

METODYKA OCENY DOKŁADNOŚCI I SCALANIA WIELOŹRÓDŁOWYCH NUMERYCZNYCH MODELI TERENU

METHODOLOGY OF ACCURACY ASSESSMENT AND MERGING OF MULTISOURCE DIGITAL TERRAIN MODELS

Zdzisław Kurczyński

Zakład Fotogrametrii, Teledetekcji i Systemów Informacji Przestrzennej,
Politechnika Warszawska

SŁOWA KLUCZOWE: NMT, ocena dokładności, scalanie NMT, dokładność bezwzględna, dokładność względna, model różnicowy, histogram.

STRESZCZENIE: Kraj pokryty jest danymi wysokościowymi w kilku standardach. Pojawiają się nowe produkty, o lepszych parametrach. Użytkownik coraz częściej staje wobec problemu oceny dokładności wieloźródłowych produktów i ich scalenia na interesującym obszarze.

W pracy podaje się charakterystykę głównych typów NMT występujących na obszarze kraju. W dalszej kolejności dyskutowana jest metodyka oceny dokładności wysokościowej NMT. W zagadnieniu łączenia dwóch modeli podjęto problem „płynnego” przejścia wysokości na granicy łączenia. W części eksperymentalnej poddano ocenie dokładności cztery różne NMT występujące na tym samym obszarze. Produkty były oceniane na profilach kontrolnych oraz powierzchniowo, poprzez generowanie różnicowych modeli. Wykorzystano zaproponowane wcześniej wskaźniki oceny dokładności. Eksperyment pokazał, że jakość NMT LPIS i DTED-2 jest lepsza niż to się powszechnie przyjmuje. Dane SRTM są obciążone znacznym, ale stałym błędem. Po usunięciu składnika systematycznego, dla terenów odkrytych, można uzyskać dokładność na poziomie 1 m, co jest zaskakująco dobrym wynikiem.

W pracach eksperymentalnych wykazano wysoką użyteczność oprogramowania SCOP++ do generowania, oceny dokładności i łączenia różnych NMT.

1. WSTĘP. ZDEFINIOWANIE PROBLEMU

Powierzchnia kraju od początku obecnego dziesięciolecia pokrywana jest systematycznie numerycznym modelem terenu (NMT). Wytwarzane są produkty o różnej dokładności i różnym pokryciu obszarowym, dysponujemy numerycznymi modelami terenu o pokryciu całego kraju. Rosnące zapotrzebowanie na takie produkty z jednej strony, oraz nowe środki techniczne i technologiczne z drugiej, powodują, że na obszarach gdzie już jest dostępny NMT, pojawiają się nowe produkty, o innych, zwykle lepszych parametrach dokładnościowych. Zachodzi potrzeba włączenia tych nowych produktów w już istniejące, o większym zasięgu obszarowym. Jest to proces analogiczny do aktualizacji mapy, gdzie starą treść sytuacyjną zastępuje się nową, często o lepszych parametrach jakościowych.

W przypadku rzeźby terenu, same formy terenowe ulegają zmianom znacznie wolniej niż obiekty sytuacyjne, ale i tu, lokalnie, w wyniku prowadzonych inwestycji lub

eksploatacji, zachodzi czasami konieczność „aktualizacji” danych wysokościowych. Znacznie częściej jednak mamy do czynienia z sytuacją pojawienia się nowych danych, w wyniku opracowania nowych materiałów źródłowych. Szybki rozwój lotniczego skaningu laserowego, oraz interferometrii radarowej powoduje i będzie powodować w przyszłości pojawianie się coraz to nowych, lepszych danych wysokościowych, tak o zasięgu lokalnym jak i globalnym. Ten proces już obserwujemy. Jest coraz więcej inicjatyw lokalnych, kierowanych głównie z urzędów miast, w wyniku których powstają lokalne numeryczne modele terenu jako produkty główne, lub przy okazji produkcji ortofotomap, czy przestrzennych modeli miast. W skali globalnej, jesteśmy w przededniu krycia danymi wysokościowymi w planowanej misji satelitarnej TanDEM-X (Kurczyński, 2007). Nie jest wykluczone pokrycie kraju lotniczymi danymi z interferometrii radarowej (InSAR) – jako rozszerzenie programu NEXTMap na Europę Wschodnią.

Stajemy wobec „mozaiki” różnych NMT. To zróżnicowanie produktów będzie się pogłębiać. Użytkownik staje przed problemem oceny dokładności wieloźródłowych produktów i ich scalenia na interesującym obszarze.

2. ISTNIEJĄCE NMT

Na terenie kraju można spotkać się z kilkoma standardami danych wysokościowych. Ważniejsze z nich to:

1. Numeryczny Model Terenu DTED-2. Obejmuje cały kraj. Powstał z wektoryzacji warstw i innych elementów rzeźby prezentowanych na mapach topograficznych 1:50 000. Dostępny w strukturze GRID w układzie geograficznym, o oczku 1” (około 30 m). Nominalna dokładność wysokościowa bezwzględna (90%): błąd < 16 m, względna (90%): błąd < 10 m, (błąd z prawdopodobieństwem 90%).
2. Interferometryczne Dane Wysokościowe ITED pozyskane w ramach Radarowej Misji Topograficznej Promu Kosmicznego SRTM w 2000 roku (Kurczyński, 2000). Dostępne w formacie HGT w siatce geograficznej o oczku 3” (około 90 m) – tzw. ITED-1 (dostęp bezpłatny), lub oczku 1” (około 30 m) – tzw. ITED-2. Nominalna dokładność wysokościowa bezwzględna (90%): błąd < 16 m, względna (90%): błąd < 10 m. Dane ITED-1 odpowiadają standardowi DTED-1 (wg. NIMA). Wysokości są odniesione do geoidy EGM’96 (Earth Gravitation Model).
3. Dane wysokościowe pozyskane w ramach Programu Usuwania Skutków Powodzi. Dostępne w formie plików z podziałem na różne rodzaje danych. Pokrywają doliny Wisły i Odry wraz z dopływami, łącznie około 11% powierzchni kraju. Główne źródło: opracowanie zdjęć w skali 1:26 000, mapy topograficzne 1:10 000 (obszary leśne), oraz pomiary terenowe. Dokładność wysokościowa (błąd średni) $m_0 \leq 0.8$ m.
4. Dane wysokościowe pozyskane w ramach programu LPIS. Pokrywają cały kraj. Główne źródło: opracowanie zdjęć w skali 1:26 000, oraz mapy topograficzne 1:10 000 (obszary leśne), dla obszaru pół-wsch. Polski zdjęcia w skali 1:13 000. Dostępne nie w formie NMT jako końcowego produktu, lecz w formie danych wysokościowych rozwarstwionych wg. różnych rodzajów. Pozyskiwane dla potrzeb generowania ortofotomapy. Nominalna dokładność wysokościowa w terenach

odkrytych $m_0 \leq 1.5$ m, w terenach zalesionych obniżone wymagania (tereny mało interesujące z punktu widzenia potrzeb LPIS).

5. NMT w standardzie TBD. Pokrycie około 8% pow. kraju. Główne źródło: opracowanie zdjęć w skali 1:26 000, oraz mapy topograficzne 1:10 000 (obszary leśne). Nominalna dokładność wysokościowa $m_0 \leq 1.0$ m.

Obok wymienionych, istnieją i dość szybko przybywają lokalne opracowania, zwykle o wyższej dokładności wysokościowej.

Mamy więc w kraju dobre pokrycie danymi wysokościowymi. Część z tych danych, mimo dostępności, nie jest powszechnie wykorzystywana. Dotyczy to w szczególności danych powodziowych, danych LPIS, czy SRTM. Pewną przeszkodę może stanowić brak wiarygodnej informacji o jakości danych. Dodatkowo, dokładność ta może być wyrażona w różnej formie (np. źródła amerykańskie podają często błąd wysokościowy na poziomie prawdopodobieństwa 90%).

3. METODYKA OCENY DOKŁADNOŚCI WIELOŹRÓDŁOWYCH DANYCH WYSOKOŚCIOWYCH (NMT)

Dokładność wysokościowa jest pochodną jakości danych źródłowych i metody ich opracowania. Same formy rzeźby terenu oraz pokrycie (las, budynki) mogą tu mieć istotne znaczenie. Dokładność wysokościową NMT określa się zwykle poprzez średni błąd wysokościowy. Pod tym pojęciem rozumie się średni błąd wysokości punktu o dowolnym położeniu, wyinterpolowanej z wynikowego NMT. NMT na danym obszarze może charakteryzować się systematycznym przesunięciem w kierunku pionowym. Jest to efekt pozostałości szczytkowych błędów systematycznych, specyficznych dla metody opracowania. Uzasadnione więc może okazać się rozróżnienie bezwzględnej i względnej dokładności wysokościowej NMT. Dodatkowy problem stanowi pokrycie terenu. Szczególnie obszary pokryte lasami, oraz obszary z gęstą zabudową, stwarzają problemy, skutkujące obniżeniem dokładności. Najbardziej wiarygodną (ale kosztowną) metodą oceny dokładności wysokościowej NMT jest terenowy pomiar przekroji terenowych w wybranych obszarach i porównanie wysokości w punktach pomiaru terenowego z wysokościami wyinterpolowanymi z badanego NMT. Biorąc pod uwagę powyższe uwagi o błędach systematycznych, jako miarę dokładności można przyjąć wielkości:

1. Błąd średni (średniokwadratowy):

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum \Delta h^2}{n}} \quad (1)$$

2. Wartość średnia:

$$\Delta h_{sr} = \frac{\sum \Delta h}{n} \quad (2)$$

3. Odchylenie standardowe:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\Delta h - \Delta h_{sr})^2}{n-1}} \quad (3)$$

gdzie:

Δh - różnice wysokości terenowej i wyinterpolowanej z NMT,

n - liczba punktów profilu,

Δh_{sr} - średnia (średnia arytmetyczna) różnica wysokości.

Błąd średni opisuje bezwzględną dokładność wysokościową NMT. Wartość średnią różnic wysokości można interpretować jako błąd systematyczny NMT na badanym obszarze. Odchylenie standardowe charakteryzuje przypadkową składową błędu NMT i jest interpretowane jako dokładność względna.

W przypadku zróżnicowanego pokrycia terenu, uzasadnione byłoby charakteryzowanie dokładności niezależnie dla różnych pokryć (np. oddzielnie dla terenów odkrytych i terenów zalesionych).

Często w praktyce za podstawowy parametr jakości NMT podaje się wielkość oczka NMT (w domyśle NMT ma strukturę GRID, o kwadratowych oczkach). Im mniejsze oczko, tym lepszy NMT. Łatwo tu jednak o nieporozumienie; z danego kompletu danych wysokościowych można wygenerować NMT w strukturze GRID o dowolnym oczku. Istnieje oczywista zależność technologiczna pomiędzy wielkością oczka a błędem wysokościowym. Przyjmuje się, że dla terenu łatwego i średniego wielkość oczka powinna być około 20 razy większa a dla terenu wysokogórskiego 10 razy większa od średniego błędu wysokościowego. Pozwala to utrzymać właściwe relacje między wielkością oczka, dokładnością wysokościową a prawidłowym oddaniem mikroform terenowych. Generowanie NMT z mniejszym oczkiem jest tworzeniem „pustej” informacji, skutkującej tylko większymi zbiorami, większe oczko niesie ryzyko pominięcia mikroform terenowych, o wysokości porównywalnej z wartością błędu opracowania. Naruszenie tych relacji (wynikające z niewiedzy lub świadome) może prowadzić (i w praktyce często prowadzi) do nieporozumień.

W przypadku posiadania dwóch (lub więcej) źródłowych NMT możliwa jest powierzchniowa ocena dokładności. Ma to sens szczególnie, gdy jeden z NMT ma wyższą dokładność i może być traktowany jako referencyjny dla drugiego. Doskonałą miarą oceny w takim przypadku jest tzw. „różnicowy” NMT (różnica wysokości obu NMT), dający pogląd o powierzchniowym rozkładzie błędów i obecności ewentualnej składowej systematycznej. Pożądanym uzupełnieniem takiej „mapy błędów” jest histogram, dający informacje o częstotliwości występowania błędów w poszczególnych przedziałach wartości.

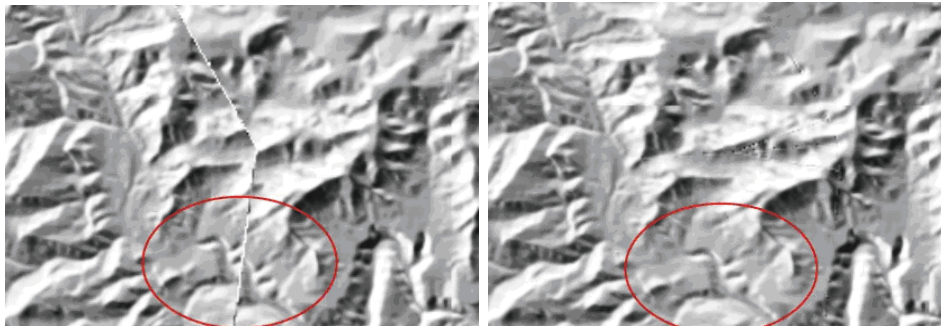
4. SCALANIE WIELOŹRÓDŁOWYCH NMT

Jeżeli na danym obszarze nakładają się lub sąsiadują dwa NMT, może zachodzić potrzeba ich scalenia (fuzji). Taki przypadek może wystąpić, gdy:

- na ograniczonym obszarze NMT został zaktualizowany (bo powierzchnia terenu uległa znacznym zmianom),
- na ograniczonym obszarze powstał nowy NMT, o lepszych parametrach,

- interesujący obszar pokrywają dwa styczne, lub częściowo pokrywające się NMT.

W takich sytuacjach błędem byłoby proste „wyjęcie” jednego modelu i „wkłucie” go do drugiego. Z uwagi na różną dokładność i prawdopodobieństwo wystąpienia różnych, nawet niedużych błędów systematycznych, na granicy takich modeli utworzy się sztuczna forma terenowa w postaci niewielkiego uskoku (rys. 1). Mowa tu o sytuacji, gdy wysokość tego „uskoku” może się mieścić w tolerancji dokładnościowej, ale lokalnie ewidentnie fałszuje formy terenowe.



Ry. 1. Scalenie dwóch NMT: bez wygładzenia linii łączenia (lewy) i z wygładzeniem (prawy)

W taki przypadku należałoby wskazać granicę łączenia między modelem 1 (zewnątrznym) a modelem 2 (wewnętrznym). Wzdłuż tej granicy poprowadzić pas o zadanej szerokości – granicę tolerancji. Pas ten wytyczy zewnętrzną i wewnętrzną linię graniczną. Płynne przejście między obu modelami otrzymamy uśredniając wysokości z obu modeli w pasie tolerancji, z odpowiednim wagowaniem. Taka średnia wysokość punktu pasie granicznym wyniesie:

$$z = w_1 * z_1 + w_2 * z_2; \quad w_2 = 1,0 - z_1 \quad (4)$$

gdzie:

w_1, w_2 - funkcje wagowe,

z_1, z_2 - wysokości punktu odpowiednio w modelu 1 i 2.

Wartość funkcji wagowej przybiera wartości od 0 na zewnętrznej linii granicznej, do 1 na linii wewnętrznej. Funkcja wagowa może być funkcją liniową (typowe przypadki), lub funkcją krzywoliniową. Jednym z niewielu firmowych programów posiadających funkcje łączenia różnych NMT jest oprogramowanie SCOP++ firmy Inpho (funkcja *Mosaicing*).

5. PRACE EKSPERYMENTALNE³

W ramach prac eksperymentalnych poddano badaniom 4 różne NMT pokrywające ten sam obszar, a mianowicie:

1. NMT zrealizowany w ramach Projektu Usuwania Skutków Powodzi.

³ wykorzystano wyniki uzyskane w pracy dyplomowej Aleksandry Konofalskiej, realizowanej pod opieką autora.

2. NMT wykonany w projekcie LPIS.
3. NMT w formacie DTED-2.
4. NMT pozyskany w ramach SRTM.

Obszarem badań był obszar dwóch sąsiadujących sekcji mapy 1:10 000: M-34-66-b-1 i 2. Są to okolice Tarnowa, obejmujące rzekę Oszewkę – dopływ Wisły. Teren jest płaski i leży w zasięgu szerokiego w tym miejscu pasa zalewowego Wisły. Zachodnia sekcja to teren odkryty przez który przepływa rzeka, a wschodnia – częściowo zalesiony (rys. 2).

W środowisku SCOP++ z danych wysokościowych z projektu powodziowego i LPIS wygenerowano wynikowe NMT o oczku 25 m w układzie PUWG 1992. NMT DTED-2

i SRTM przekonwertowano z układu WGS'84 do PUWG 1992.

Celem eksperymentu było:

1. Ocena dokładności badanych NMT.
2. Sprawdzenie funkcjonalności SCOP++ w zakresie łączenia modeli.

Ocenę dokładności prowadzono wg. metodyki opisanej powyżej. Za dane referencyjne posłużyły dwa profile we wschodniej sekcji: profil 1 o długości około 4 000 m biegnący przez obszar leśny i profil 2 o długości około 3 500 m, ale biegnący przez teren odkryty (łąki, użytki rolne, niewielki odcinek lasu – rys. 2).

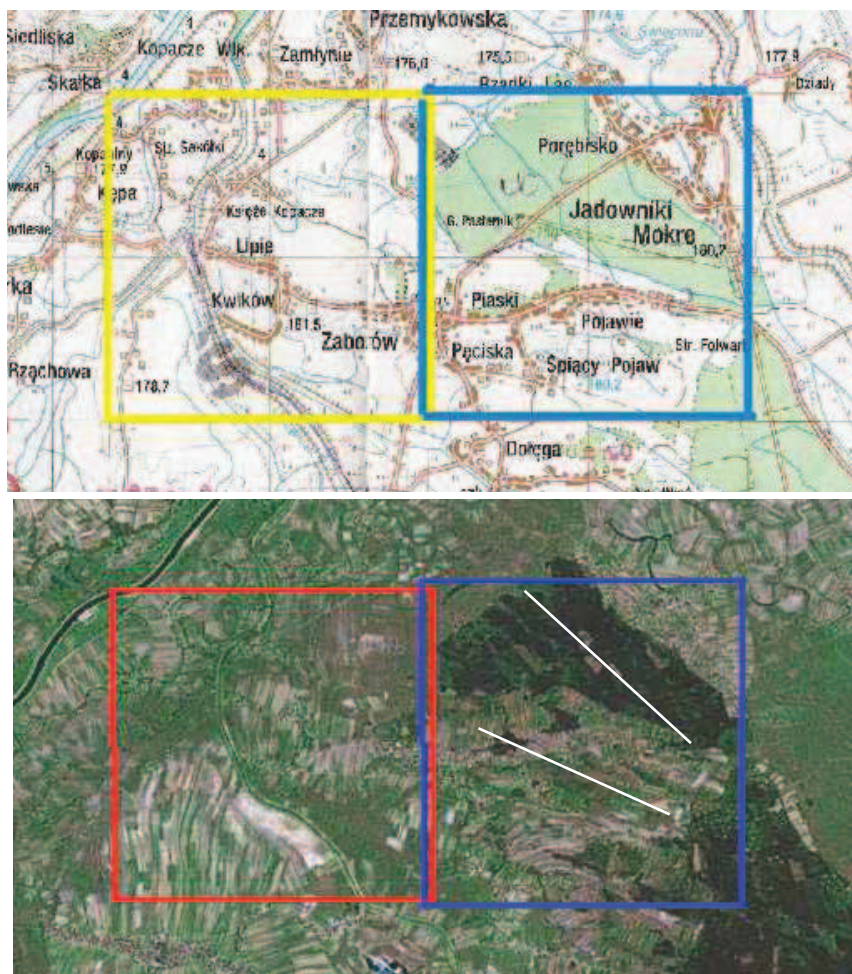
Przy ocenie powierzchniowej porównywano modele względem siebie, przyjmując za odniesienie model „powodziowy” jako najdokładniejszy.

Syntetyczne wyniki oceny dokładności bezwzględnej na przekrojach pokazuje tabela 1, a dokładności względnej – tabela 2.

Szczegółowa analiza wyników, graficznych przebiegów profili po terenie, oraz różnicowych NMT w postaci map powierzchniowych, pozwala wyprowadzić wnioski dotyczące wartości i charakteru błędów poszczególnych NMT, oraz powiązać te błędy z metodą ich generowania oraz pokryciem terenu. Prezentowane tu wyniki stanowią - z konieczności – tylko próbkę wyników uzyskanych i poddanych analizom.

NMT LPIS wykazuje bardzo wysoką dokładność wysokościową, średnio na poziomie $m_0 \approx 0.9$ m, z niewielkim czynnikiem systematycznym (na profilach rzędu $\Delta h_{sr} \approx 0.7$ m). Interesujące jest to, że dokładność na obszarze lasu jest podobna do dokładności na terenie odkrytym. Potwierdza to również różnicowy NMT. Prowadzi to do wniosku, że dla obszaru pod lasami ten model był prawdopodobnie tworzony na podstawie warstwic z map topograficznych. Występująca składowa systematyczna może być wynikiem systematycznego błędu opracowania fotogrametrycznego (deformacje modeli oraz wpływ wysokości upraw).

Jakość DTED-2 również wypada znacznie powyżej oczekiwań. Błąd średni tego modelu to około $m_0 \approx 0.9 \div 1.1$ m. Zanedbywany jest czynnik systematyczny (brak systematyki szczególnie widoczny na mapach różnicowych). Nie ma istotnego spadku dokładności dla obszarów „pod lasem”. Na mapach różnicowych stwierdzono jedynie wzdłuż rzeki Oszewki, że NMT DTED-2 leży niżej o 2÷3 m. Ten charakter błędów wynika ze źródłowych danych, którymi są mapy topograficzne 1:50 000. Przy wektoryzacji warstwic pominięto prawdopodobnie wysokości wałów przeciwpowodziowych, z braku danych o ich wysokości.



Rys. 2. Zasięg obszarowy prac eksperymentalnych: sekcja M-34-66-C-b-1 (zachodnia) i M-34-66-C-b-2 (wschodnia). Na sekcji wschodniej zaznaczony przebieg profili terenowych

Tabela 1. Syntetyczne parametry dokładności bezwzględnej (na profilach terenowych)

NMT	Profil 1 - teren zalesiony			Profil 2 - teren rolniczy		
	m_0 [m]	σ [m]	Δh_{sr} [m]	m_0 [m]	σ [m]	Δh_{sr} [m]
LPIS	0.93	0.55	0.75	0.87	0.52	0.70
DTED 2	0.89	0.87	-0.20	1.05	0.84	0.62
SRTM	8.53	4.02	7.53	3.33	0.87	-3.27

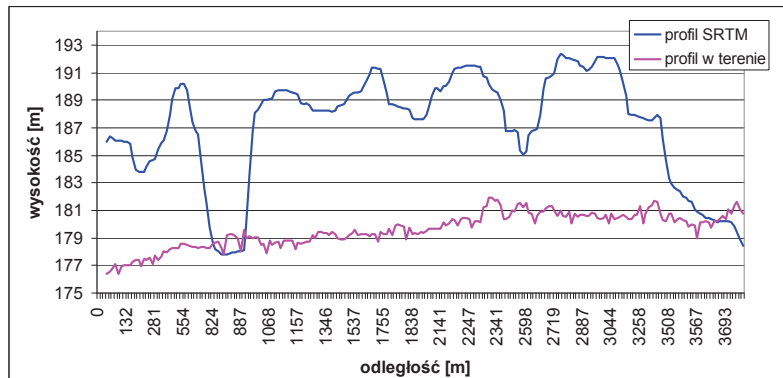
Tabela 2. Syntetyczne parametry dokładności względnej (porównanie z modelem „powodziowym”)

NMT	Sekcja zachodnia (M-34-66-b-1) (teren rolniczy)			Sekcja wschodnia (M-34-66-b-2) (teren częściowo zalesiony)		
	m_0 [m]	σ [m]	Δh_{sr} [m]	m_0 [m]	σ [m]	Δh_{sr} [m]
LPIS	1.22	1.02	0.42	1.29	0.94	0.76
DTED 2	1.28	1.21	0.38	1.16	1.10	0.37
SRTM	3.28	1.09	-3.09	5.03	4.81	1.47

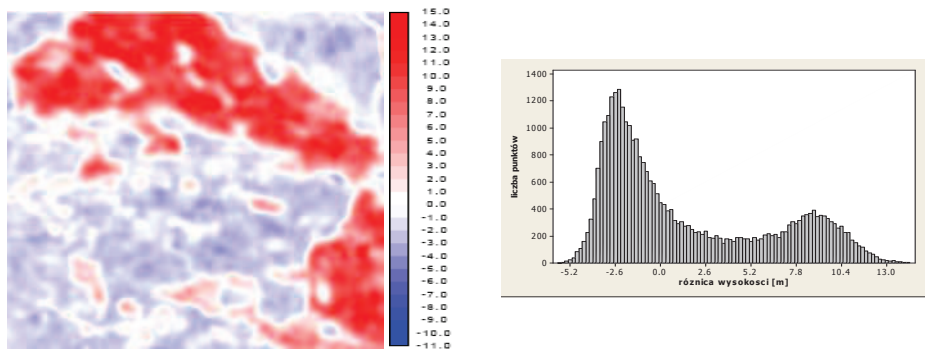
Model SRTM wykazuje znaczny błąd systematyczny. Model ten przebiega poniżej powierzchni terenu o około 3.1÷3.3 m. Widać to na profilu 2 (teren rolniczy) i na mapach różnicowych: sekcja zachodnia (teren rolniczy) oraz odkrytych partiach sekcji wschodniej. W terenie zalesionym NMT przebiega znacznie powyżej powierzchni terenu: średnio 8÷11 m. (rys. 3). Powierzchniowy rozkład błędów jest dobrze widoczny na modelu różnicowym oraz odpowiadającym mu histogramie (rys. 4). Wyraźnie widać, że dane SRTM w terenie odkrytym są poniżej powierzchni terenu a w terenie zalesionym znacznie powyżej. Ta dwoistość wyników jest dobrze oddana przebiegiem histogramu, który ma 2 maksima odpowiadające terenowi odkrytemu i terenowi zalesionemu.

Systematyczny błąd danych SRTM stwierdzili również inni. Karwel i Ewiak wykazali dla woj. małopolskiego błąd systematyczny na poziomie 3.1 m, co jest bardzo zbliżone z wynikami uzyskanymi w niniejszym eksperymencie (Karwel *et al.*, 2006].

Prezentowane wyniki danych SRTM oddają ich typowy charakter: występowanie znacznej składowej systematycznej spowodowanej głównie błędami kalibracji systemu, oraz błędami spowodowanymi pokryciem terenu – głównie lasami i wysoką zabudową. Na tych obszarach dane SRTM reprezentują nie wysokość gruntu, a wysokość obiektów „wystających” ponad teren; dane te więc są bliższe numerycznemu modelowi pokrycia terenu (NMPT) niż NMT. To wynika z braku penetracji fal radarowych przez roślinność i jest specyficzne dla danych radarowych pozyskanych w kanale C. Jeżeli jednak uwzględnić składową systematyczną błędów, co jest stosunkowo proste, bo składowa ta wykazuje stałą wartość na znacznym obszarze, to tak skorygowane dane charakteryzują się nadspodziewanie dobrą jakością dla terenów odkrytych; z błędem wysokościowym rzędu 1 m lub niewiele gorzej. Jest to tym bardziej interesujące, że dostępne bezpłatnie.

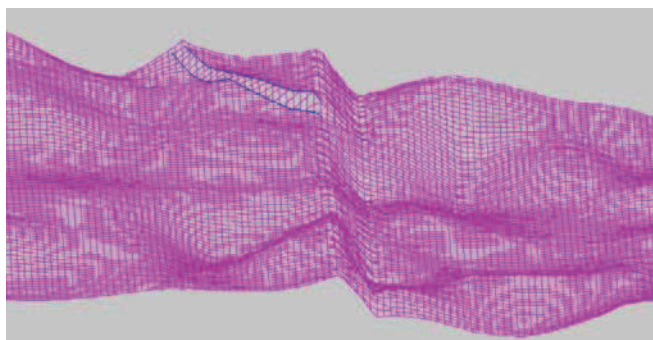


Rys. 3. Profil 1 (obszar zalesiony) w terenie i na modelu SRTM



Rys. 4. Model różnicowy modelu SRTM i modelu referencyjnego (sekcja wschodnia). Histogram różnic wysokości

W ramach prac eksperymentalnych prowadzono kilka prób scalania różnych NMT w środowisku SCOP++. Łączono NMT o różnej wielkości oczka, wykorzystano kilka dostępnych w oprogramowaniu opcji, w tym różne funkcje wagowe. Próbowano m.in. „wstawić” fragment NMT „powodziowego” w NMT LPIS. Inną próbą było połączenie sąsiadujących sekcji NMT: „powodziowego” i SRTM. W tym przypadku na granicy występuje znaczny uskok, spowodowany błędem systematycznym danych SRTM (rys. 5). Przydatna w takim przypadku jest funkcja przesunięcia jednego z NMT o stałą wartość; „podniesiono” NMT SRTM o wcześniej wyznaczony błąd systematyczny równy 3.3 m. Dopiero tak skorygowane dane zostały połączone.



Rys. 5. Widoczny „uskok” na granicy sąsiednich modeli, spowodowany błędem systematycznym jednego z nich (zachodni NMT „powodziowy” i wschodni NMT SRTM)

Przeprowadzone eksperymenty w zakresie łączenia wieloźródłowych NMT potwierdziły dużą przydatność oprogramowania SCOP++. Wynikowe modele nie wykazywały zauważalnych zakłóceń w strefie granicznej. Nie bez znaczenia było tu również to, że teren jest paski, bez wyraźnych form terenowych; jest to więc materiał doświadczalny niezbyt przydatny (zbyt łatwy) do eksperymentowania z łączeniem wieloźródłowych NMT.

6. PODSUMOWANIE

1. W środowisku funkcjonują różne parametry charakteryzujące dokładność wysokościową NMT. Może to prowadzić do nieporozumień. Dodatkowo, wynikowe NMT mogą być obciążone błędami systematycznymi.
2. Posiadamy w kraju dane wysokościowe lub gotowe NMT pokrywające cały kraj, lub znaczne jego obszary. Jakość danych wysokościowych LPIS i SRTM jest wyższa niż powszechnie się sądzi. Dane te nie są jednak doceniane i dostatecznie wykorzystywane.
3. Coraz częściej zachodzi potrzeba fuzji wieloźródłowych NMT. Wymaga to stosowania właściwej metodyki i posiadania odpowiednich narzędzi.
4. Środowisko SCOP++ należy do najlepszych w zakresie obróbki danych wysokościowych. Nadaje się do zarządzania bardzo dużymi zbiorami danych (np. pochodzących ze skaningu laserowego), daje duże możliwości wtórnego przetwarzania danych, w tym łączenia wieloźródłowych NMT.

7. LITERATURA

Karwel A., Ewiak I., 2006. Ocena dokładności modelu SRTM na obszarze Polski. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 16, s. 289-296.

Konofalska A., 2008. Wykorzystanie programu SCOP++ dla scalania i kontroli jakości wieloźródłowych numerycznych modeli terenu. *Praca dyplomowa*, Politechnika Warszawska.

Kurczyński Z., 2000. Radarowa misja promu kosmicznego Endeavour (Nowa era geoinformatyki), *Magazyn Geoinformacyjny GEODETA* nr 8 (63), sierpień 2000, s. 5-9.

Kurczyński Z., 2007. TerraSAR-X na orbicie. *Magazyn Geoinformacyjny GEODETA* nr 8 (147), sierpień 2007, str. 16-20.

METHODOLOGY OF ACCURACY ASSESSMENT AND MERGING OF MULTISOURCE DIGITAL TERRAIN MODELS

KEY WORDS: DTM, accuracy assessment, DTM merging, absolute accuracy, relative accuracy, differential model, histogram.

Summary

W pracach eksperymentalnych wykazano wysoką użyteczność oprogramowania SCOP++ do generowania, oceny dokładności i łączenia różnych NMT.

The surface of Poland is visualized by height data collected and presented according to several standards. DTMs that are available for various areas are constantly improved by application of new products which feature better parameters. Consequently, a “mosaic” of various data emerges; it is expected that the differentiation will increase with time. As a result, the user is increasingly frequently faced with a problem of assessing the accuracy of multisource products and their merging for an area of interest.

The paper provides a characteristics of the major DTM types applied to the same areas in Poland. The methodology of the DTM accuracy assessment is discussed in detail. Random and systematic errors are distinguished and the consistently absolute and relative accuracies are assessed. The paper points out to the lack of homogenous, standardized DTM quality indices. Often, the grid size is assumed to be such an index, which may lead to confusion and misunderstanding. Relationships between the grid size, height accuracy, and the form of the terrain are presented and technological relations between those parameters are described.

In the context of merging two different DTMs, the problem of a “smooth” passage of the height at the boundary between them is discussed.

The experimental part of the paper deals with the accuracy of four different DTMs covering the same area: a DTM obtained within the Flood Recovery Project, a DTM arrived at within the LPIS project (DTM LPIS), a DTM in the DTED-2 format, and a DTM resulting from the SRTM mission. The products (DTMs) were evaluated – by generation of differential models - with respect to terrain profiles and the area covered. The DTM quality indices, proposed earlier, were used. The experiment showed the quality of DTM LPIS and DTED-2 to be better than usually assumed. The SRTM data are burdened with a considerable, but constant, error of 3.3 m. The afforest areas showed a consistent effect of tree height. Those data belong to the digital surface model (DSM) rather than to the DTM category. After removal of the systematic component, the accuracy on the order of 1 m, a surprisingly good result, is obtained.

The experimental part showed a high utility of the SCOP++ software in the generation, accuracy assessment, and merging of various DTMs.

dr hab. Zdzisław Kurczyński
e-mail: kurczynski@wp.pl
tel. (022) 234 76 94