

**OCENA DOKŁADNOŚCI NMT NA OBSZARZE POLSKI NA PODSTAWIE
DANYCH WYSOKOŚCIOWYCH PROJEKTU LPIS**

**ESTIMATION OF DEM ACCURACY ON THE AREA OF POLAND
BASED ON THE ELEVATION DATA OF THE LPIS PROJECT**

Artur Karol Karwel

Instytut Geodezji i Kartografii

SŁOWA KLUCZOWE: zdjęcia lotnicze, numeryczny model terenu, analiza dokładności

STRESZCZENIE: Instytut Geodezji i Kartografii był wykonawcą prac związanych z kontrolą dokładności Numerycznego Modelu Terenu (NMT), tworzonego na potrzeby LPIS (System Identyfikacji Działek Rolnych). Dlatego też będąc w posiadaniu tak obszernych danych, jakimi był NMT, w ramach kontroli przeprowadzono badania mające na celu ocenę dokładności powstałego produktu (Butowtt, 2003; Ewiak, 1999; Ewiak, 2004; Kaczyński, 2000; Paszotta, 2005). Do czynników, które w znaczny sposób wpływały na dokładność generowania NMT należy zaliczyć m.in. ukształtowanie terenu, błędy metody generowania NMT oraz błędy związane z jego manualnym pomiarem. Metodyka kontroli dokładności geometrycznej NMT dotyczyła wizualnej weryfikacji pod względem odstawania linii nieciągłości i punktów od powierzchni modelu terenowego oraz określenia jego odstępstwa wysokościowego od wyznaczonego w terenie profilu. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że badany model spełniła wszystkie wymagania dokładnościowe jednoznacznie określone w wytycznych technicznych dla wykonawców. Wyznaczony błąd średni wahał się od 0.5 do 0.9 m. Dla części województw stwierdzono występowanie błędu systematycznego NMT na poziomie od 0.1 do 0.4 m.

1. CEL BADAŃ

Pierwszym celem badań było opracowanie metodyki kontroli NMT, dla której uwzględniono między innymi poszczególne etapy kontroli modeli a także wytyczne techniczne na podstawie których, przeprowadzono kontrolę.

Drugim celem badań była ocena dokładności wysokościowej modelu generowanego na potrzeby LPIS. Miarą oceny dokładności modelu były błędy średnie, przypadkowe oraz systematyczne.

Kontrola obejmowała dane pozyskane ze zdjęć PHARE wykonanych w latach 1995-2001, pokrywające obszar reprezentujący różne formy terenowe, położone w granicach 14 województw Polski. Zakres kontroli NMT obejmował trzy części (okresy czasu, w których wykonywana była kontrola dotycząca określonego obszaru): „Lpis 48”, „Lpis 157” oraz „Lpis 68”. Część pierwsza „Lpis 48” i druga „Lpis 157” dotyczyła kontroli 14 województw (Tab. 1). Skala zdjęć lotniczych dla tych obszarów wynosiła 1 : 26 000.

Druga część „Lpis 68” obejmowała swym zasięgiem 6 województwa (Tab.1). Skala zdjęć dla tych obszarów wynosiła 1 : 13 000.

Zgodnie z wytycznymi technicznymi z analizy wyłączono obszary leśne, oraz tereny wysokogórskie.

Zakres weryfikacji modelu terenowego, jaką wykonał IGiK obejmował kontrolę kameralną i terenową zdjęć lotniczych. Kontrolę kameralną polegającą na wizualnej analizie nałożonego na modele stereoskopowe wynikowego NMT wykonano, na co dziesiątym module (moduł odpowiadał powierzchni arkusza mapy w skali 1:10 000 w układzie „1992”). Kontrolę terenową związaną z pomiarem profili terenowych wykonano, na co 40 module NMT, co odpowiadało 10% badanego produktu. Łączna liczba profili terenowych na obszarze Polski na podstawie których, przeprowadzono badanie NMT wyniosła 322, o łącznej liczbie 29 308 punktów.

2. METODYKA KONTROLI NMT

NMT składał się z punktów i linii charakteryzujących elementy nieciągłości terenu. Punkty takiego modelu były na ogół generowane metodą autokorelacji, natomiast linie strukturalne mierzone były na modelach stereoskopowych zdjęć lotniczych w trybie manualnym przez obserwatora. Kontrolę NMT przeprowadzono dwuetapowo. Pierwszy etap dotyczył wizualnego sprawdzenia wysokości linii i punktów charakteryzujących nieciągłość terenu oraz poprawności zdefiniowania i położenia linii strukturalnych i elementów NMT. Drugi etap dotyczył porównania wysokości punktów profilu pomierzonych w terenie techniką GPS z odpowiednikami tych samych punktów wyinterpolowanych na podstawie NMT. Profil taki składał się z kilkudziesięciu punktów pomierzonych techniką GPS a jego długość wynosiła około 2 km. Dokładność wyznaczenia położenia dowolnego punktu profilu wyniosła 5 cm w poziomie oraz 10 cm w wysokości. Badania przeprowadzono w oparciu o aplikację ISSD oraz moduły środowiska oprogramowania MGE (Modular GIS Environment) stacji cyfrowej Intergraph.

Kontrola miała na celu sprawdzenie NMT zgodnie z warunkami zawartymi w wytycznych technicznych dla kontrolera. Do danego województwa przypisana była określona liczba profili terenowych, które utworzyły jedną grupę statystyczną. Miarą oceny dokładności poszczególnych modeli były błędy średnie różnic wysokości pomiędzy punktami poszczególnych profili oraz odpowiadającymi im wyinterpolowanymi punktami NMT. Różnice wysokości, według warunków technicznych wykonania Numerycznego Modelu Terenu, musiały spełniać następujące kryterium dopuszczalnego błędu średniego: Lpis 48 i Lpis 157 - 1.5 m (wszystkie obszary), Lpis 68 – 0.6 m (tereny płaskie) i 0.9 m (tereny pagórkowate i góryste). Według wytycznych (Wytyczne techniczne dla wykonawcy Lpis 48 i 68 - Ortofotomapa i NMT) oznaczało to możliwość pomiaru 65% obserwacji z jednym błędem m_0 (dopuszczalnym błędem średnim), bądź dwoma m_0 dla 30% wszystkich obserwacji. Dla 3-krotnej wartości m_0 dopuszczało się maksimum 5% tych obserwacji przy uwzględnieniu braku występowania błędów grubych. NMT nie mógł również zawierać błędów powierzchniowych – tzn. nie przyleganie struktur NMT do modelu stereoskopowego, nie mogło być większe od 2.5-krotnego bł. średniego, na obszarze o wielkości do 2 ha (Wytyczne techniczne dla wykonawcy LPIS 48 i 68 - Ortofotomapa i NMT). Błąd powierzchniowy należy interpretować jako błąd średni różnic

wysokości pomiędzy punktami NMT a odpowiadającymi im punktami na modelu stereoskopowym.

Podczas stereoskopowego sprawdzenia linii nieciągłości i pikiet, wzięto pod uwagę błąd osobowy pomiaru kontrolera. Dla obserwatorów biorących udział w tego typu kontroli, błąd ten przeciętnie wyniósł 30 cm. W przypadku większego nieprzylegania struktur w ocenie jakości NMT błąd ten został uwzględniony.

W toku przeprowadzonej kontroli na poszczególnych jej etapach zdarzało się, że niektórzy wykonawcy musieli kilkakrotnie powtórzyć pomiar. Po spełnieniu wszystkich kryteriów kontroli tak wygenerowany numeryczny model terenu spełnił wszystkie wymagania techniczne i mógł być uznany za pełnowartościowy produkt.

3. ANALIZA WYNIKÓW

W (Tab.1) przedstawione zostały wyniki analizy dokładności wysokościowej modelu tworzonego na potrzeby Lpis, położonego w granicach administracyjnych województw dla skali zdjęć 1:26 000 oraz 1:13 000.

Tab 1. Charakterystyka dokładności Numerycznego Modelu Terenu na obszarze Polski

Województwo	Liczba punktów kontrolnych n	Błąd średni [m]	Część przypadkowa [m]	Część systematyczna [m]
1	2	3	4	5
Mazowieckie (1:26 000)	4345	0.7	0.7	+0.0
Łódzkie (1:26 000)	1685	0.7	0.6	+0.3
Wielkopolskie (1:26 000)	1869	0.5	0.5	-0.0
Podlaskie (1:26 000)	3338	0.8	0.8	+0.0
Warmińsko-mazurskie (1:26 000)	4272	0.9	0.9	+0.0
Kujawsko-pomorskie (1:26 000)	2229	0.9	0.8	+0.3
Zachodniopomorskie (1:26 000)	1722	0.7	0.5	+0.4
Pomorskie (1:26 000)	2253	0.8	0.6	+0.3
Lubuskie (1:13 000)	288	0.5	0.4	-0.1
Śląskie (1:13 000)	660	0.6	0.5	-0.1
Małopolskie (1:13 000)	453	0.5	0.4	-0.2
Świętokrzyskie (1:13 000)	1432	0.4	0.4	-0.0
Lubelskie (1:13 000)	3135	0.7	0.6	+0.1
Podkarpackie (1:13 000)	1627	0.5	0.4	+0.1

Wyniki zestawione w tabeli 1 dotyczą analizy dokładności badanego modelu dla poszczególnych województw. Kolumna 1 tabeli 1 zawiera nazwę województwa oraz skalę zdjęć. Kolumna 2 tabeli 1 zawiera liczbę profili terenowych. Różnice wysokości obliczone w ramach określonych profili odnoszące się do poszczególnych województw potraktowane zostały jako jedna próba statystyczna. Nie analizowano błędów wewnątrz pojedynczego profilu. W kolumnie 3 podana jest wartości przeciętna średniego błędu modelu liczonego według wzoru (3). Kolumna 4 przedstawia część przypadkową badanego modelu, liczoną według wzoru (4). Kolumna 5 zawiera błędy systematyczne NMT obliczone jako wartość średnia z próby według wzoru (1).

$$(1) \bar{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$$

$$(2) D_i = Z_m - Z_p$$

$$(3) RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i^2}$$

$$(4) \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

gdzie:

Z_p – wysokości punktów profilu pomierzonych w terenie

Z_m – wysokości punktów winterpolowanych z NMT

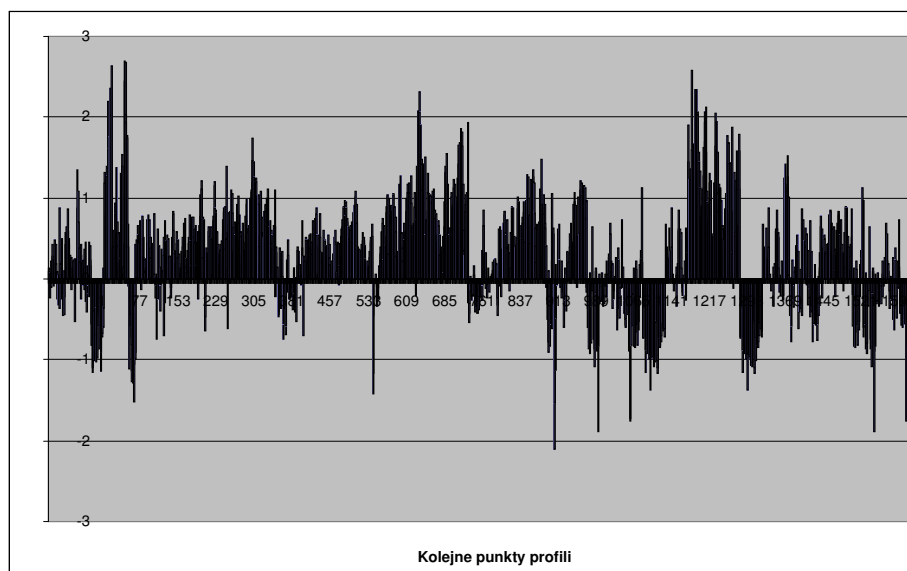
n – liczba punktów (kontrolnych) profilu

Na podstawie wyników zawartych w (Tab. 1) charakteryzujących m.in. wielkość średniego błędu kwadratowego badanego modelu, nie można było dokonać podziału wielkości tego błędu w zależności od kąta nachylenia terenu. W obszarach płaskich i pagórkowatych wielkość tych błędów nie różniły się znacząco by można było dokonać takiego podziału. Przyczynę tego należy łączyć z budową modelu stereoskopowego, który związany jest bezpośrednio z dokładnością areotriangulacji. Ponieważ część wykonawców wykonała areotriangulację dokładniej niż przewidują to wytyczne techniczne, a także dokładność modelowania terenu była różna dla poszczególnych wykonawców, dlatego też otrzymano różne wartości średnich błędów wysokości dla obszarów o podobnej deniwelacji. Największą wartość błędu wysokości NMT (skala zdjęć 1:26 000) odnotowano w województwach warmińsko-mazurskim i kujawsko-pomorskim – 0.9 m, najmniejszą zaś, w województwie wielkopolskim – 0.5 m. Dla skali zdjęć 1:13 000 najmniejsza wartość błędu średniego modelu przypada na województwo świętokrzyskie – 0.4 m, największa zaś, na województwo lubelskie – 0.7 m.

Istotnym elementem badań było określenie wielkości błędu systematycznego, jakim był obciążony NMT. W tym celu dodatkowo obliczono wartości średnie ze wszystkich różnic dla całego obszaru objętego kontrolą. Na podstawie analizy błędów systematycznych na obszarze Polski stwierdzono, że przeciętna bezwzględna wartość tego błędu w odniesieniu do NMT wygenerowanego ze zdjęć lotniczych w skali 1:26 000 wyniosła 0.2 m oraz 0.1 m dla NMT wygenerowanego ze zdjęć w skali 1:13 000. Największa wartość błędu systematycznego NMT przypadła na woj. zachodniopomorskie. Na 1772 punkty kontrolne w tym województwie bezwzględna wartość błędu systematycznego wyniosła 0.4 m (rys.1). Jednak wielkość tej systematyki w niewielkim stopniu wpływa na dokładność produktu. Do powstania błędu systematycznego mogły

przyczynić się: błędy areotriangulacji, błędy pomiaru terenowego, a także niepoprawna korelacja na skutek błędnych ustawień parametrów korelacji obrazów stereoskopowych oraz błędy obserwatora przy tworzeniu NMT.

Dokładność wyznaczenia NMT ze skanowanych zdjęć lotniczych według wytycznych technicznych dla wykonawców LPIS w skali 1 : 26 000 oraz w skali 1 : 13 000 nie powinna przekraczać $0.4 \text{ ‰} H$ (H -wysokość lotu w metrach), natomiast w przeprowadzonej kontroli dokładność ta w skali 1 : 26 000 oraz w skali 1 : 13 000 wyniosła $0.2 \text{ ‰} H$, co świadczy o przewadze opracowań metodami cyfrowymi nad analogowymi.



Rys.1. Różnice wysokości punktów profili terenowych i punktów wyinterpolowanych z NMT [m] dla województwa zachodniopomorskiego.

4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań dotyczących analizy dokładności NMT wysunięto następujące wnioski:

1. Największa wartość błędu NMT dla skali 1:26 000 przypadła na województwo warmińsko-mazurskie oraz kujawsko-pomorskie – 0.9 m, najmniejsza na województwo wielkopolskie – 0.5 m. Dla skali 1:13 000 największa wartość błędu NMT przypadła na województwo lubelskie – 0.7 m, najmniejsza na województwo świętokrzyskie – 0.4 m.

2. Przeciętna bezwzględna wartość błędu systematycznego NMT na obszarze Polski, tworzonego ze zdjęć lotniczych w skali 1:26 000 wyniosła 0.2 m oraz 0.1 m dla NMT tworzonego ze zdjęć w skali 1:13 000.

3. Otrzymane wyniki pokazują, że NMT spełnia lepiej wymagania dokładnościowe, niż zakładał zleceniodawca pomiaru.

5. LITERATURA

- Butowtt J., Kaczyński R., 2003. *Fotogrametria*. Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.
- Ewiak I., 1999. Filtracja NMT obszarów zurbanizowanych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 9, s. 35 - 39.
- Ewiak I., Kaczyński R., 2004. Accuracy of DTM generated from SPOT 4 and SPOT 5-HRS data. *Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing*. XX ISPRS Congress, Istanbul, Vol. XXXV, B1, Comm. I, pp. 474 - 478.
- Kaczyński R., 2000. Technologia opracowania NMT i map cyfrowych metodami fotogrametrycznymi dla celów prognozowania powodzi. *Geodeta*, 4(59), s. 27 - 31.
- Paszotta Z., Szumiło M., August 18-20, 2005 . Application of statistical test of hypothesis to check DTM's accuracy. Seminar about „automated Checking of DTMs”. Aalborg University, Denmark.
- Wytyczne techniczne dla wykonawców LPIS 48 i 68 (Ortofotomapa i NMT).

ESTIMATION OF DEM ACCURACY ON THE AREA OF POLAND BASED ON THE ELEVATION DATA OF THE LPIS PROJECT

KEY WORDS: aerial images, digital elevation model, accuracy analysis

SUMMARY: The Institute of the Geodesy and Cartography performed the works related to accuracy control of the Digital Terrain Model – DTM, created on the basis of LPIS requirements. Therefore, the research was conducted with a large set of height data intended for the estimation of final product accuracy. The factors which considerably affect the accuracy of DEM generation are the terrain form, the methodical errors of DEM generation and errors resulting from manual measurement of DEM. The methodology for the accuracy checks of DEM involved visual verification of the difference between the DEM surface and discreteness lines, as well as points measured using photogrammetric methods and then, the estimation of its position in relation to height profiles measured in the ground. The RMSE determined varied from 0.5 m to 0.9 m. For some districts a systematic error of DEM was found ranging from 0.1 to 0.4 m.

Mgr inż. Artur Karol Karwel
e-mail: karwel@igik.edu.pl
telefon:0223291985
fax:48/223291950