1, při plné operační kapacitě, jsou dle následujících principů pro každý satelit:

Wave Mode simultánně je využíván nad oceány

IW nebo EW jsou využívány nad před-definovanými geografickými oblastmi:

- nad pevninou je používán IW jako základní režim;
- nad oceány, moři a polárními oblastmi jsou použity oba mody IW a EW, přičemž EW je preferován pro monitoring větších oblastí (40 km rozsah), kde není tak důležité vysoké rozlišení.

Díky dvěma satelitům na stejné orbitě je výsledkem cyklus 6 dní na každou oblast. Což je pro InSAR benefit (interferometrie se porovnává každých 6 dní) a zcela zásadní pro monitorování ledovců a námořní dohled (CSC Mission Management Team 2019).

### 3.10 Koutové odražeče

Koutový odražeč nebo také rohový reflektor. Je pasivní zařízení, které využívá svého tvaru a použitého materiálu k odrazení paprsku, s co možná nejmenší ztrátou síly a usměrněním paprsku.

Použití koutových odražečů je všude tam, kde je zapotřebí zpětný odraz. Používá se pro měření vzdáleností v Geodézii, pomocí odražečů je možné pozorovat pohyby ledovců, armáda využívala odražeče k zamaskování pontonových mostů, dále je možné je použít i pro kalibraci měřících zařízení.

Je velké množství odražečů dělené dle jejich tvaru – válcové, ploché desky, koule, dvouhranné, trojhranné. Každý jednotlivý tvar má specifické vlastnosti odrazu. Ploché a dvou stěnné odražeče, jsou k měření satelitem nevhodné, kvůli velmi úzkému rozptylovému vzoru, což znamená, že nastavení (naklopení), musí být velmi přesné (menší chyb než 1 stupeň) (Drake a Hatty 2013).

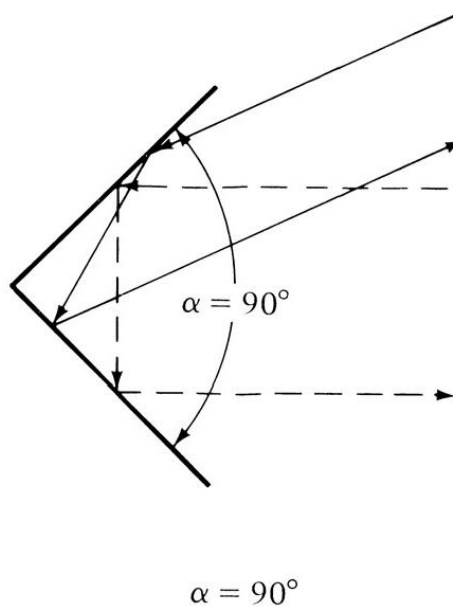
Kvantitativní interpretace obrazů získaných pomocí SAR potřebují externí kalibraci a k té je možné využít odražeče. Trojstěnný koutový odražeč, je často používaný kalibrační prostředek pro radary. Díky silnému odrazu a relativně velké odrazové ploše (Radar Cross Section). Úspěšná kalibrace je ovlivněna především 5 navzájem se ovlivňujícími charakteristikami

- velká styčná plocha (RCS)
- široký design
- malá velikost zařízení
- stabilita zařízení
- necitlivost k okolnímu prostředí (Sarabandi a Tsen-Chieh 1996).

Výhodou pasivních odražečů je levná údržba a pořizovací cena ve srovnání s aktivními zařízeními jako např. transpondéry. Třístěnný koutový odražeč vyniká jednoduchostí výroby, dlouhodobou strukturální tuhostí, relativní stabilitou. Díky své šířce je nezávislý na vlnové délce a šířce paprsku (Garteaita, a další 2013).

Pro odražeče je nutné svírat úhel  $90^\circ$ , v opačném případě by totiž nedošlo k požadovanému dvojitému odrazu, který je zobrazen na Obrázku 7. Pokud se rozteč stává příliš malou, odraz záření se snižuje, což vede k neefektivnosti odražeče. Při velmi velkých mezerách v konstrukci systém vytváří nežádoucí vícenásobné odrazy a ztrácí své směrové vlastnosti. Velikost zařízení nemá velký vliv na šířku a směr paprsku, ale zvyšuje šířku pásma a radiační odolnost (Balanis 2016). Dopadající vlna se vrací do radarového senzoru se syntetickou aperturou stejným způsobem, jako když je každá plocha trojhranného odražeče kolmá na další dva








povrchy. RCS závisí na vlnové délce radaru, rozměru stran čtvercového reflektoru, úhlu azimutu a úhlu dopadu. Maximální RCS se očekává při úhlu dopadu  $54,74^\circ$  a azimutu rovném  $45^\circ$  a poté musí být přední hrana trojhranného rohového reflektoru rovnoběžná s letovou čarou. Úhel dopadu reflektoru lze upravit zvednutím přední hrany, pokud se změní úhel dopadu (Algafsh, Inggs a Mishra 2016).



Obrázek 7: Náčrt koutového odražeče, zobrazuje systém odrazu dopadajícího signálu

*Zdroj: (Balanis 2016)*

Na obrázku 8 je možné pozorovat odrazivost od jednotlivých tvarů. Vyplývá z toho, že největší odrazivost mají trojstěnné reflektory, následované dvojstěnným a plochým. Avšak dalším důležitým údajem je úhlová odezva. Tzn., v jakém rozsahu bude reflektor odrážet paprsek. Největší rozsah má kulovitý tvar následovaný válcem a třetí v pořadí je trojúhelníkový trihedral. Z této tabulky vyplývá, že nejlepší volba, co se týče univerzálnosti a optimálního výkonu je trojúhelníkový trihedral. Má velkou plochu odrazu a není tolik náchylný na úhel naklonění, jako ostatní.

Fig. 1 Passive Radar Targets				
Type	Dimensions	Maximum RCS, $\sigma$	Angular Response for $\sigma$	
			$\theta$	$\phi$
Sphere		$\pi r^2 = 3.14r^2$	360°	360°
Cylinder		$\frac{2\pi ab^2}{\lambda} = 6.28 \frac{ab^2}{\lambda}$	360°	$\pm 13 \frac{\lambda}{b}$ degree to $\frac{1}{2}$ max
Rectangular Flat Plate		$\frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2} = 12.6 \frac{a^2 b^2}{\lambda^2}$	$\pm 13 \frac{\lambda}{b}$ degree to $\frac{1}{2}$ max	$\pm 13 \frac{\lambda}{b}$ degree to $\frac{1}{2}$ max
Rectangular Dihedral Corner		$\frac{8\pi a^2 b^2}{\lambda^2} = 25.1 \frac{a^2 b^2}{\lambda^2}$	$\pm 15^\circ$ to $\frac{1}{2}$ max $\pm 32^\circ$ to $\frac{1}{10}$ max	$\pm 13 \frac{\lambda}{a}$ degree to $\frac{1}{2}$ max
Triangular Trihedral		$\frac{4\pi a^4}{3\lambda^2} = 4.19 \frac{a^4}{\lambda^2}$	Approx. 40° total cone angle about axis to $\frac{1}{2}$ max	
Circular Trihedral		$15.6 \frac{a^4}{\lambda^2}$	Approx. 32° total cone angle about axis to $\frac{1}{2}$ max	
Square Trihedral		$\frac{12\pi a^4}{\lambda^2} = 37.8 \frac{a^4}{\lambda^2}$	Approx. 23° total cone angle about axis to $\frac{1}{2}$ max	

Obrázek 8: RCS u jednotlivých tvarů odražečů

Zdroj: (Ralpf 2012)

Existuje však několik faktorů, které mohou způsobit ztrátu odrazu (radar cross section), včetně ortogonality mezi deskami, zakřivení desky a nerovnosti na povrchu. Ztráta detekce při změně úhlu mezi deskami je závažnější, jak se zvětšuje velikost reflektoru a vlnová délka radaru klesá. Ztráty jsou větší, pokud je úhle mezi deskami ostrý, spíše než tupý. Proto je důležité zajištění 90° nejen během výroby, ale také při přepravě a instalaci. Zakřivení desky je deformace desky z dokonale ploché roviny po celé její délce, postupným klesáním stran a vytváření vyboulení. Nepravidelnost povrchu je způsobena přítomností jakéhokoliv prvků malého rozsahu, které způsobují odchylku od dokonalé rovnosti v daném místě napříč deskou. Použití spojovacích prvků, jako jsou trhací nýty nebo šrouby na kterékoliv z odražejících desek by mohli ovlivnit výkon. Ztráta je úměrná



odchylce povrchu přes desku a nepřímo úměrná vlnové délce (Sarabandi a Tsen-Chieh 1996) (Garthwaite 2017).

Materiálem k zhotovení reflektoru a jeho povrchová úprava jsou také velmi důležité. Hliník se běžně používá pro konstrukci desek, je sice nákladnější než ocel, ale netrpí tak silně korozi a je relativně lehký. Čistý kovový povrch by měl dosáhnout nejlepších odrazů. Další designový prvek je prefabrikovaná síťovina anebo přidání perforací k pevnému plechu. Velké množství otvorů v deskách má tu výhodu, že umožňuje rychlé odvodnění během dešťů, uvolnění části síly působenou větrem, snížení hmotnosti a podpora samočištění prachu a jiných usazenin. Pro omezení ztrát odrazu, musí být průměr díry menší než šestina vlnové délky radaru. I když se perforace nebo síť nepoužijí, doporučuje se zavést několik otvorů v blízkosti vrcholu kvůli odtoku. Zaplavený reflektor vykazuje ztrátu o řád větší, než ztráta způsobená přítomností otvorů (Garthwaite 2017).

Perforované desky nezavádí významnou ztrátu odrazu ve srovnání s tradičními deskami, avšak je velmi důležitá přesnost stavby, bez mezer mezi deskami a co nejpřesnější řez (Jauvin, a další 2019).

## 4. Metodika

### 4.1 Návrh odražeče

Pro tento projekt byl navržen a posléze zkonstruován trojboký koutový odražeč – square trihedral. Při srovnání s dalšími možnostmi, kterým byl triangular trihedral, popřípadě circular trihedral, byl tento tvar vyhodnocen jako lepší, co se týče RCS (odrazu) v porovnání s triangular. RCS v porovnání s circular trihedral je téměř shodný, přičemž circular trihedral je komplikovanější na výrobu, co se týče přesnosti. Ve srovnání s triangular trihedral je square méně konstrukčně tuhý, do budoucna hrozí, že jeho desky nebudou držet přesný tvar a mohou se ohýbat, což by mohlo způsobit zkreslení odrazu.

#### Radar cross-section

Průřez radaru je schopnost objektu odrážet signál. Výpočet RCS je možný dle vzorce:

$$37,8 \frac{a^4}{\lambda^2}$$

Square trihedral

a - délka strany

$$15,9 \frac{a^4}{\lambda^2}$$

Circular trihedral

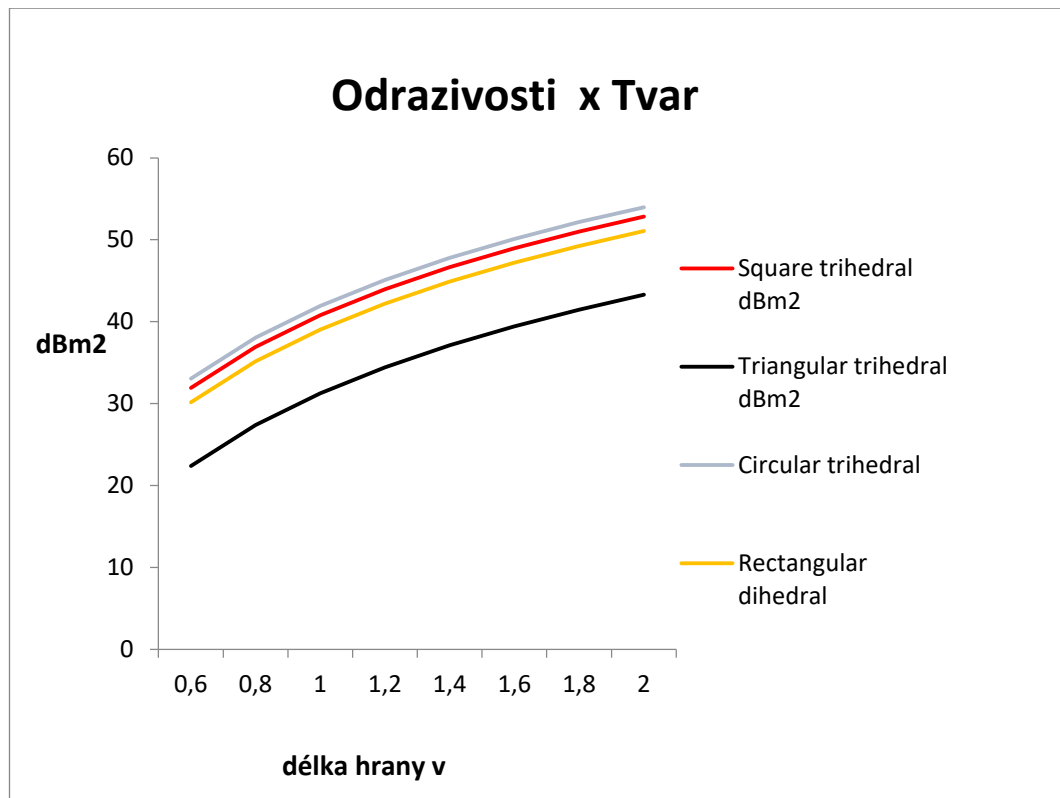
$$4,19 \frac{a^4}{\lambda^2}$$

Triangular trihedral

$\lambda$  - vlnová délka pro tento případ je brána v úvahu délka kterou vytváří Sentinel 15.5465763 cm (ESA, SAR instruments 2000-2021)

Převod RCS na decibely dBsm =  $10 \times \log_{10}(\text{RCS}/1\text{m}^2)$

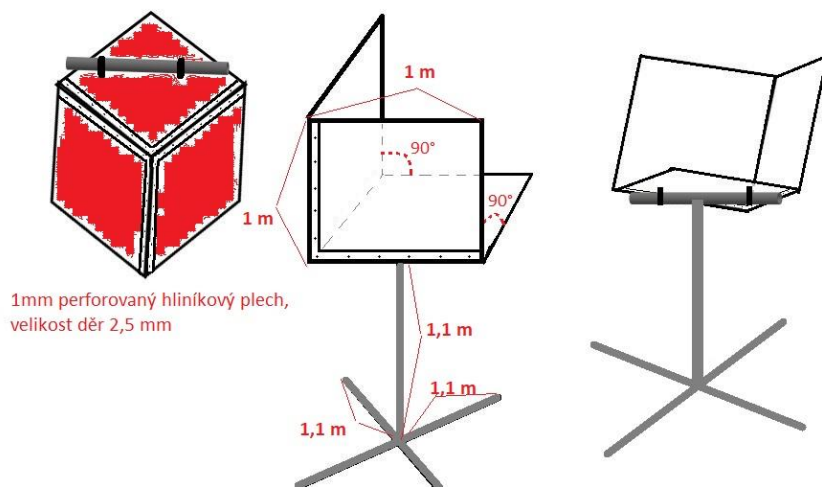
Síla odrazu je znázorněna na Grafu 1, je z něj patrné, že nejvyšší odrazivost má kruhový trojboký odražeč, druhý v pořadí je čtvercový, třetí je čtvercový dvojstěnný odražeč, avšak ten se k měření nehodí. Na čtvrtém místě je trojúhelníkový trojboký odražeč. Z grafu vyplývá, že co se síly odrazu týká, nejvhodnější volbou by byl kruhový profil, avšak je složitý na přesnost výroby. Čtvercový trojboký odražeč je proto nejlepší volbou s ohledem na sílu odrazu i relativní jednoduchost výroby.



Graf 1: Tvary odražečů, síla odrazu měřená v decibelech

*Zdroj: Vlastní zpracování*

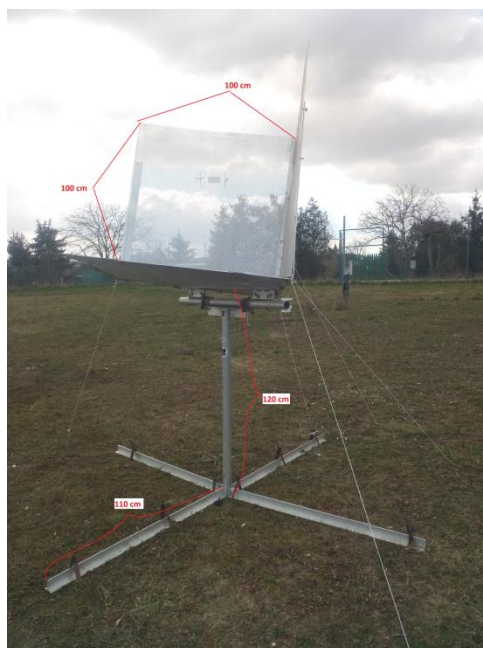
Materiálem byl zvolený hliník, a to jak na nosnou konstrukci, tak pro odražeč samotný. Ačkoliv je hliník obecně dražší než ocel, netrpí tolik korozi, jak již bylo zmíněno. Navíc je možné odražeč jednoduše zamířit pomocí buzoly, jelikož jí neovlivňuje. Tento materiál byl zvolen především z důvodu jeho lehkosti. Konstrukce je dohromady spojena šrouby, aby bylo možno ji lehce rozebrat a přemístit. Hlavní část odražeče je vytvořena z hliníkových plátů o tloušťce 1 mm a velikosti strany 1 m. Tento plech je perforovaný, velikost jednotlivých děr je 2,5 mm. Zde bylo využito poznatků Australského pokusu zmíněného výše. V tomto pokusu bylo zjištěno, že perforovaný plech nemá velký význam v kvalitě odrazu. Navíc má další výhody, například déšť se nehromadí uvnitř a tlak větru se také sníží. Při výrobě bylo velmi důležité dodržení ortogonalit stran, rovnost povrchu a zakřivení jednotlivých stran, což jsou faktory, které významně ovlivňují funkci odražeče, náčrt odražeče je zobrazen na Obrázku 9.



Obrázek 9: Náčrt koutového odražeče

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Na Obrázcích 10,11 je zkonstruovaný odražeč, který je doplněn rozměry. Snímky jsou zaměřeny na konstrukční prvky, jako je ukotvení odražeče a spojení jednotlivých desek. K zemi je tento odražeč přichycen železnými kolíky vlastní konstrukce. Desky odražeče jsou upevněny na hliníkový profil L a to pomocí šroubů s křídlovými matkami.



Obrázek 10: Sestavený a ukotvený odražeč

*Zdroj: Vlastní zpracování*



Obrázek 11: Ukotvení odražeče k zemi a upevnění desek odražeče

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Vrchní konstrukce odražeče je upevněna na nosné konstrukci tak, aby s ní bylo možné manipulovat, jak je zobrazeno na Obrázku 12. Toto uchycení je řešeno tvarovanými šrouby, které svírají trubkový profil, po kterém je možné naklápět odražeč, ke konstrukci zakončené hliníkovým profilem T.



Obrázek 12: Upevnění odražeče k nosné konstrukci

*Zdroj: Vlastní zpracování*



## 4.2 Umístění

Odražeč je nutné umístit pro co nejlepší výsledek na specifickém místě. Je žádoucí, aby v okolí nebyla zástavba, nebo vzrostlá flora, která by odrazela paprsky. Ideální je rovina, kde nebude docházet ke stínění ani jiným nežádoucím vlivům. Směr a natočení odražeče je možný vypočítat dle volně dostupných dat pohybu satelitu. Důležité jsou dvě hodnoty, těmi jsou: azimut a úhel natočení.

Při tomto pokusu byl odražeč umístěn na testovací pole vedle ČZU souřadnice

50°07'40" N, 14°22'19"E



Obrázek 13: Lokace odražeče

*Zdroj: mapy.cz (upraveno autorem)*

Umístění odražeče a jeho natočení. Azimut byl zaměřen pomocí kompasu 100° a úhel spodní roviny je 10°, čímž je namířen na 55° oproti rovině.

Informace o aktuální poloze, snímání a pohybu satelitu byly získány z katalogu Space-track (Corporation nedatováno) a webové stránky Heavens Above (Peat nedatováno). Dle katalogového čísla 39634 je možné dohledat v katalogu aktuální informace o datu a čase přeletu nad požadovaným územím. Plán snímání lze ověřit na stránkách ESA (ESA, European Space Agency 2000-2021). Na základě těchto údajů je možné získat snímek požadovaného území.

### 4.3 Zpracování snímků

Snímky pro měření jsou zpracovány dle Obrázku 14. Po načtení snímku je nastaven Product SUBSET, zde je nastavena požadovaná oblast snímku. Tato oblast je dále kalibrována radiometricky na hodnoty Sigma0 a geometricky pomocí bilineární interpolace a digitálním modelem Copernicus 30 Global DEM. Nakonec je odraz převedený na decibely.

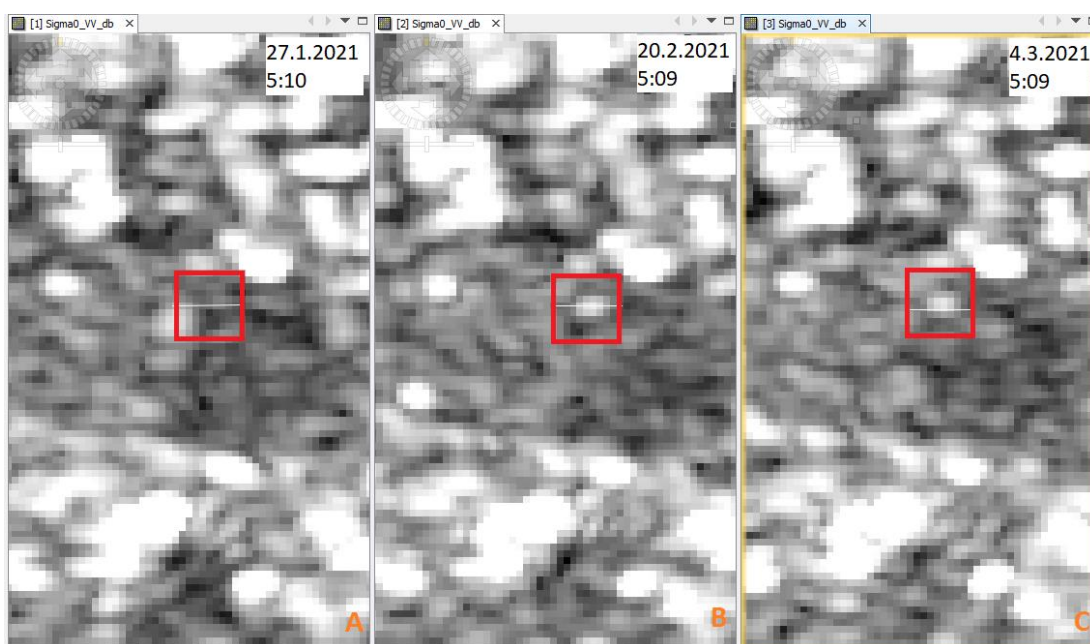


Graf 2: Postup zpracování snímku v aplikaci SNAP

*Zdroj: SNAP, upraveno autorem*

## 5. Výsledky

Na základě dat z družice Sentinel-1 bylo možné zpracovat výsledky pro požadovaný odražeč. Na snímcích je patrný odraz instalovaného odražeče. Na Obrázku 14 je upravený snímek, na kterém je zobrazena oblast, před instalací a poté. Na snímku A, kde je znázorněna oblast  $50^{\circ}07'40''\text{N}$ ,  $14^{\circ}22'22''\text{E}$  a její blízké okolí, není pozorovaný žádný odraz. Instalace odražeče proběhla 12. 2. 2021, na snímcích B a C, které jsou z 20. 2. 2021 a 4. 3. 2021, je možné odraz již pozorovat. Jedná se o snímky z družice Sentinel 1-A o shodné orbite, se zacílením odražeče (shodná výška nad horizontem  $45^{\circ}$  a azimut  $99^{\circ}$  družice v době snímání).



Obrázek 14: Zpracovaný snímek odrazu, jedná se o snímky: A -

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210127T050943\_20210127T051008\_036319\_0442F1\_4378\_Cal  
\_TC\_dB, B -

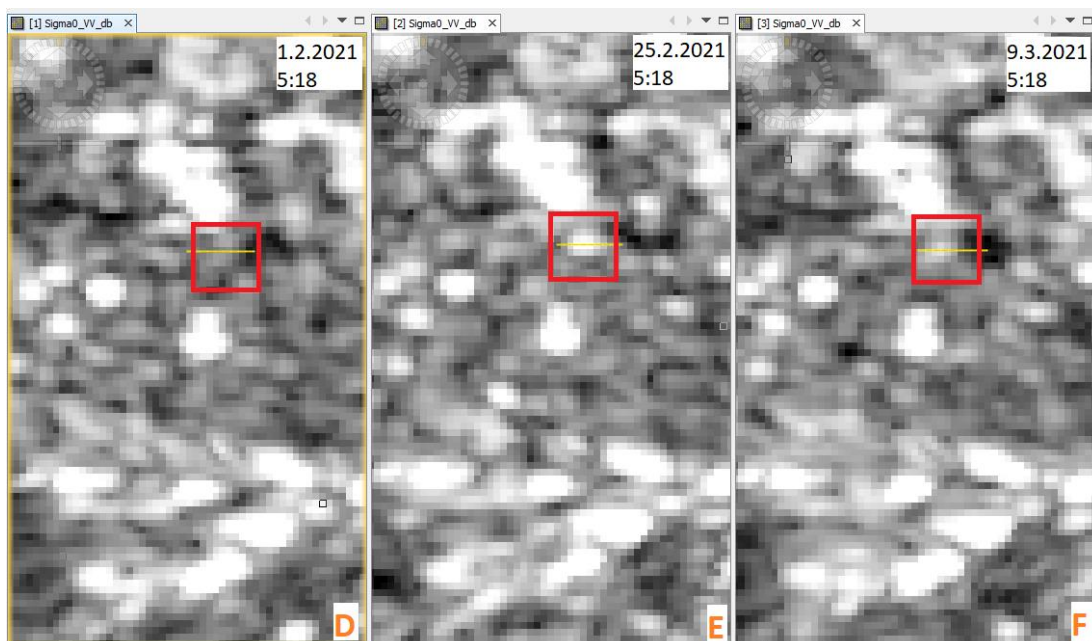
Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210220T050949\_20210220T051014\_036669\_044F1B\_B3AD\_C  
al\_TC\_dB, C -

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210304T050940\_20210304T051005\_036844\_045524\_5227\_Cal  
\_TC\_dB

*Zdroj: ESA, upraveno autorem*

Stejně srovnání je z dalších snímků, avšak odlišné výšky nad horizontem ( $53^{\circ}$ ), oproti zacílení odražeče, ze kterých je možné pozorovat požadovanou oblast. Na snímku A je stav před instalací odražeče - 1. 2. 2021. Snímky B a C jsou pořízeny po instalaci a odraz je zde již patrný.

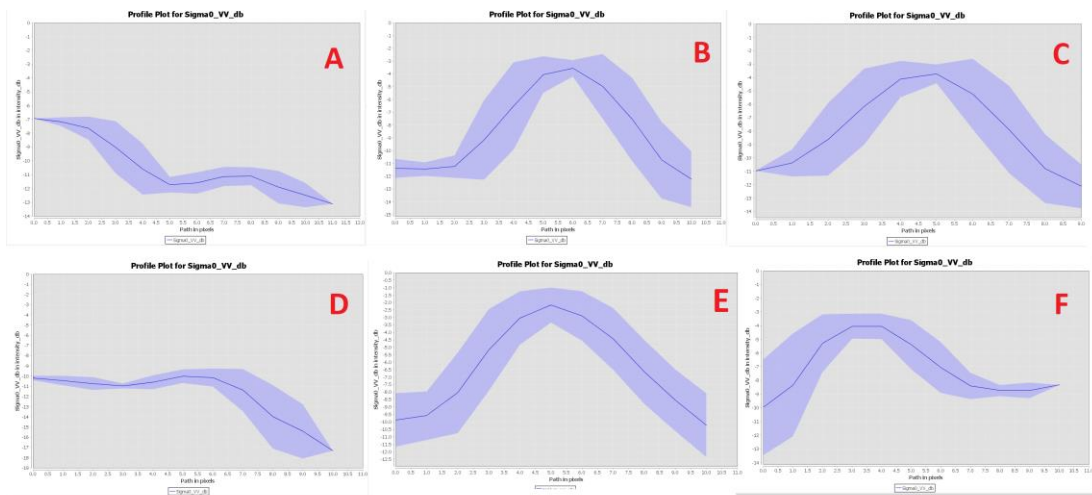




Obrázek 15: Zpracovaný snímek odrazu, jedná se o snímky: A-  
 Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210201T051756\_20210201T051821\_036392\_044574\_8C18\_Cal  
 \_TC\_dB, B -  
 Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210225T051752\_20210225T051817\_036742\_04519D\_7C13(1)\_  
 Cal\_TC\_dB, C -  
 Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210309T051752\_20210309T051817\_036917\_0457BA\_4D42\_Ca  
 l\_TC\_dB

*Zdroj: ESA, upraveno autorem*

Při porovnání síly signálu na Grafu 3 pozorujeme zvýšenou sílu odrazu po instalaci odražeče. Snímky A, D jsou z období před instalací a vykazují nejnižší hodnotu -10,01 db, přesné hodnoty jsou zaznamenány v Tabulce 4. Grafy B, C, E, F jsou z období po instalaci odražeče. Na těchto grafech je jasně zřetelné zvětšení síly odrazu až na hodnotu -2,17 db, kdy hodnoty jsou měřeny na úrovni nejjasnějšího pixelu, který odpovídá koutovému odražeči.



Graf 3: Síla signálu, porovnání dat v programu SNAP, jedná se o snímky: : A - Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210127T050943\_20210127T051008\_036319\_0442F1\_4378\_Cal\_TC\_dB, B - Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210220T050949\_20210220T051014\_036669\_044F1B\_B3AD\_Cal\_TC\_dB, C - Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210304T050940\_20210304T051005\_036844\_045524\_5227\_Cal\_TC\_dB, D - Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210201T051756\_20210201T051821\_036392\_044574\_8C18\_Cal\_TC\_dB, E - Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210225T051752\_20210225T051817\_036742\_04519D\_7C13(1)\_Cal\_TC\_dB, F - Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210309T051752\_20210309T051817\_036917\_0457BA\_4D42\_Cal\_TC\_dB

*Zdroj: ESA, upraveno autorem*

Z těchto dat vyplívá, že odražeč je funkční, jelikož vrací signál a je zřetelný na snímcích ze Sentinelu 1-A. Síla odrazu z dalších vhodných měření odrazu je zaznamenána v Tabulce 4, kde je porovnáváno šest měření, kdy vždy tři mají stejné parametry, ty jsou rovněž zaznamenány. Měření A a D jsou před instalací odražeče (označeny žlutým pozadím), další měření jsou po instalaci. Je možné sledovat nárůst síly odrazu, který je v průměru o 7,18 db. Hodnoty síly odrazu koutového odražeče se mění, což může být způsobeno korekcí snímku při zpracování nebo to také může signalizovat nestálost odražeče samotného. Což by odpovídalo nekvalitní konstrukci odražeče, kdy se mění jeho geometrické vlastnosti.

Tabulka 4: Údaje o snímcích, na nichž je možné zpozorovat odražeč

Graf	datum	čas	výška	azimut	vzdálenost	síla odrazu v db
A	27.1.	5:10:01	45°	99° V	952	-11,11
B	20.2.	5:09:53	45°	99° V	952	-3,57
C	4.3.	5:09:53	45°	99° V	952	-3,73
D	1.2.	5:18:10	53°	100° V	857	-10,01
E	25.2.	5:18:03	53°	100° V	856	-2,17
F	9.3.	5:18:03	53°	100° V	856	-4,05

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Odraz je možné zpozorovat na 10-15 pixelech, není shodný u všech měření. Rozdíl je způsoben parametry jednotlivých měření a následnými korekcemi.

Rozdíl vzdáleností mezi koutovým odražečem a nejbližší budovou, se zřetelným odrazem, jsou 2 pixely. Vzdálenost odražeče od této budovy činí 58 metrů. Je zřejmé, že pokud by byl odražeč posunut na vzdálenost menší než 30 metrů od budovy, odraz by splýval a nebylo by možné jej identifikovat.

## 6. Diskuse

### Konstrukce

Garthwaite (2017) se ve studii zabývá především konstrukcí odražečů. Jsou zde zmíněné výhody hliníkové konstrukce a také je zde zkoumán vliv perforovaného plechu použitého na jednotlivé strany odražeče. Při porovnání této studie s výsledky pokusu je možné konstatovat, že hliníková konstrukce je opravdu lehká a také to, že perforovaný plech nemá velký vliv na odraz. V případě pokusu byla hliníková konstrukce použita také na nosnou konstrukci odražeče, což se ukázalo, jako nepříliš dobré řešení, s ohledem na vlastnosti tohoto materiálu. Jelikož je velmi lehký, je zapotřebí dobrého ukotvení, dalším problémem je měkkost hliníku. To je patrné především v kombinaci s povětrnostními podmínkami, ty jsou sice dosti redukované perforovanými deskami, avšak tlak vyvíjený na konstrukci povede do budoucna k nestabilitě. To bude ovšem možné eliminovat záměnou konstrukce z jiného materiálu (železo, ocel).

Dále stejně jako Garthwaite (2017) i Jauvin, a další (2019) uvádí, jak je nutné dodržet otimální rovnost povrchu a omezení mezer mezi spoji jednotlivých stran. Při instalaci bylo patrné zahnutí stran, to bylo vykompenzované dalším ukotvením, avšak mohlo být nedostačující, následkem zaoblení stran odražeče může docházet ke ztrátě síly odraženého signálu.

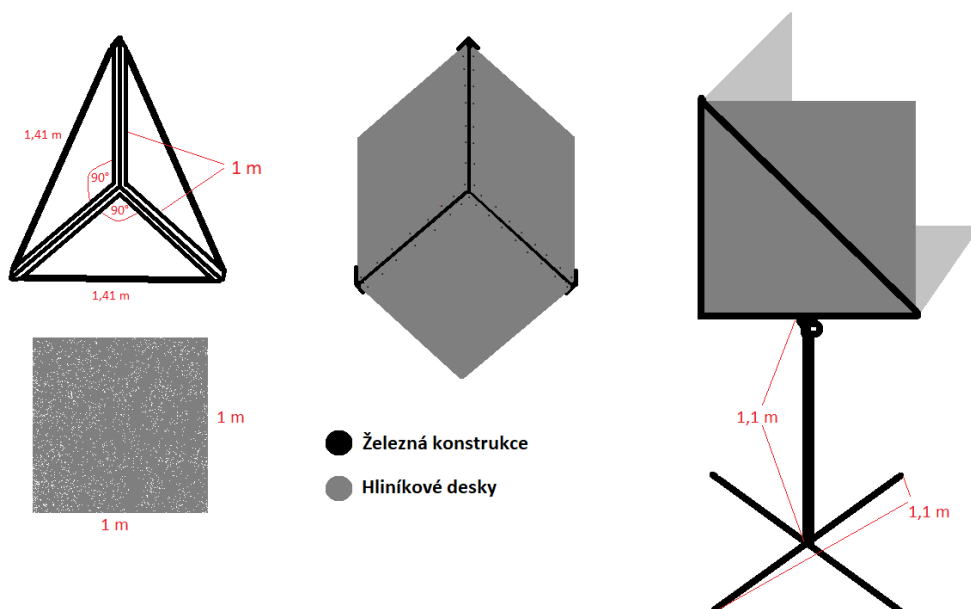
Balanis (2016) poukazuje na to, jak je důležitá přesnost a preciznost zpracování koutového odražeče. V tomto pokusu byly upozorovány drobné nedostatky v konstrukci, jedná se úhel mezi deskami, který by měl být  $90^\circ$  avšak tato hodnota není vždy dosažena. Může tak docházet ke ztrátě síly signálu.

Při kontrolách technického stavu odražeče, v průběhu pokusu, bylo zjištěno další vyosení odražeče. Ve srovnání s Garthwaite, a další 2013, kde jejich odražeče nevykazovali změny v konstrukci, je možné toto připisovat ukotvením desek odražeče. Zde by bylo vhodné změnit způsob uchycení desek k hliníkovým profilům L, ideálně konstrukci odražeče pevně spojit sváry.

Na základě všech těchto srovnání je možné doporučit změnu konstrukce, ta bude mít značný vliv na výsledky měření.

- Nosná konstrukce by byla vhodná zpracovat ze železa, při zachování všech předchozích parametrů. Avšak vhodnější, než spojení jednotlivých kusů šrouby, bude vhodnější udělat pevné spoje. Výhodou této konstrukce bude především stabilita, která bude způsobená nejen pevnými spoji, ale také tím, že bude konstrukce těžší, z důvodu použitého materiálu. Dále bude konstrukce značně levnější, je však nutné tuto konstrukci ošetřit ochranným nátěrem, aby nedocházelo ke korozi.
- Pro konstrukci odražeče samotného je vhodný dříve zvolený materiál na desky (perforovaný hliník). Tyto desky by bylo vhodné instalovat do podpůrné konstrukce, kde by hliníkové profily L byly zaměněny za vhodnější železné, oštěně ochranným nátěrem a pevně spojené dohromady. Tato podpůrná konstrukce zabezpečí větší stabilitu odražeče, především díky pevným spojům a také díky tuhosti konstrukce. Do této podpůrné konstrukce by bylo vhodné vložit hliníkové desky, které budou upevněny šrouby, opatřenými podložkami a křídlovými matkami.
- Spojení nosné konstrukce a odražeče zůstává stejná.

Návrh nového odražeče je zobrazen na Obrázku 16.



Obrázek 16: Návrh konstrukce odražeče

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### **Přesnost geolokace**

V porovnání se studií Schuber, a další (2015), kde na základě 41 měření byl Sentinel 1A určen jako velmi přesný, je možné konstatovat, že v pokusu je lokace odražeče na stejných souřadnicích, pokud jde o přelety se stejnými parametry (vzdálenost, azimut, výška).

Viditelnost odražeče je na více než jednom pixelu, důvodem je tvorba SAR snímku. Zároveň nemají pixely stejnou sílu odrazu. Pixely se navzájem překrývají a dále je snímek ovlivněn geometrickou korekcí. Pokud bychom chtěli přesnou lokaci, bylo by nutné provést další korekci, jak je již zmíněno v práci Sentinel-1A Product Geolocation Accuracy: Commissioning Phase Results (Schuber, a další 2015)

### **Distorse terénu**

Objekty v blízkém dosahu, jako jsou vysoké budovy, svahy a podobně mohou způsobovat distorse obrazu, jak uvádí Pavelka (1999) nebo je uvedeno v Remote sensing Tutorials (2019). V tomto pokusu byl odražeč lokalizován na pozemcích ČZÚ které se nacházejí sice v zástavbě, avšak mají vcelku velké ohraničení. Je tedy možné pozorovat požadovaný odraz, i když jsou v oblasti rušivé elementy. Jak již bylo zmíněno mezera mezi nejbližší budovou a odražečem je 53 metrů a na snímcích odpovídá 2pixelům. Což znamená, že je nutné dodržet vzdálenost minimálně 27 metrů od další větší budovy, aby byla mezera mezi odrazy alepoň jeden pixel a bylo možné tyto odrazy od sebe navzájem odlišit. Pokud by byla tato vzdálenost menší, splynuly by odrazy v jeden celek. V tomto pokusu byla minimální vzdálenost dodržena.

## **7. Závěr a přínos práce**

Cílem diplomové práce bylo vytvoření návrhu a konstrukce koutového odražeče následně ověření pomocí SAR Sentinel 1A.

Na základě studia dostupných materiálů, byly shromážděny informace o DPZ a konstrukci koutového odražeče. Na základě těchto informací byl zkonstruován odražeč. Tento odražeč byl umístěn na, dle dostupných možností, nejvhodnější místo. Po instalaci byly upraveny a vyhodnoceny snímky oblasti, kde bylo instalované zařízení. Na základě výpočtu pozice byl nalezen odraz. Tento odraz nebylo možné spatřit na snímcích pořízených před instalací, tudíž byl potvrzen jako koutový odražeč. Síla odraženého signálu byla v hodnotách -4,05 až -2,17 db pro pixel, kde se nachází odražeč. Jednalo se o snímky při optimální orbitě družice.

Přínosem této práce je především ověření shromážděných teoretických i praktických informací, týkajících se umístění, tvaru, materiálu a natočení koutového odražeče. Na základě získaných dat je možné vyhodnotit, že je tento odražeč funkční a využitelný pro další pokusy. Není ovšem příliš stabilní. Avšak je možné použít získané zkušenosti, informace a data pro konstrukci dalšího zařízení, kde bude možné odstranit drobné nedokonalosti tohoto zařízení. Návrhy na zdokonalení konstrukce jsou zmíněny v diskusi.

## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

### Odborné publikace

Algafsh, A., M. Inggs, a A. K. Mishra. „The effect of perforating the corner reflector on maximum radar cross section.“ *2016 16th Mediterranean Symposium (MMS)*. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2016. 1-4.

Aronoff, Stan. *Remote Sensing for GIS managers*. Esri press, 2005.

Australia, Geoscience. *Geoscience Australia*. 2020. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/geodetic-techniques/interferometric-synthetic-aperture-radar> (přístup získán 5. Únor 2021).

Balanis, C.A. *Antenna theory: Analysis and design*. Tempe: John Wiley and Sons, 2016.

Barbieri, M., a J. Lichtenegger. *Introduction to SAR for Geology*. Noordwijk: ESA Publications Division, 2005.

Dobrovolný, Petr. *Dálkový průzkum Země : digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita, 1998.

Drake, P, a S Hatty. *Radar Signature Characterisation Measurements of Triangular Trihedral Calibration*. Australia: Defence Science and Technology Organisation, 2013.

Garteaitė, Matthew, Medhavy Thankappan, Mark L Williams, John Dawson, S Nancarrow, a A Hislop. „Corner reflectors for the Australian Geophysical Observing System and support for calibration of satellite-borne synthetic aperture radars.“ *IGARSS 2013*. Melbourne: Research Gate, 2013.

Garthwaite, Matthew C. „8.1.1 On the design of radar corner reflectors for deformation monitoring in multi-frequency InSAR.“ *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 25. Červen 2017: 1-23.

Geudtner, Dirk, Ramon Torres, Paul Snoeij, Malcolm Davidson, a Bjorn Rommen. „Sentinel-1 system capabilities and applications.“ *Geoscience and Remote Sensing*. Quebec: IEEE, 2014. 1457-1460.

Halounová, Lena, a Karel Pavelka. *Dálkový průzkum Země*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.

Hellsten, Hans. SAR Radar System. United States Patent 5969662. 20. září 1996.

Chan, Y.K., a V.C. Koo. „An introducing to synthetic aperture radar (SAR).“ *Progress In Electromagnetics Research B, Vol.2*. Malaysia: Multimedia University, 2008.



- Cheney, Margaret, a Brett Borden. *Fundamentals of Radar Imaging*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009.
- Jauvin, Matthias, Yajing Yan, Emmanuel Trouvé, Bénédicte Fruneau, Michel Gay, a Blaise Girard. „Integration of Corner Reflectors for the Monitoring of Mountain Glacier Areas with Sentinel-1 Time Series.“ *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 25. Květen 2019: 1-27.
- Kolář, Jan. *Dálkový průzkum Země*. Sv. 35. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury Praha, 1990.
- „An introducing to Synthetic Aperture Radar.“ V *Progress in electromagnetics research B, vol 2.*, autor: Jalan Ayer, Keloh Lama a Bukit Beruang, 27-60. Melaka: Multimedia University, 2008.
- Leberl, F. W. *Radargrammetric image processing*. Artech House, 1990.
- Mansourpour, M, M A Rajabi, a Z Rezaee. *Radiometric and Geometric Correction Methods for Active Radar and SAR Imageries*. Studie, Teheran: National Cartographic Centre (NCC), 2008.
- Oršulák, Tomáš, a Jan Pacina. *Dálkový průzkum Země*. Ústí nad Labem: Centrum digitálních služeb MINO, 2010.
- Pavelka, Dr.Ing. Karel. *Zpracování obrazových záznamů DPZ*. Praha: Vydavatelství ČVUT, Zikova 4, 166 36 Praha 6, 1999.
- . *Zpracování obrazových záznamů DPZ*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999.
- Rajabi, M A, J A.R. Blais, a M Mansourpour. *Effects and Performance of speckle noise redustion filters on active radar and SAR images*. Studie, Alberta: Geomatics Engineering, 2006.
- Ralpf, J. F. „Final Week of Project.“ *Year 2 Project*. 2012.  
<http://h432h430y2p.blogspot.com/2012/> (přístup získán 10. Listopad 2020).
- Sarabandi, K, a Chiu Tsen-Chieh. „Optimum corner reflectors for calibration of imaging radars.“ *Transactions on Antennas and Propagation*. IEEE, 1996. 1348-1361.
- Schuber, Adrian, David Small, Miranda Nuno, Dirk Geudtner, a Erich Meier. „Sentinel-1A Product Geolocation Accuracy: Commissioning Phase Result.“ *Remote Sensing*, 22. Červenec 2015.
- Stimson, George W. *Introduction to Airborne Radar*. Mendham: SciTech Publishing, 1998.

Themistocleous, K., a D. G. Hadjimitsis. *THE IMPORTANCE OF CONSIDERING ATMOSPHERIC CORRECTION IN THE PRE-PROCESSING OF SATELLITE REMOTE SENSING DATA INTENDED FOR THE MANAGEMENT AND DETECTION OF CULTURAL SITES: A CASE STUDY OF THE CYPRUS AREA*. Lemesos: ResearchGate, 2008.

### **Internetové zdroje**

(ACRoRS), Asian Center for Research on Remote Sensing. „Remote sensing note.“

Remote Sensing and Geographic Information Systems Manuals. 1999.

[http://sar.kangwon.ac.kr/etc/rs\\_note/rsnote/contents.htm](http://sar.kangwon.ac.kr/etc/rs_note/rsnote/contents.htm) (přístup získán 10.

Prosinec 2020).

Corporation, Science Applications International. *space-track.org*. nedatováno.

<https://www.space-track.org/#catalog> (přístup získán 2. březem 2021).

CSC Mission Management Team. „Sentinel High Level Operations Plan.“ ESA.

22. 7 2019. [https://sentinel.esa.int/documents/247904/351367/Sentinel+High+Lev](https://sentinel.esa.int/documents/247904/351367/Sentinel+High+Level+Operations+Plan/530fd782-6386-4d26-9e05-36970bf91b85)

[el+Operations+Plan/530fd782-6386-4d26-9e05-36970bf91b85](https://sentinel.esa.int/documents/247904/351367/Sentinel+High+Level+Operations+Plan/530fd782-6386-4d26-9e05-36970bf91b85) (přístup získán

9. 7 2020).

Cybersoft. Alternetivo. 1996-2021.

[https://www.alternetivo.cz/default.asp?inc=inc/info/b2btechn\\_info\\_xWDM.htm](https://www.alternetivo.cz/default.asp?inc=inc/info/b2btechn_info_xWDM.htm)

(přístup získán 8. Listopad 2020).

Dickey, T, a P Falkowski. „SOLAR ENERGY AND ITS BIOLOGICAL –

PHYSICAL INTERACTIONS IN THE SEA.“ *Semantic Scholar*. 2001.

[https://www.semanticscholar.org/paper/SOLAR-ENERGY-AND-ITS-](https://www.semanticscholar.org/paper/SOLAR-ENERGY-AND-ITS-BIOLOGICAL-%E2%80%93-PHYSICAL-IN-THE-Dickey-Falkowski/a4a69459ddda336f23300ba350cd0ae414d3ca57/figure/0)

[BIOLOGICAL-%E2%80%93-PHYSICAL-IN-THE-Dickey-](https://www.semanticscholar.org/paper/SOLAR-ENERGY-AND-ITS-BIOLOGICAL-%E2%80%93-PHYSICAL-IN-THE-Dickey-Falkowski/a4a69459ddda336f23300ba350cd0ae414d3ca57/figure/0)

[Falkowski/a4a69459ddda336f23300ba350cd0ae414d3ca57/figure/0](https://www.semanticscholar.org/paper/SOLAR-ENERGY-AND-ITS-BIOLOGICAL-%E2%80%93-PHYSICAL-IN-THE-Dickey-Falkowski/a4a69459ddda336f23300ba350cd0ae414d3ca57/figure/0) (přístup

získán 20. Březem 2021).

Ing. Ivo Novák, MBA. „20 tzbinfo.“ Účinky elektromagnetického pole na lidský

organismus. 10. Listopad 2015. [https://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-](https://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus)

[elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus](https://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus) (přístup získán 5. Listopad

2020).

ESA. SAR instruments. 2000-2021. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/sar-instrument> (přístup získán 12. únor 2021).

ESA. SAR instruments. 2000-2021. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/sar-instrument> (přístup získán 12. únor 2021).

Jena, Friedrich-Schiller-University. *EO college*. nedatováno. <https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/> (přístup získán 25. Únor 2020).

Peat, Chris. *Heavens above*. nedatováno. <https://www.heavens-above.com/Satellites.aspx?lat=0&lng=0&loc=Unspecified&alt=0&tz=UCT> (přístup získán 2. Březen 2021).

Remote sensing Tutorials. 6. 8 2019. <http://www.nrcan.gc.ca> (přístup získán 10. 6 2020).

—. *SAR instruments*. 2000-2021. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar/sar-instrument> (přístup získán 12. únor 2021).

—. *Sentinel Application Platform*. nedatováno. <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> (přístup získán 6. Leden 2021).

s.r.o., Cybersoft. Alternetivo. nedatováno. [https://www.alternetivo.cz/default.asp?inc=inc/info/b2btechn\\_info\\_xWDM.htm](https://www.alternetivo.cz/default.asp?inc=inc/info/b2btechn_info_xWDM.htm) (přístup získán 8. Listopad 2020).

The European Space Agency. nedatováno. [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Facts\\_and\\_figures](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Facts_and_figures) (přístup získán 9. 7 2020).

## 9. Seznam grafů, obrázků a tabulek

### Seznam grafů

Graf 1: Tvary odražečů, síla odrazu měřená v decibelech .....	24
Graf 2: Postup zpracování snímku v aplikaci SNAP .....	28
Graf 3: Síla signálu, porovnání dat v programu SNAP, jedná se o snímky: : A - Subset_S1A_IW_GRDH_1SDV_20210127T050943_20210127T051008_036319 _0442F1_4378_Cal_TC_dB, B - Subset_S1A_IW_GRDH_1SDV_20210220T050949_20210220T051014_036669 _044F1B_B3AD_Cal_TC_dB, C - Subset_S1A_IW_GRDH_1SDV_20210304T050940_20210304T051005_036844 _045524_5227_Cal_TC_dB, D - Subset_S1A_IW_GRDH_1SDV_20210201T051756_20210201T051821_036392 _044574_8C18_Cal_TC_dB, E - Subset_S1A_IW_GRDH_1SDV_20210225T051752_20210225T051817_036742 _04519D_7C13(1)_Cal_TC_dB, F - Subset_S1A_IW_GRDH_1SDV_20210309T051752_20210309T051817_036917 _0457BA_4D42_Cal_TC_dB .....	31

### Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma elektromagnetického pole .....	5
Obrázek 2: Elektromagnetické spektrum .....	6
Obrázek 3: Pohlcování záření molekulami vodní páry a oxidem uhličitým .....	10
Obrázek 4: Odraz záření.....	12
Obrázek 5: Distorze šikmého snímkování .....	14
Obrázek 6: Interferometrie .....	17
Obrázek 7: Náčrt koutového odražeče, zobrazuje systém odrazu dopadajícího signálu .....	20
Obrázek 8: RCS u jednotlivých tvarů odražečů .....	21
Obrázek 9: Náčrt koutového odražeče .....	25
Obrázek 10: Sestavený a ukotvený odražeč .....	25
Obrázek 11: Ukotvení odražeče k zemi a upevnění desek odražeče .....	26
Obrázek 12: Upevnění odražeče k nosné konstrukci .....	26
Obrázek 13: Lokace odražeče .....	27

Obrázek 14: Zpracovaný snímek odrazu, jedná se o snímky: A -

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210127T050943\_20210127T051008\_036319  
\_0442F1\_4378\_Cal\_TC\_dB, B -

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210220T050949\_20210220T051014\_036669  
\_044F1B\_B3AD\_Cal\_TC\_dB, C -

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210304T050940\_20210304T051005\_036844  
\_045524\_5227\_Cal\_TC\_dB..... 29

Obrázek 15: Zpracovaný snímek odrazu, jedná se o snímky: A-

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210201T051756\_20210201T051821\_036392  
\_044574\_8C18\_Cal\_TC\_dB, B -

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210225T051752\_20210225T051817\_036742  
\_04519D\_7C13(1)\_Cal\_TC\_dB, C -

Subset\_S1A\_IW\_GRDH\_1SDV\_20210309T051752\_20210309T051817\_036917  
\_0457BA\_4D42\_Cal\_TC\_dB ..... 30

Obrázek 16: Návrh konstrukce odražeče ..... 34

### **Seznam tabulek**

Tabulka 1: Druhy polarizací ..... 4

Tabulka 2: Vlnová délka ..... 7

Tabulka 3: Režimy snímkování Sentinelu 1 ..... 18

Tabulka 4: Údaje o snímcích, na nichž je možné zpozorovat odražeč ..... 32