

DOKŁADNOŚĆ DANYCH RADAROWYCH SRTM – TEORIA I PRAKTYKA

Streszczenie. W referacie przedstawiono próbę oceny przydatności danych radarowych SRTM dla celów kontroli upraw metodą teledetekcyjną poprzez wyznaczenie ich dokładności względnej i bezwzględnej. Analizę dokładności przeprowadzono na 17 obszarach testowych rozmieszczonych na terenie całej Europy. Do porównania wykorzystano dane pochodzące z projektu CwRS 2003. Mimo niejednorodności danych referencyjnych (różne dokładności i odwzorowania kartograficzne), uzyskano zaskakująco dobre wyniki. Zilustrowano również relacje pomiędzy dokładnością względną danych SRTM a ukształtowaniem terenu.

Wprowadzenie

Odpowiednie wykorzystanie najnowszych technologii dotyczących przetwarzania obrazów oraz ciągle zwiększająca się rozdzielczość zdjęć satelitarnych umożliwiają bardziej efektywne rozróżnianie elementów pokrycia terenu. Zgodnie z art. 8. Rozporządzenia Rady (WE) nr 3508/92, władze krajowe mogą posługiwać się teledetekcją w celu określenia powierzchni działek rolnych, identyfikacji zasiewów oraz weryfikacji ich stanu (w ramach IACS-u, czyli Zintegrowanego Systemu Zarządzania i Kontroli, ang. Integrated Administration and Control System). Ta idea, choć stosunkowo nowa, rozwija się bardzo szybko i cieszy się dużym zainteresowaniem wśród krajów członkowskich Unii Europejskiej. W pracach teledetekcyjnych jednym z podstawowych źródeł danych jest ortofotomapa (najczęściej satelitarna), do produkcji której wykorzystuje się następujące składowe:

- obraz źródłowy z metadanymi (obraz satelitarny),
- numeryczny model powierzchni terenu (DEM),
- punkty o znanych współrzędnych terenowych (GCP).

Kraje uczestniczące w projekcie CwRS 2003 (ang. Control with Remote Sensing, prowadzony przez jednostkę Komisji Europejskiej MARS – obecna nazwa Agrifish) borykają się różnymi problemami, począwszy od odstępności elementów składowych, a skończywszy na dokładności wysokościowej posiadanego DEM. Niektóre jeszcze nie stworzyły krajowego numerycznego modelu terenu (np. Rumunia) lub posiadają dane wysokościowe o niskiej dokładności (np. Grecja). Rodzi się pytanie o alternatywne dane wysokościowe charakteryzujące się wystarczającą dokładnością, europejskim zasięgiem, dostępnością oraz niską ceną. Czy dane pochodzące z misji SRTM spełniają te warunki?

SRTM

Celem jedenastodniowej radarowej misji topograficznej promu kosmicznego (SRTM ang. Shuttle Radar Topography Mission) było pozyskanie wysokościowych danych topograficznych dla ponad 80% powierzchni lądów, między 60° szerokości geograficznej północnej a 56° szerokości geograficznej południowej. Jeden z największych, sztucznych obiektów krążących w kosmosie był wynikiem współpracy międzynarodowej pomiędzy (NASA, NIMA, ASI, DLR). Od strony technicznej misja była realizowana niezależnie przez dwa interferometry: pracujący w paśmie C, zbudowany przez NASA/JPL (JPL - Jet Propulsion Laboratory) oraz pracujący w paśmie X, zbudowany przez Niemieckie Centrum Kosmiczne DLR. Anteny nadawczo-odbiorcze obu interferometrów znajdowały się w luku promu, a anteny odbiorcze na wysięgniku teleskopowym o długości 60m, tworzącym bazę interferencyjną.

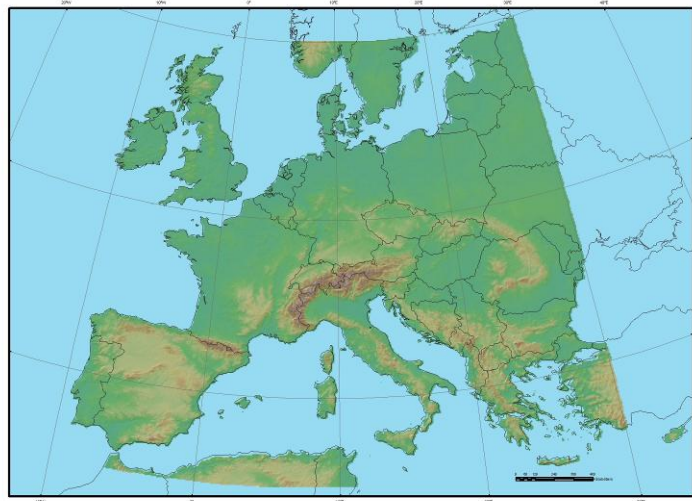
Dane pozyskane podczas misji pozwoliły opracować numeryczny model rzeźby terenu tzw. interferencyjne dane wysokościowe (ITED - Interferometric Terrain Elevation Data) w regularnej siatce geograficznej, a mianowicie:

ITED-2 (NMT na poziomie 2, pasmo X): siatka o oczku 1" x 1" (ok. 30m x 30m),

ITED-2 (NMT na poziomie 2, pasmo C): siatka o oczku 1" x 1" (ok. 30m x 30m),

ITED-1 (NMT na poziomie 1, pasmo C): siatka o oczku 3" x 3" (ok. 90m x 90m),

SRTM-GTOPO30 (pasmo C): siatka o oczku 30" x 30" (ok. 1km x 1km).



Rysunek 1. Zakres danych podlegających opracowaniu.

Przedmiotem badań omawianego projektu są dane typu ITED-1 czyli dane pozyskane w paśmie C (poziom 1) o wielkości oczka siatki 90x90 metrów. Przytoczone, w dalszych części, wyniki i ich analiza dotyczy danych obejmujących teren Europy wraz z Cyprzem (Rys. 1), rozciągających się pomiędzy 15° W - 30° E i 35° N - 60° N w geograficznym układzie odniesienia (Lat/Lon). Według oficjalnych źródeł bezwzględna dokładność wysokościowa interferometrycznych danych SRTM o oczku 90 metrów wynosi 16m, a względna dokładność wysokościowa jest równa 10 metrom (Tab. 1) (wszystkie błędy na poziomie prawdopodobieństwa 90%).

Tabela 1. Dokładność danych radarowych SRTM (pasmo C, poziom 1) [Bamler, 1999].

Dokładność	Pasmo C Poziom 1
Sytuacyjna bezwzględna	błąd < 60 m
Sytuacyjna względna	błąd < 45 m
Wysokościowa bezwzględna	błąd < 16 m
Wysokościowa względna	błąd < 10 m

Założenia projektowe i metodologia

Przeanalizowano europejski DEM (European DEM) wykonany na bazie produktów SRTM (ITED-1 (NMT na poziomie 1, pasmo C): siatka o oczku 3" x 3" (ok. 90m x 90m)). W opracowaniu wykorzystano zbiory danych referencyjnych, których źródłem jest projekt CwRS 2003, tj. zbiory punktów osnowy terenowej oraz narodowe numeryczne dane wysokościowe DEM. Testy wykonano dla 17-stu obszarów rozmieszczonych na terenie całej Europy, łączny obszar opracowania wyniósł blisko 40 tys. km².

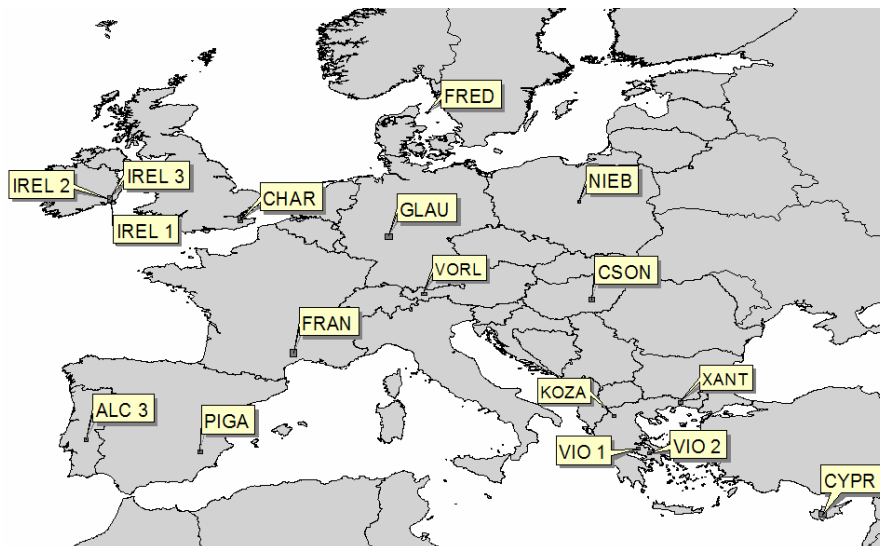
Uwzględniono następujące aspekty: różnorodność typów danych wejściowych, straty informacji przy przetwarzaniu danych oraz zafałszowanie informacji radarowej dla obszarów wodnych. Dla określenia dokładności względnej danych radarowych SRTM wykorzystano kilka metod bazujących na wysokościowych danych referencyjnych DEM ('raster-raster', 'raster-wektor', 'raster-wektor z interpolacją bilinearną') a dla określenia dokładności bezwzględnej wykorzystano metodę bazującą na niezależnych punktach kontrolnych, w większości pozyskanych za pośrednictwem metody GPS ('raster-wektor z interpolacją bilinearną').

Metoda 'raster – raster' polega na bezpośrednim porównaniu dwóch rastrow (zwanych DEM – referencyjny, czyli krajowy i SRTM – dane radarowe) czyli nałożeniu dwóch matryc rastrowych i porównanie wartości odpowiadających pikseli. Metoda druga, zwana 'raster-wektor', polega na nałożeniu na dane referencyjne w niezmięnionej postaci siatki punktów o oczku 90 metrów i odczytaniu każdej wartości wysokości z danych DEM. Trzecia metoda, zwana 'raster - wektor z interpolacją bilinearną', została stworzona na bazie metody II: na referencyjne dane wysokościowe (narodowy DEM) nałożona została równomierna siatka punktów (SRTM) z tym, że przy określaniu wysokości odpowiadających sobie punktów wykorzystano algorytm interpolacji bilinearnej (zwanej bilingową lub dwuścienną). Polega ona na interpolacji wartości funkcji dwóch zmiennych przez interpolację liniową względem każdej z tych zmiennych oddzielnie.

Wyniki zastosowania przedstawionych metod zostały wyrażone za pomocą wartości statystycznych: RMSE - opisujący dokładność bezwzględna (bazuje na wartościach uzyskanych za pomocą niezależnych punktów kontrolnych), RMS - opisujący dokładność względną badanych radarowych, określona na podstawie referencyjnych danych wysokościowych, MEAN - średnia arytmetyczna błędów dla danego obszaru, SD - odchylenie standardowe, określa rozkład wartości błędów w badanym obszarze.

Charakterystyka obszarów testowych

W projekcie wykorzystano siedemnaście obszarów testowych rozłożonych na obszarze Europy w dwunastu krajach. Pojedyncze obszary testowe znajdują się w Portugalii, Hiszpanii, Anglii, Francji, Niemczech, Austrii, Danii, Polsce, Węgrzech oraz na Cyprze; dla Grecji wybrano cztery, a dla Irlandii trzy obszary testowe. Wykorzystane pola testowe pokrywają się z polami wybranymi w projekcie CwRS w 2003 roku, prowadzonym przez jednostkę Agrifish (dawniej MARS) w ośrodku badawczym JRC.



Rysunek 2. Rozmieszczenie obszarów testowych

Obszary charakteryzują się zróżnicowanym ukształtowaniem terenu. Można je następująco pogrupować:

- tereny płaskie (FRED, NIEB, CSON, IREL1, IREL3, CHAR),
- mało zróżnicowane (ALC3, GLAU, VIO2, IREL2),
- średnio zróżnicowane (KOZA, FRAN, CYPR, VIO1),
- obszary podgórskie z maksymalną wysokością ponad 2000m n.p.m. (XANT, VOLR, PIGE)

Opracowaniem objęto prawie 40 tys. km². Średnia powierzchnia pola testowego wynosi około 2327 km². Różnorodność obszarów testowych pozwoli na wykonanie szeregu analiz, co będzie podstawą obiektywnej oceny danych radarowych SRTM.

Dane referencyjne

Źródłem danych referencyjnych był projekt CwRS 2003 (Control with Remonte Sening) prowadzony przez jednostkę Komisji Europejskiej MARS. W projekcie uczestniczyły wszystkie kraje członkowskie (10) oraz kraje kandydujące (w tym Polska). Jednym z zadań projektu było pozyskanie wysokorozdzielczych zobrażeń satelitarnych dla wybranych obszarów testowych rozmieszczonych w obszarach państw uczestniczących w CwRS, podczas gdy odpowiednie jednostki krajowe

wykonały ortorektyfikację obrazów satelitarnych z użyciem dostępnych materiałów (DEM i GCP). Po zakończonym procesie wszystkie dane i produkty (obrazy po ortokorekcji, obrazy nieprzetworzone, DEM i punkty osnowy terenowej) przesłano do jednostki MARS, gdzie odbyła się kontrola wykonanych prac.

Dane referencyjne nadesłane przez krajowych wykonawców charakteryzowały się różnym:

- odwzorowaniem kartograficznym (krajowe projekcje),
- wielkością oczka siatki dla numerycznego modelu terenu (od 10 do 50 metrów),
- pochodzeniem i datą pozyskania,
- dokładnością pozycyjną i wysokościową,
- charakterystyką terenu

Dokładność wysokościowa referencyjnych danych według [Kay, 2004] nie powinna przekraczać 5 metrów ($RMSE_z < 5$). Po wnikliwej analizie zgromadzonych danych wybrano kompletne zbiory danych dla siedemnastu pól testowych położonych na obszarze Europy.

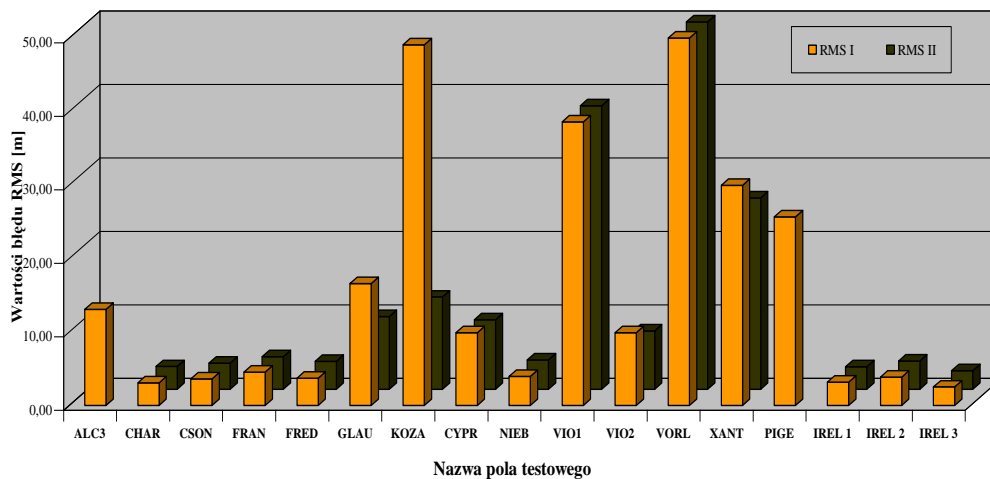
Dostarczone dane zawierające zbiory niezależnych punktów kontrolnych (ICP) zostały pozyskane z dokładnością mniejszą niż 1 metr, [Kay, 2004] w głównej mierze za pomocą techniki GPS. Spośród obszarów testowych wybrano 11 takich, które wyróżniają się wystarczającą liczbą punktów kontrolnych i zastosowano je do wyznaczenia dokładności bezwzględnej danych radarowych. Należy pamiętać, że pochodzenie danych narzuca rozkład punktów na polach testowych, skupionych w zakresach obrazów satelitarnych, tym samym rozkład nie jest równomierny na całym obszarze testowym.

Analiza wyników.

Wyniki wyznaczenia dokładności (względnej i bezwzględnej) danych radarowych SRTM o oczku 90 metrów – przedstawiono za pomocą wykresów. Graficzna wizualizacja rezultatów wydaje się być łatwiejsza do wyciągania wniosków.

Dokładność względna danych SRTM

Wyznaczono dokładność względną danych SRTM dwoma niezależnymi metodami (R-R oraz R-W). Analizując rysunek 3, łatwo zauważyć, że wartości błędów RMS porównywanych metod nie różnią się wiele: generalnie wartości RMS dla metody (R-W) są mniejsze niż wartości otrzymane w metodzie (R-R), co ma ścisły związek z mniejszą ilością analizowanych punktów (próbek), niż w metodzie 'raster-raster'. Dodatkowo ilość punktów wykorzystanych na 1 km² w metodzie 'raster-wektor' jest prawie równa dla każdego pola testowego. Dla zlokalizowanych pól testowych w Grecji (KOZA, VIO1, XANT) wartości błędów są bardzo wysokie, co jest konsekwencją dokładności i jakości danych referencyjnych.



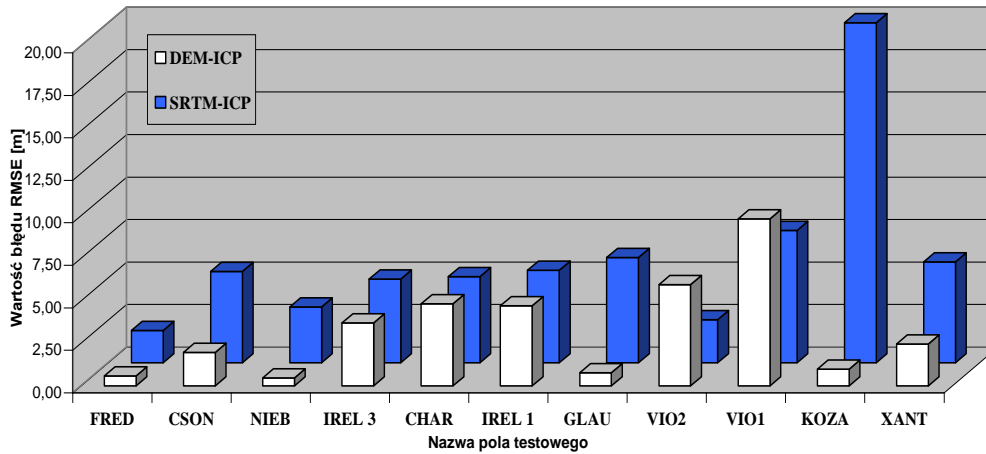
Rysunek 3. Dokładność względna danych SRTM (wynik metod R-R, R-W)

Najwyższa wartość błędu RMS otrzymano dla pola testowego VORL (Austria), który jest położony w obszarze górskim (max. wysokość 2200m n.p.m.) i charakteryzuje się największym współczynnikiem SD_E (440m). W tak zróżnicowanym terenie możemy dostrzec niedoskonałości techniki radarowej - efekt cieni radarowych.

Dokładność bezwzględna danych SRTM

Kolejny wykres (rysunek 4) przedstawia bezwzględną dokładność danych radarowych SRTM (kolor niebieski), wyrażona poprzez wartość błędu RMSE. Dla porównania zamieszczono również wartości dokładności bezwzględnej danych referencyjnych DEM (kolor biały). Wyniki te uzyskano dokonując kontroli wysokości na punktach o znanych współrzędnych terenowych (zbiór niezależnych punktów kontrolnych – ICP).

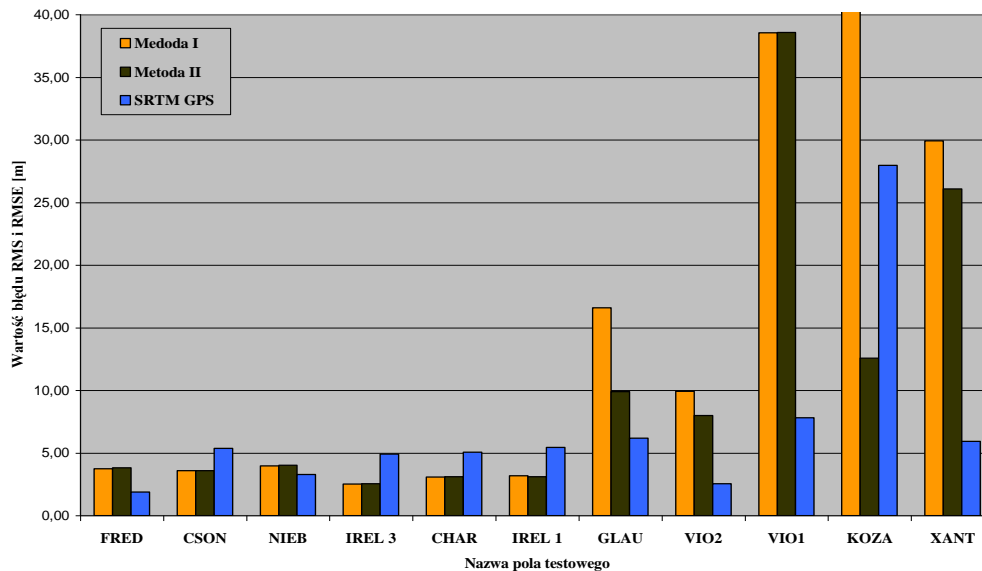
Bezwzględna dokładność danych referencyjnych DEM zawiera się w przedziale 0,47-5,94m natomiast dla danych SRTM 1,98-7,80m, z wyłączeniem pola testowego KOZA. Należy jeszcze raz podkreślić, że wyniki badań nie są łatwe do zinterpretowania ze względu na duże zróżnicowanie terenowe obszarów testowych oraz różnice w dokładności i rozdzielczości danych referencyjnych (narodowych DEM). W szczególności grecki obszar KOZA zawsze wypada najslabiej przy wszelkiego rodzaju analizach. Przymuszczalnie zawyżono nieco dokładność tych danych, a ponadto teren nie jest płaski.



Rysunek 4. Dokładność bezwzględna danych SRTM i DEM

Przytoczone wyniki świadczą o tym, że dokładność bezwzględna danych radarowych SRTM jest większa niż zakładał producent systemu, co jeszcze bardziej świadczy na ich korzyść (obok darmowej dystrybucji).

Zestawienie dokładności danych radarowych SRTM



Rysunek 5. Dokładność względną i bezwzględna SRTM

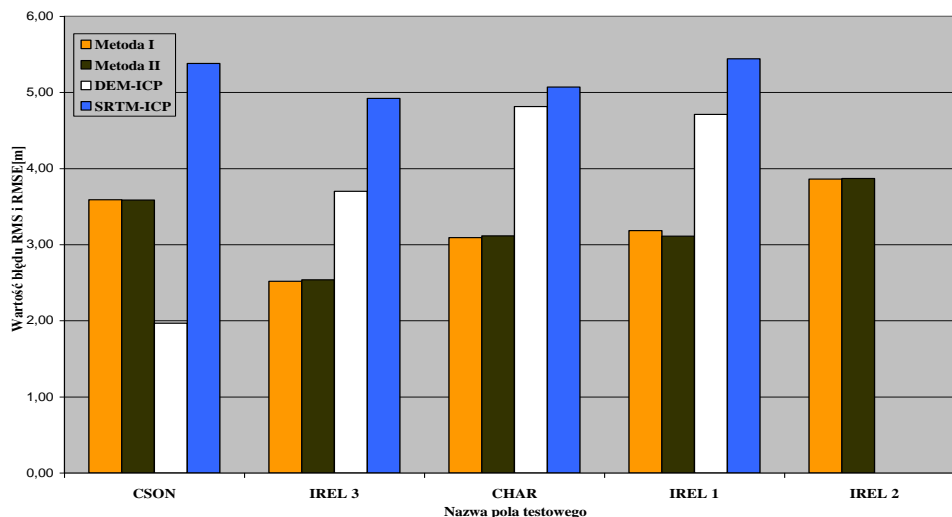
Na rysunku 5 zestawiono wyniki analizy dokładnościowej dla 11 obszarów testowych. Poszczególne kolory słupków odpowiadają dokładności względnej i bezwzględnej danych SRTM. W szczególności, dokładność względną (RMS) została określona za pomocą dwóch różnych metod: metoda I ('raster-raster', kolor pomarańczowy) oraz metoda II ('raster-wektor' kolor oliwkowy). Z kolei kolor niebieski ilustruje

dokładność bezwzględna danych SRTM, opisana przez wartości błędu RMSE bazującej na metodzie 'raster-wektor z interpolacją bilinearną'.

Można łatwo zauważyć, że dla obszarów testowych: FRED, CSON, NIEB, IREL3, CHAR, IREL1, które charakteryzują się mało zróżnicowaną rzeźbą terenu, dokładność względna nie jest większa od 4m, podczas gdy dokładność bezwzględna (RMSE) oscyluje na poziomie 5m. Kolejne obszary: GLAU, VIO2, o bardziej zróżnicowanej rzeźbie terenu, charakteryzują się dokładnością względną na poziomie 10m, a bezwzględna - 3m dla VIO2 oraz 6m dla pola testowego GLAU. Ostatnie trzy pola testowe (VIO1, KOZA, XANT) położone w Grecji, charakteryzują się bardzo zróżnicowaną rzeźbą terenu oraz niską dokładnością referencyjnych danych wysokościowych DEM. Tym samym określona dokładność względna danych SRTM dla tych obszarów testowych nie jest wiarygodna.

Analiza wyników dla obszarów testowych o wielkości oczka siatki 10 metrów

Dostępne wysokościowe dane referencyjne są bardzo zróżnicowane, między innymi, pod względem wielkości oczka siatki. Inaczej mówiąc, mamy do czynienia z narodowymi modelami wysokościowymi o różnej dokładności. W ramach niniejszej pracy podjęto próbę porównania kilku takich pól testowych, dla których istnieją dane referencyjne o podobnej charakterystyce dokładnościowej. W szczególności tymi badaniami objęto obszary, których oczko siatki wynosi 10 metrów (wybrano pięć takich obszarów).



Rysunek 6. Zestawienie wyników dla obszarów referencyjnych o oczku siatki 10m.

Na przedstawionym wykresie (rys 6) zestawiono informacje o:

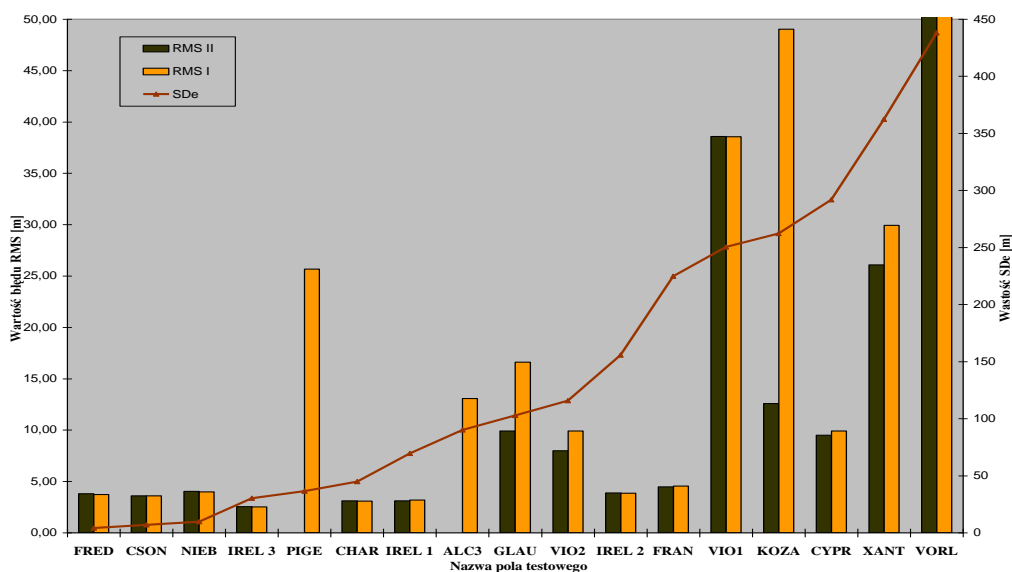
- dokładności względnej: metoda 'raster-raster' – kolor pomarańczowy, metoda 'raster-wektor' – kolor oliwkowy;
- dokładności bezwzględnej: danych referencyjnych DEM – kolor biały, danych radarowych SRTM – kolor niebieski;

Warto zauważyć, że prezentowane wyniki są bardzo jednorodne. Dodatkowo wartości błędów są niskie – nieprzekraczające 4m i 5,5m - odpowiednio dla dokładności

względnej i bezwzględnej. Komentując te wyniki, należy podkreślić, że dotyczą one terenów płaskich z mało zróżnicowaną rzeźbą terenu (odchylenie standardowe $SD_E < 50$).

Dokładność względna SRTM a ukształtowanie terenu

W czasie badań, narodziło się pytanie czy istnieje zależność pomiędzy ukształtowaniem terenu, charakterystyką terenu a dokładnością danych radarowych SRTM. Rysunek 7 przedstawia względną dokładność danych SRTM na tle współczynnika charakteryzującego zróżnicowanie terenu (brązowa linia). Względną dokładność otrzymano za pośrednictwem metod 'raster-raster' i 'raster-wektor' i opisana wartością błędu RMS, natomiast rzeźba terenu została scharakteryzowana za pośrednictwem odchylenia standardowego wysokości SD_E danych referencyjnych. Można zauważyć powiązanie dokładności SRTM z ukształtowaniem terenu (przedstawionym jako SD_E): im większe zróżnicowanie terenu tym większe błędy RMS. Innymi słowy, im bardziej zróżnicowany teren tym niższa względna dokładność danych radarowych.



Rysunek 7. Relacja pomiędzy ukształtowaniem terenu a dokładnością względną SRTM

Dla potrzeb tego projektu stworzono trzy klasy opisujące ukształtowanie terenu:

- tereny prawie płaskie (gdzie odchylenie standardowe $SD_E < 50$),
- umiarkowane zróżnicowanie terenu (SD_E zawiera się w przedziale 51 - 100),
- duże zróżnicowanie terenu (SD_E zawiera się w przedziale 101 - 350),

Dla wyznaczonych klas, dokładność danych radarowych SRTM przedstawia się następująco:

- Dla terenów prawie płaskich, dokładność względna (wartość błędu RMS) zawiera się w przedziale 2.52 - 3.97m, wartość 25,66 (zaznaczona na niebiesko w tabeli) jest niepewna z powodu niekompletnych danych

referencyjnych. Bezwzględna dokładność (RMSE) zawiera się w przedziale 1.89-5.07 metra.

- Dla terenów o umiarkowanym ukształtowaniu, dokładność względna (RMS) zawiera się w przedziale 3.18 - 16.59m, natomiast wartości RMSE zawierają się w 2.54-6.19m.
- Dla terenów o dużym zróżnicowaniu terenu, względna dokładność wynosi od 3.86 do 49.03m, należy jednak pamiętać, że ten przedział zawiera pola testowe położone w Grecji, gdzie dane referencyjne nie są dobrej dokładności. Limit dla bezwzględnej dokładności zawiera się w przedziale 5.93-27.97m.

Podsumowanie i wnioski

Interferometryczne dane radarowe pozyskane podczas 11 dniowej misji SRTM są wynikiem zastosowania nowoczesnej technologii do generowania numerycznego modelu terenu w skali globalnej. Według oficjalnych informacji dostarczonych przez producenta dokładność wysokościowa danych radarowych (Tab. 1), będących przedmiotem opracowania (pasmo C poziom I) wynosi 10m, odpowiednio dla dokładności względnej (błędy z prawdopodobieństwem 90% (CE90)).

W niniejszym projekcie wykorzystano szereg metod do praktycznego określenia wysokościowej dokładności (względnej i bezwzględnej) danych radarowych, bazujących na danych referencyjnych (DEM, ICP). Porównanie danych SRTM z narodowymi modelami terenu wymagało doprowadzenia ich do podobnej postaci, np. porównywano dwie matryce rastrowe (metoda 'raster-raster'). Jest to najbardziej reprezentatywna metoda: porównuje wartości wszystkich odpowiadających sobie pikseli dwóch matryc, tym samym wynik jest oparty na maksymalnej ilości próbek. Zastosowano także metodę polegającą na nałożeniu na raster regularnej siatki punktów ('raster-wektor'). Przebadano również wpływ algorytmu interpolacji przy wyznaczeniu wysokości danego punktu, otrzymując wynik negatywny (niemal identyczne wyniki). Zaletą metody 'raster-wektor' jest pokrycie wszystkich pól testowych jednorodną siatką punktów, pochodzących z radarowych danych SRTM, tym samym wszystkie pola testowe przebadano taką samą ilością punktów (na km²). W metodologii uwzględniono również aspekt strat informacyjnych podczas przetwarzania obrazów - proponując metody niewymagające ingerencji w strukturę danych (np. zmiana wielkości piksela).

Z kolei, do wyznaczenia bezwzględnej wysokościowej wykorzystano zbiory niezależnych punktów kontrolnych (z dokładnością nie większą 1m) w większości pozyskane techniką GPS.

Posiadane referencyjne dane (DEM) różnią się od siebie pod względem dokładności oraz wielkości oczka siatki. Dodatkowo, pola testowe obejmują tereny o różnorodnym terenie. W ramach niniejszej pracy podjęto próbę porównania kilku pól testowych, dla których istnieją dane referencyjne o podobnej charakterystyce dokładnościowej. W szczególności tymi badaniami objęto obszary, których oczko siatki wynosi 10 metrów. Otrzymano jednorodne wyniki (dla poszczególnych pól testowych). Dodatkowo wartości błędów są niskie – nie przekraczające 4m i 5,5m - odpowiednio dla dokładności względnej i bezwzględnej. Przytoczone wyniki dotyczą tylko terenów prawie płaskich (odchylenie standardowe $SD_E < 150$).

Różnorodność posiadanych danych spowodowała, że dla potrzeb projektu opracowano klasyfikację charakterystyki ukształtowania terenu, dla których dokładność danych SRTM zawiera się w następujących przedziałach:

- Dla terenów prawie płaskich: dokładność względna (wartość błędu RMS) zawiera się w przedziale 2.52 - 3.97 m, zaś bezwzględna dokładność (RMSE) zawiera się w przedziale 1.89-5.07 metra.
- Dla terenów o umiarkowanym ukształtowaniu, dokładność względna (RMS) zawiera się w przedziale 3.18 - 16.59m, natomiast wartości RMSE zawierają się w 2.54-6.19m.
- Dla terenów o dużym zróżnicowaniu terenu, względna dokładność wynosi od 3.86 do 49.03m (ta ostatnia wartość jednak nie jest obiektywna, gdyż wynik uzyskano na terenie pola testowego położonego w Grecji, gdzie dane referencyjne nie osiągają wymaganej dokładności). Limit dla bezwzględnej dokładności zawiera się w przedziale 5.93-27.97m.

Uzyskane wyniki dokładnościowe dla interferencyjnych danych radarowych są znacznie lepsze niż podawane przez oficjalne źródła. Podsumowując, możemy powiedzieć, że dane radarowe pozyskane podczas 11 dniowej misji SRTM, możemy zastosować do szeregu celów ze względu na relatywnie wysoka dokładność i niemal nieograniczony, darmowy dostęp. Dane z SRTM mogą stanowić pewną alternatywą dla krajów takich jak Rumunia, (która nie posiada numerycznego modelu terenu), lub Grecja, która posiada DEM o bardzo niskiej dokładności.

W niniejszym projekcie wykazano zależność dokładności danych radarowych SRTM od ukształtowania terenu i podjęto próbę jej usystematyzowania, co jest pomocne w poznaniu faktycznej wartości danych SRTM, objętych darmową dystrybucją.

Podziękowania

Autor dziękuje jednostce Agrifish (Agriculture and Fisheries) należącej do JRC (Joint Research Centre EU) za udostępnienie danych, a także dr S. Kay i dr J. Nowak za pomoc w realizacji projektu, w szczególności za cenne uwagi i zachętę do dalszych badań.

Literatura

- Bamler R., Rabus B., Eineder M., Roth A., 2003, The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar, German Aerospace Center (DLR), Oberpfaffenhofen, D-82234 Wessling, Germany ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 57 (2003), 241–262
- Bamler, R., Breit, H., 1998. An InSAR processor for onboard performance monitoring of the SRTM/X-SAR interferometer. Proceedings of the IEEE, IGARSS 4, 1904– 1907.
- Bamler, R., Hartl, P., 1998. Synthetic aperture radar interferometry. Inverse Problems 14 (4), R1– R54.

- Bamler, R., Schaöttler, B., 1993. SAR data acquisition and image formation. In: Schreier, G. (Ed.), SAR Geocoding: Data and Systems. Wichmann, Karlsruhe, pp. 53– 102.
- Bertiger, W., Bar-Sever, Y., Desai, S., Duncan, C., Haines, B., Kuang, D., Lough, M., Reichert, A., Romans, L., Srinivasan, J., Webb, F., Young, L., Zumberge, J., (2000), Precise orbit determination for the Shuttle Radar Topography Mission using a new generation of GPS receiver. Presented at Ion GPS 2000, Salt Lake City, UT, September, p. 1646.
- Dusart J., 2004, Pan_European DEM based on SRTM data, v. 1.0, IES/JRC, Soil & Waste Unit.
- Kay S., Chmiel J., Spruyt P., Ortorectification and geometric quality assessment of very high spatial resolution satellite imagery for common agricultural policy purposes, ISPRS 2004, (1019), Geo-Imagery Bridging Continents, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey
- Kurczyński Z., 2000, Radarowa misja topograficzna promu kosmicznego Endeavour - Nowa era geomatyki, GEODETA Magazyn Geoinformacyjny, nr 08 (63), sierpień

Recenzował: prof. dr hab. Romuald Kaczyński