



DOSTUPNOST A KOMPARACE DAT Z DRUŽIC SENTINEL-1 V ZÁJMOVÝCH ÚZEMÍCH ČR A SÚDÁNU

Ing. Dominik Brétt

1. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra geomatiky,
brettd@g.ujep.cz

ABSTRAKT

Odborná práce se zaměřuje na metodiku zpracování interferometrických snímků a jejich problematiku. V článku se vyskytují také užitečné odkazy s vysvětlením, které mohou být použity jako pomůcka pro vlastní zpracování dat z družice Sentinel-1. Pro zdůraznění limitů dat Sentinel-1 bylo pro komparaci zvoleno několik zájmových území – v domácím prostředí České republiky byly vybrány oblast lomu Bílina a oblast Žatecka. Pro následné porovnání byly vybrány aridní oblasti s bohatou historií nacházející se v Súdánu, kde se kolegové autora z Fakulty životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně zúčastňují expedic. Každou z těchto lokalit omezují různé parametry – oblasti v České republice jsou limitovány především polohou, protože pro družice Sentinel-1 je v těchto zeměpisných šířkách. Oproti tomu súdánské oblasti jsou aridní, ale jsou limitovány nedostatečným pokrytím snímáním družice Sentinelu-1. Pro kvalitní vytvoření digitálních výškových modelů z dat družice Sentinel-1 je nutné vyhledat data s dostatečnou koherencí snímků a parametry množství vegetace s časovým rozmezím mezi jednotlivými snímky hrají důležitou roli. Oblasti byly porovnány mezi sebou a navíc i s běžně dostupným výškovým modelem SRTM a to jak z vizuálního hlediska – kde byly vytvořeny digitální výškové modely a stínované modely povrchu, tak i statisticky pomocí RMSE.

KLÍČOVÁ SLOVA

InSAR, DPZ, Sentinel-1, GIS, RMSE



ÚVOD

Príspevek vznikl z časti autorovy diplomové práce Využití bezkontaktních metod sběru prostorových dat pro sledování změn životního prostředí obhájené roku 2020 na Fakultě životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně. Cíle příspěvku jsou zaměřeny na pochopení, zpracování a následné analýzy radarových dat z mise Sentinel-1. Družice této mise pracují na bázi InSAR - interferometrický radar se syntetickou aperturou. V příspěvku se objevují užitečné odkazy pro zpracování dat samotným čtenářem. Ze zpracovávaných dat byly vytvořeny digitální výškové modely zájmových oblastí, které byly následně porovnány vizuálně ale taktéž statisticky pomocí RMSE.

Mise Sentinel-1 je zaměřena na monitorování mořského ledu, oceánských vod, mořského pobřeží i polárních oblastí, ale zároveň i na monitorování samotné pevniny a navazuje zejména na úspěšné mise družic Envisat a ERS-1. Pro Českou republiku je důležité zejména jejich možné využití v oblasti krizového řízení, a to hlavně díky dostupnosti aktuálních dat téměř v reálném čase. Konkrétní využití dat se předpokládá při povodních či deformacích terénu, které bude možné s vhodnými snímky pomocí radarové interferometrie detekovat s milimetrovou přesností.[1]

Princip InSAR

Základním principem této metody je paprsek, který je vyslán z radaru, s tím že odrazové plochy v různých vzdálenostech vykazují různou dobu odezvy mezi vysláním a zachycením paprsku. Zároveň metoda využívá změny fáze odraženého záření a rozdílu této změny mezi dvěma snímky stejného území. Díky téměř čisté sinusové povaze vysílaného signálu je odezva T rovna změně fáze Φ mezi vyslaným a zachyceným paprskem. Fázová změna je tedy úměrná obousměrné vzdálenosti paprsku vydělená vlnovou délkou radaru. [3]

Družicové systémy se liší v pásmech, ve kterých pracují a všechna tyto pásma mají některé limity. Družice mise Sentinel-1 pracuje v pásmu C (5.3 GHz) a kvalitu snímku limitují faktory jako vegetace či aktuální atmosférické podmínky v ionosféře. [2]

METODIKA

Tvorba digitálního modelu povrchu nebyl hlavním cílem mise Sentinel-1, proto není možné uplatnit tento postup pro celý svět, i když jsou dostupná data dané oblasti. Zároveň je nutné si uvědomit, že samotný proces je hardwarově poměrně náročný a je nutné předem počítat s dlouhotrvajícími procesy, zejména u méně výkonných zařízení.

Pro zpracování interferometrických dat byl zvolen software SNAP - jedná se totiž o volně dostupný software, který nabízí mnoho zajímavých funkcí, výhodou je taktéž silné a aktivní diskuzní fórum. Vizualizace a prezentace výsledků probíhala v prostředí ArcGIS Pro, z důvodu vlastněné licence.

Zpracování interferometrických snímků je poměrně hardwarově náročné a je tedy třeba zpracovávat data na výkonnějším stroji. Významnou roli v jednotlivých krocích hraje zejména operační paměť. Optimální velikost tohoto komponentu je 16 GB a více. Dále významnou roli hraje typ datového média a nejosvědčenější je SSD (Solid-State Drive). Jelikož snímek v komprimované složce ZIP je velký asi 4 GB, je taktéž rozhodující velikost tohoto komponentu.



Výběr lokality

Pro zpracování výškových modelů z dat mise Sentinel-1 je rozhodující vybrat správnou lokalitu pro toto modelování. Sentinel-1 pracuje v pásmu C, což v praxi znamená, že velký vliv na kvalitu modelu má vegetace. Toto pásmo bohužel nedokáže penetrovat svými paprsky vrstvu vegetace a modelace například deštného pralesu je z těchto dat nemožná.

Byly tedy vytýčeny celkem čtyři oblasti – 2 v České republice a 2 v Súdánu. Pro Českou republiku byla jako zájmová lokalita zvolena oblast lomu Bílina nacházející se v Ústeckém kraji u stejnojmenné obce a oblast Žatecka – především města. Oblasti v Súdánu nebyly zvoleny náhodou, neboť se kolegové autora, který působí na Katedře geoinformatiky Fakulty životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně jako technický pracovník, zúčastňují expedic do těchto míst.

Pro výběr vhodných dat byla použita webová stránka od *Alaska Satellite Facility -Vertex tool* (<https://search.asf.alaska.edu/#/>), která po zvolení typu dat a umístění polygonu zájmových oblastí vyhledala všechna data zabývající zvolenou oblastí.

Pro nalezení správného párového snímku byl využit další nástroj od stejné instituce a to *Baseline Tool* (<https://search.asf.alaska.edu/#/?searchType=Baseline%20Search>), díky kterému bylo možné vyhledat párový snímek.

Pro získání dat byl využit portál od Evropské kosmické agentury (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Nicméně stahovat lze pouze 3 snímky zároveň a jsou dostupné pouze snímky mladší 2 let a o starší snímky se musí zažádat.

Pro získání dat pro Českou republiku existuje alternativa a to portál <https://dhr1.cesnet.cz/#/home>, který vznikl ve spolupráci se sdružením CESNET, Ministerstvem dopravy a Evropskou kosmickou agenturou.

Ještě před samotným zpracováním snímků musel být do softwaru SNAP nainstalován zásuvný modul *SNAPHU Unwrapping*, který zpřístupnil rozbalení fáze.

Zpracování dat Sentinel-1

Prvním krokem byla koregistrace pomocí přednastavené funkce S1 TOPS Coregistration with ESD, pomocí něhož byla složena data z obou snímků a mimo jiné bylo zmenšeno zpracovávané území.

Po kroku koregistrace následovala příprava interferogramu, kde jako vstupní data posloužil výsledný produkt minulého kroku. Krok interferogramu není důležitý jen pro celkový workflow, ale taktéž se zde dle kvality histogramu koherence usoudit, zda je vhodné v práci zpracování snímků dále pokračovat či nikoli. Koherence nabývá hodnot od 0 do 1 – čím je hodnota blíže k 0, tím snímky obsahují méně šumu a jsou kvalitnější.

Snímky stále obsahovaly černé linie způsobené samotným snímáním a nedošlo k překryvu dat. Jednotný snímek byl docílen funkcí *TOPS Deburst*. Víceméně všechny interferometrické snímky obsahují šum, který zhoršuje kvalitu produktů z nich vytvořených. Aplikací *Goldstein Phase Filtering* se šum vyfiltroval a zároveň zvýraznil ony interferometrické vlnky. Koherence touto aplikací není ovlivněna. Pro lepší práci s vytvořeným snímkem bylo vhodné provést ořez na zkoumanou oblast pomocí funkce *Subset* a snížit tak výpočetní čas pro kroky, co následovaly.

Pomocí nainstalovaného zásuvného modulu bylo provedeno několik kroků rozbalení fáze.



Zpracovaný produkt bylo nutno převést z jednotek radiánů na absolutní výšku pomocí *Phase to Elevation*. Ještě před samotným exportem do formátu GeoTIFF byla aplikována funkce *Range Doppler Terrain Correction* pro opravení geometrického zkreslení.

Následovalo zpracování digitálních výškových modelů v prostředí ArcGIS Pro, kde byly vytvořeny stínované modely všech zájmových oblastí a zároveň do každé z nich bylo zaneseno 25 náhodných bodů.

Pro porovnání výsledků zpracování dat z družice Sentinel-1 byla použita data z družice SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Mise odstartovala 22. 11. 2000 agenturou NASA a NGA vynesemím dvou družic Endeavour, na jejichž palubě byly upevněny radary s pásmem C. Mise byla spuštěna s cílem získat radarová data, která se následně stala základem pro první digitální model (skoro) celého světa. [1]

Kvalita modelů byla verifikována statisticky pomocí RMSE.

RMSE (Root Mean Square Error) – odmocnina ze střední kvadratické chyby

Odmocnina ze střední kvadratické chyby je pokročilejší metodou pro určení přesnosti digitálního modelu reliéfu. Tato metoda měří rozptyl rozdělení četnosti odchylek mezi dvěma výškovými daty. Matematicky vyjádřena [6]:

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (Z_{di} - Z_{ri})^2}$$

Z_{di} - i -tá hodnota nadmořské výšky z povrchu DMR

Z_{ri} - korespondující původní nadmořská výška (zde odpovídá hodnotám referenčních bodů vyjmutých z množiny vstupních bodů)

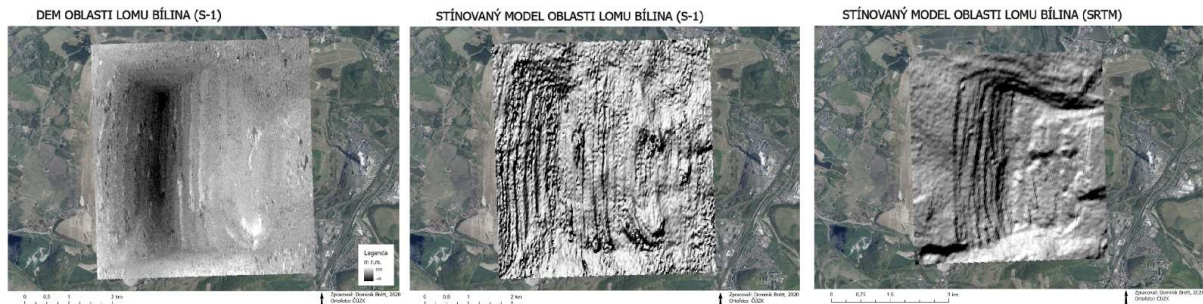
n - počet kontrolovaných bodů [5]

Větší hodnota RMSE odpovídá většímu rozptylu mezi dvěma datovými sadami. Čím je hodnota RMSE menší, tím je výsledný výškový model přesnější. Tato hodnota přebírá jednotky zkoumaných datových sad. [5]

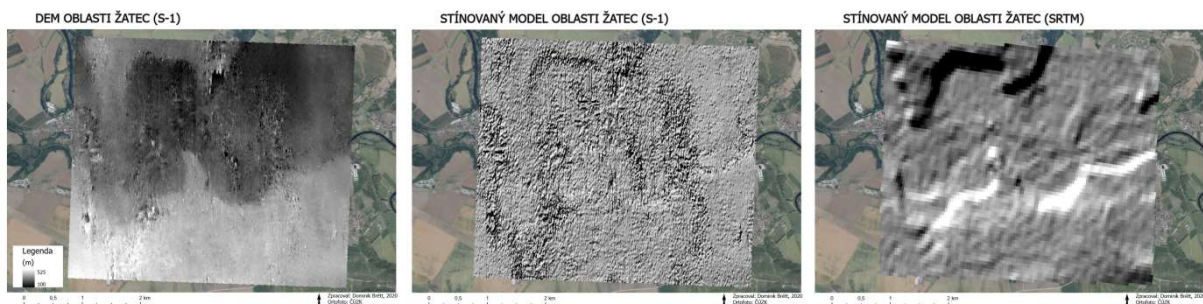
VÝSLEDKY

Testovaná data byla pro oblasti České republiky především z období vegetačního klidu, z důvodu zmenšení dekorelace způsobené povrchem pokrytým rostlinami. I obyčejný travnatý porost dokáže totiž výrazně snížit kvalitu snímku. V oblastech Súdánů byl největším limitem časový rozestup mezi jednotlivými snímky. Nepodařilo se nalézt snímky s časovým rozestupem nižším než 12 dnů, které by měly vyhovující hodnoty koherence.

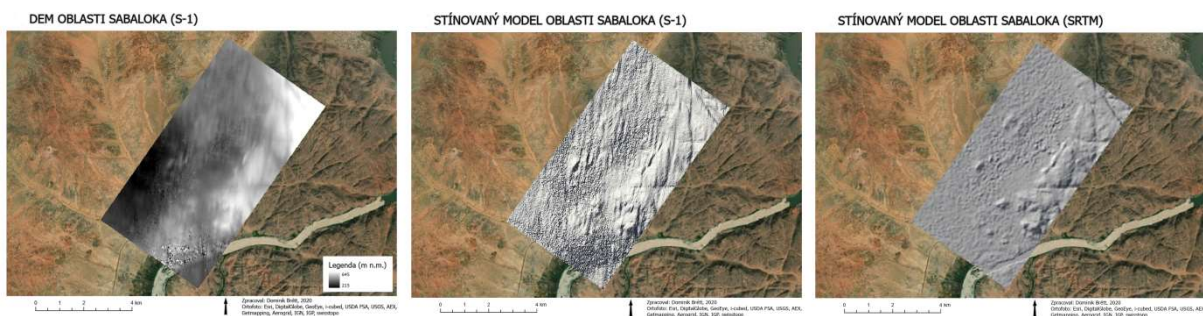
Digitální výškové modely vypadají obstojně, nicméně stále obsahují větší množství šumu, který vytváří nevzhledné artefakty u všech zkoumaných oblastí.



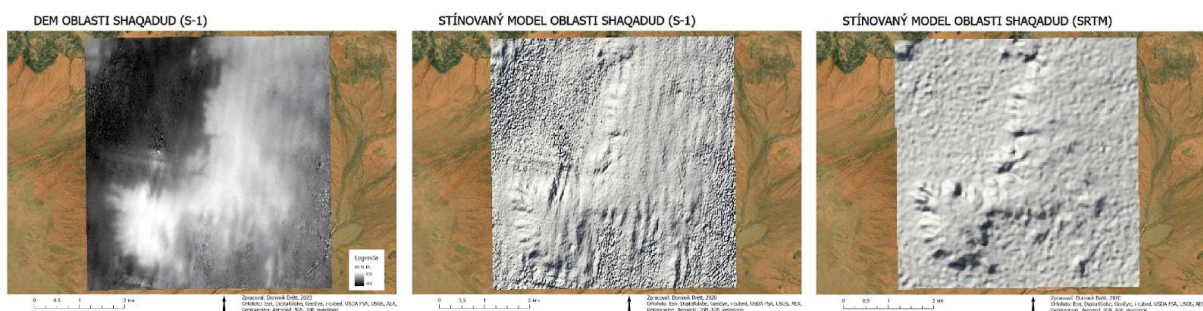
Obr. 1: Výsledné modely oblasti lomu Bílina



Obr. 2: Výsledné modely oblasti Žatec



Obr. 3: Výsledné modely oblasti Sabaloka (Súdán)



Obr. 4: Výsledné modely oblasti Shaqadud (Súdán)

Co se týče kvality výškového modelu INSAR, dle fóra ESA se běžná odchylka RMSE při porovnání se SRTM pohybuje v rozmezí od -75 metrů do 75 metrů. Digitální výškové modely SRTM měly rozlišení pixelu okolo 30 metrů, oproti tomu digitální výškové modely z dat Sentinel-1 14 metrů.

Oblasti zvolené v Súdánu dopadly lépe jak vizuálně, tak i statisticky. Hodnota RMSE první súdánské oblasti Sabaloka činila 26,935 metrů a v druhé pouze 10,839 metrů. I přes to, že v České republice byly zvoleny oblasti velmi chudé, co se týče vegetačního krytu, mimo



vegetační sezónu, nepodařilo se najít párové interferometrické snímky, které by měly nízké RMSE hodnoty. Výškové údaje ze SRTM jsou z roku 2000 a v oblasti lomu Bílina je zřejmé, že došlo k vývoji a postupu těžby a tudíž data mohla být zavádějící, protože se zde jednalo o porovnání výšek o 18 let později. Odchylka RMSE při porovnání interferometrických dat a SRTM činila 104,169 metrů. RMSE oblasti Žatec dopadlo lépe a to s hodnotou 25,723 metrů. Šum měl nepříznivý vliv na kvalitu zobrazovaných stínovaných modelů a zobrazují terén pouze velmi přibližně.

Tab. 1: RMSE pro data zájmových oblastí

Oblasti		RMSE (m)
Súdán	Sabaloka	26,935
	Shaqadud	10,839
ČR	Bílina	104,169
	Žatec	25,723

ZÁVĚR

Výsledky digitálních výškových modelů zpracované z interferometrických dat mise Sentinel-1 byly verifikovány s běžně dostupným výškovým modelem pořízeným misí *Shuttle Radar Topographic Mission*. A využití těchto modelů je vhodné zejména pro oblasti, které jsou špatně dostupné pro jiné alternativní a přesnější metody získání výškových údajů. Modely zpracované z dat Sentinel-1 dopadly o mnoho lépe pro oblasti v Súdánu i přes to, že časový rozdíl mezi jednotlivými snímky bylo 12 dnů oproti 3 dnům pro oblasti v ČR. Oblast Žatec se svou nízkou hodnotou RMSE měla nevyhovující stínovaný model povrchu.

PODĚKOVÁNÍ

Na těchto pár řádcích bych rád poděkoval panu doc. Ing. Janu Pacinovi, Ph.D. za rady, nasměrování a ochotu při zpracování diplomové práce, ze které tento článek čerpá. Mé díky taktéž patří celému diskuznímu fóru pro zpracování dat z družice Sentinel-1 za skvělou odezvu a přátelskou komunitu, která umí poradit.

REFERENCE

1. Collaborative Ground Segment - Czech Republic, Sentinel-1 – Datové specifikace [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://collgs.czechspaceportal.cz/sentinel-1-datove-specifikace/>
2. DOBROVOLNÝ, Petr. Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu. Brno, 1998. ISBN 80-210-1812-7.
3. FLETCHER, K. Sentinel-1: ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Service. Noordwijk, Netherlands: ESA Communications, 2012. ISBN 978-92-9221-418-0.
4. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global [online]. [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1-arc?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects



5. SVOBODOVÁ, Jana. Hodnocení přesnosti digitálních modelů reliéfu. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*. 2008 [online]. [cit. 2020-06-12]. Dostupné z:

<http://www.asg.sav.sk/gfsb/v081/gfsb080109.pdf>

6. WOOD, J.D. (1996). The geomorphological characterisation of digital elevation models. Geography Department, University of Leicester, UK