

## Globalne cyfrowe modele wysokości — stan obecny i perspektywy

*Global digital elevation models — current state and perspectives*

Jacek KOZAK

The paper presents the properties and characteristics of global elevation models available for the scientific community worldwide. Following datasets are briefly described: ETOPO5, ETOPO2, GTOPO30 and GLOBE. Data generation, properties,

accessibility, accuracy issues and possible applications are discussed. Finally, outcomes of two projects are presented: SRTM and Terra ASTER. Both projects will provide freely available global elevation datasets with spatial resolution below 100 m.

### Wstęp

Dane hipsometryczne wykorzystywane są w modelowaniu i badaniu wielu zjawisk przyrodniczych oraz społeczno-ekonomicznych w różnych skalach przestrzennych. Pozyskiwanie tych danych w postaci cyfrowej jest zwykle czasowo- i kosztochłonne. Tymczasem w Internecie dostępne są cyfrowe modele wysokości o pokryciu globalnym, będące wynikiem podjętych w latach 80. i 90. XX wieku projektów badawczych. W ich ramach utworzono modele wysokości znane jako ETOPO5, ETOPO2, GTOPO30 oraz GLOBE. Zostały one zaprezentowane w niniejszym artykule wraz z charakterystyką oraz wskazaniem możliwości wykorzystania. Omówiono także cyfrowe modele wysokości o dużej rozdzielczości przestrzennej i dokładności, będące efektem nowych rozwiązań technologicznych, stosowanych obecnie w kartowaniu powierzchni kuli ziemskiej. Planowana niska cena lub bezpłatne udostępnianie pozwoli na ich szerokie wykorzystywanie w badaniach przyrodniczych.

### Charakterystyka dostępnych globalnych modeli wysokości

Globalne modele wysokości tworzone w latach 80. i 90. XX wieku to modele rastrowe o rozdzielczości przestrzennej rzędu 1 km lub niższej. Wszystkie stanowią kompilację różnych dostępnych w czasie ich

tworzenia materiałów źródłowych, co ma zasadniczy wpływ na ich dokładność oraz homogeniczność, która z kolei wpływa na możliwość porównań regionalnych.

### ETOP05

Model ETOPO5 (*ETOP05...*, 1988) — to pierwszy globalny model wysokości, ukończony w 1988 roku. Poza hipsometrią lądów przedstawia także batymetrię oceanów. Ma on rozdzielczość 5 minut łuku (około 9 km), tak więc wykorzystać go można wyłącznie w szacunkach i analizach obejmujących obszar co najmniej kontynentu lub oceanu. Znacznie częściej wykorzystywany jest do przedstawienia w poglądowy sposób zasadniczych form rzeźby kontynentów lub dna oceanów (*Przeglądowy...*, 2000).

W modelu ETOPO5 dane hipsometryczne i batymetryczne pochodzą z różnych źródeł, często o rozdzielczości mniejszej niż wyjściowa (nawet do 1 stopnia). W szczególności dotyczy to niezamieszkałych wnętrza Azji, Ameryki Południowej i Afryki. Jego dokładność jest przestrzennie zróżnicowana oraz w wielu wypadkach trudna do określenia (*ETOP05...*, 1988). Model udostępniany jest na serwerze National Geophysical Data Center (NGDC), podległego National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), pod adresem <http://www.ngdc.noaa.gov>.

## ETOPO2

W październiku 2001 r. ukazał się nowy model globalnej batymetrii i hipsometrii – ETOPO2, o rozdzielczości 2 minut łuku (*ETOPO2...*, 2001), co na równiku odpowiada wartości rzędu 3,7 km. Hipsometria obszarów lądowych pochodzi z przetworzenia danych wykorzystanych w omówionym poniżej modelu GLOBE. W porównaniu z pierwowzorem, ETOPO5, znaczny postęp nastąpił w przedstawieniu batymetrii i rzeźby den oceanicznych. Pomiędzy równoleżnikami 64° szerokości geograficznej północnej oraz 72° szerokości geograficznej południowej dane batymetryczne uzyskiwane są na podstawie analizy satelitarnych pomiarów wysokości powierzchni oceanów w odniesieniu do poziomu elipsoidy ziemskiej. Pomiarzy te przetwarzane są na wartości anomalii grawitacyjnych, a te z kolei pozwalają na uzyskanie informacji o rzeźbie dna oceanicznego (Smith, Sandwell, 1997; Sandwell, Smith, 2003). Tylko batymetria niewielkich fragmentów den oceanicznych pochodzi z innych źródeł: danych US Naval Oceanographic Office oraz Międzynarodowej Mapy Batymetrycznej Morza Arktycznego (*ETOPO2 ...*, 2001). Model ETOPO2 dostępny jest na serwerze NGDC (<http://www.ngdc.noaa.gov>) tylko po zamówieniu i za niewielką opłatą.

## GTOPO30

GTOPO30 — to rastrowy model wysokości o rozdzielczości 30 sekund łuku (około 1 km), utworzony w ramach projektu kierowanego przez US Geological Survey. Jest udostępniany przez US Geological Survey Earth Resources Observation System (EROS) Data Center (<http://edcwww.cr.usgs.gov>). Ukończony został w 1996 roku (*GTOPO30...*, 1996). Był pierwszym globalnym modelem wysokości o rozdzielczości przestrzennej rzędu 1 km, stąd też poświęcono mu w niniejszym omówieniu więcej miejsca.

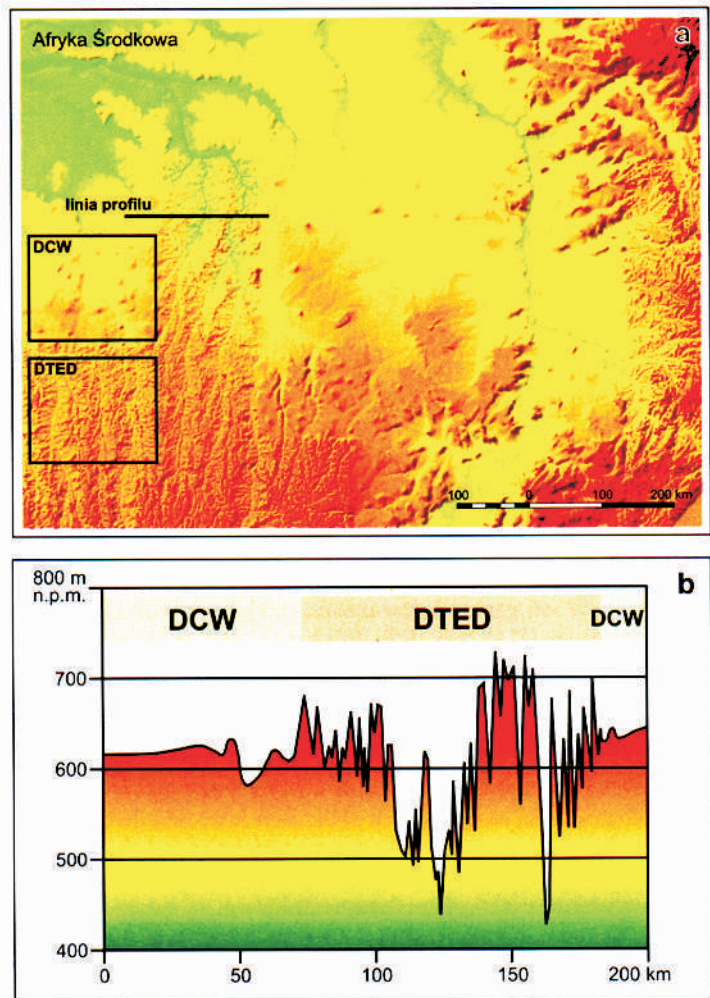
Cały model ma 21 600 rzędów i 43 200 kolumn. Zapisany jest jako 16-bitowy raster, o wartościach zmieniających się od -407 do 8752 m. Oceany i morza są zamaskowane (wartość -9999). Bez kompresji model zajmuje około 1,9 GB. W związku ze swoją znaczną objętością podzielony jest na 33 arkusze. 27 arkuszy obejmuje obszar na północ od 60° S, każdy z arkuszy ma rozmiar 40 na 50 stopni i objętość 58 MB. Pozostałe 6 arkuszy (60 na 30 stopni) przypada na Antarktydę. Nazwa każdego arkusza określona jest przez współrzędne lewego górnego narożnika arkusza, np. W060N40 to arkusz, którego lewy górny narożnik ma współrzędne 60° W oraz 40° N. Na stronach EROS Data Center arkusze modelu GTOPO30 udostępniane są w formacie skompreso-

wanym. Niektóre, obejmujące region Pacyfiku o znikomym udziale obszarów lądowych mają po kompresji zaledwie 100 KB.

Model GTOPO30 utworzono dzięki kompilacji wielu źródeł. Największe znaczenie mają:

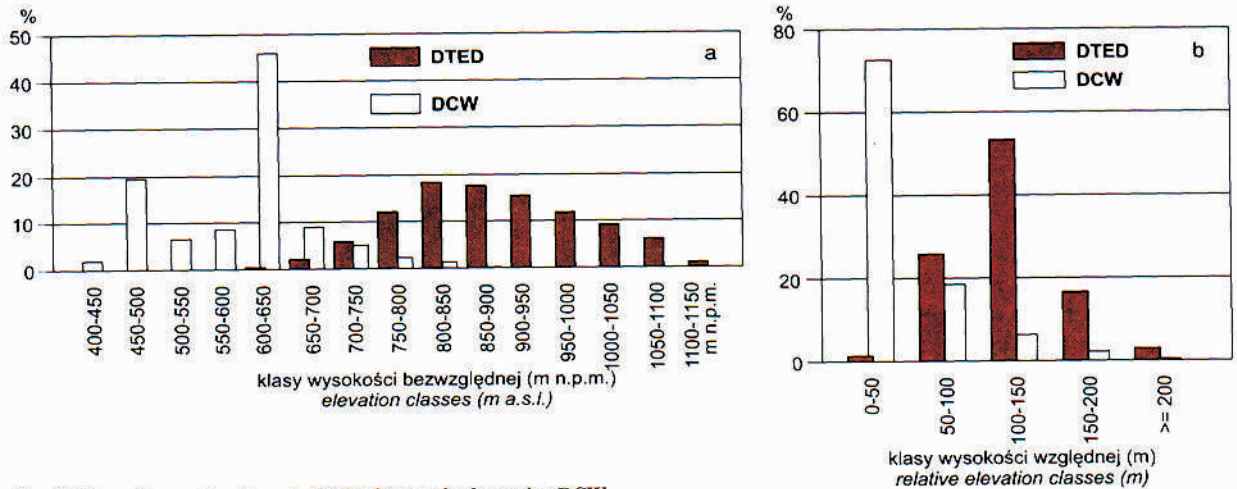
- Digital Terrain Elevation Data (DTED) – głównie Europa, Azja oraz część Afryki i Ameryki Południowej, 50% powierzchni lądów,
- US Geological Survey Digital Elevation Model (USGS DEM) – Stany Zjednoczone, 7% powierzchni lądów,
- Digital Chart of the World (DCW) – Afryka, Ameryka Południowa, Australia, Wielka Brytania, 30% powierzchni lądów.

Łącznie źródła te obejmują 87% obszarów lądowych. Pozostałe uzupełniają lokalne braki w Azji Południo-



Ryc. 1. Zróżnicowanie modelu GTOPO30: a – hipsometria barwna, Afryka Środkowa; wyraźne różnice pomiędzy arkuszami pochodzącymi z interpolacji DCW i generalizacji DTED; b – profil hipsometryczny.

Fig. 1. Variation of quality and detail of GTOPO30 elevation model, Central Africa: a – clear differences among sheets generated from DCW and DTED data. b – profile.



Ryc. 2. Charakterystyka danych GTOPO30 pochodzących z DCW oraz DTED: a – rozkład wysokości bezwzględnych; b – rozkład wysokości względnych. Obszary testowe zaznaczono na ryc. 1. Fig. 2. GTOPO30 data generated from DCW and DTED: a – elevations; b – relative elevations. Location of the test areas – fig. 1.

wo-Wschodniej, Oceanii oraz Ameryce Południowej (GTOPO30..., 1996).

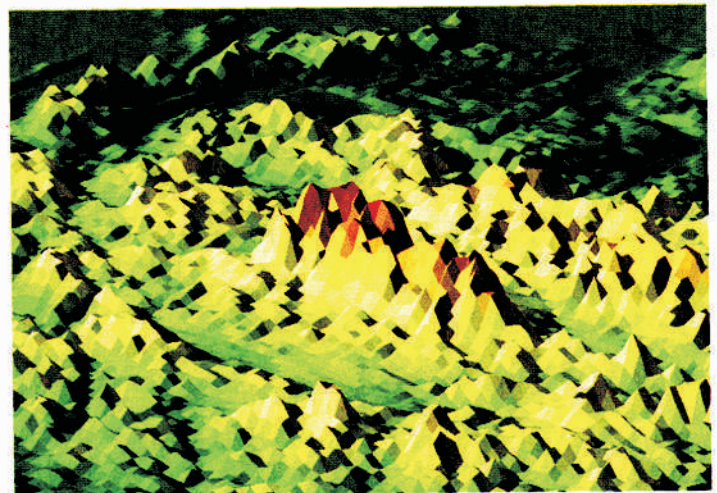
Pierwsze dwa wymienione źródła to modele rastrowe o rozdzielczości 3 sekund łuku (90 m). Model DTED o tej rozdzielczości nie jest udostępniany, więc na potrzeby modelu GTOPO30 został on, podobnie jak i USGS DEM, zgeneralizowany do niższej rozdzielczości. Niewątpliwym mankamentem modelu GTOPO30 jest fakt, iż w czasie generalizacji używano różnych metod wyboru wartości reprezentatywnej. Przykładowo w Ameryce dokonano systematycznego próbkowania, a w Eurazji jako reprezentatywną wybierano wartość mediany. Trzecie z wymienionych źródeł, Digital Chart of the World, to mapa wektorowa wywodząca się z map amerykańskich w skali 1:1 mln. Otrzymało z niej model rastrowy, w którym wartości wysokości przyporządkowane pikselom są interpolowane na podstawie warstw wektorowych zawierających poziomice oraz sieć rzeczną, za pomocą specjalnie opracowanego algorytmu. Cięcie poziomicowe map DCW na większości obszaru wynosi 300 m, na obszarach nizinnych 75 m i 150 m. Bezwzględny błąd wysokości modelu utworzonego na podstawie DCW określono na 160 m, natomiast dla modelu pochodzącego z danych rastrowych o wyższej rozdzielczości – na 30 m (GTOPO30..., 1996).

Różnice pomiędzy obszarami, dla których informacje pochodzą z DCW i obszarami, dla których generalizowano informacje z materiałów o wyższej rozdzielczości są łatwo dostrzegalne, co wynika z zasadniczych różnic gęstości informacji (ryc. 1). Różne są także charakterystyki danych wysokościowych oraz wszelkich pochodnych. Model utworzony na podstawie danych

DCW wykazuje specyficzny wielomodalny histogram z maksimum odpowiadającymi wysokościami poziomicy, której to cechy nie posiada model generalizowany z DTED (ryc. 2a). Lokalne różnice wysokości mają rozkład symetryczny dla danych generalizowanych, a wartość, dla której występuje maksimum zależy od zróżnicowania i genezy rzeźby na badanym obszarze. Dane uzyskane z DCW wykazują pod tym względem przewagę wartości bliskich zera oraz asymetrię wynikającą z silnej autokorelacji przestrzennej (ryc. 2b).

Na obszarach o znacznych deniwelacjach rozdzielczość przestrzenna rzędu 1 km pozwala tylko w dużym uproszczeniu na przedstawienie rzeźby i jej analizę. Przykładowo w Tatrach deniwelacje na odcinku 1 km mogą przekraczać nawet 1000 m, i reprezentowanie ich przez jedną wartość prowadzi do znacznej generalizacji (ryc. 3). Problematyczne w takiej rozdzielczości staje się także tworzenie map pochodnych – nachyleń, ekspozycji czy też krzywizny form rzeźby.

Niezależnie od swych mankamentów model GTOPO30 pozwala nie tylko na globalne, ale także na regionalne analizy. Przykładem mogą być badania nad



Ryc. 3. Model GTOPO30. Widok na Tatry od północnego zachodu. Fig. 3. GTOPO30: Tatra Mts. from the north-west.

wplywem wysokości oraz nachyleń na gęstość zaludnienia oraz użytkowanie ziemi, przeprowadzone dla obszarów górskich o wielkości rzędu  $10^5 \text{ km}^2$  (Kozak, 2001; Kozak, Troll, 2002). Model wykorzystano także w prezentacji rzeźby wybranych obszarów świata w skali 1:10 000 000 (*Przeglądowy ...*, 2000).

## GLOBE

GLOBE (Hastings, Dunbar, 1998; *Global ...*, 1999) — to cyfrowy model wysokości świata o rozdzielczości 30 sekund łuku, a więc podobny do GTOPO30. Został on opracowany przez międzynarodową grupę specjalistów, działających w ramach Committee on Earth Observation Satellites Working Group on Information Systems and Services (CEOS-WGISS). Pierwsza wersja została ukończona w 1999 roku. Model GLOBE dostępny jest na serwerze NGDC (<http://www.ngdc.noaa.gov>).

W większości GLOBE wykorzystuje te same źródła co GTOPO30, jednakże są też dość istotne różnice, np. w Australii wykorzystane są dokładniejsze dane Australian Surveying and Land Information Group zamiast DCW. Podczas tworzenia modelu GLOBE uniknięto niekonsekwencji popełnionych podczas kompilacji GTOPO30, korygując i ujednoczając proces próbkowania danych rastrowych o wyższej rozdzielczości do pożądanej rozdzielczości przestrzennej (*Global ...*, 1999). Pozwala to sądzić, iż jest to obecnie najlepszy dostępny globalny model wysokości.

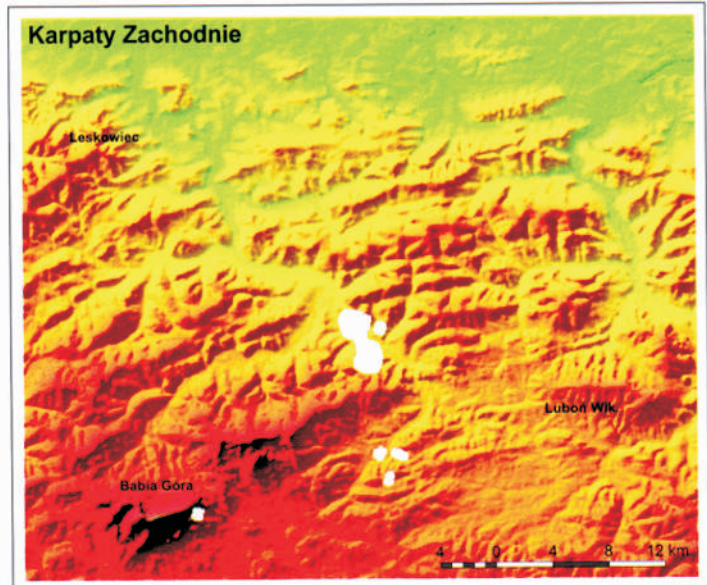
W koncepcyjnej fazie projektu założono, iż projekt GLOBE będzie mieć charakter ciągły, a model będzie stale udoskonalany na podstawie danych dostarczanych przez różnorakie organizacje z całego świata. Jednakże spodziewane wyniki omówionego poniżej projektu SRTM doprowadzą zapewne do zakończenia projektu GLOBE w ciągu kilku lat (Hastings, Dunbar, 1998).

## Modele wysokości ASTER

Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), to jeden z pięciu sensorów zamieszczonych na pokładzie satelity Terra – określonego mianem flagowego statku kosmicznego NASA. Wykonuje on zdjęcia w 14 zakresach spektralnych: od promieniowania widzialnego, poprzez bliską podczerwień, do podczerwieni termalnej, o rozdzielczości przestrzennej od 15 do 90 m (Abrams, 2000; Yamaguchi i in., 2001). Jednym z zastosowanych rozwiązań technicznych jest możliwość wykonywania stereopary zdjęć wzdłuż ścieżki przelotu, co umożliwi wykonanie cyfrowego modelu wysokości (Childs, 2002). Jest to rozwiązanie lepsze niż oferowane przez sensor umieszczony na satelicie SPOT, gdzie stereopara wykonywana była w poprzek ścieżki, a więc w innym terminie

i przy zmienionych warunkach atmosferycznych (Totin, Cheng, 2002).

Cyfrowy model wysokości oparty na stereoparze zdjęć ASTER wykonywany może być przez użytkownika zdjęć posiadającego dostęp do odpowiedniego oprogramowania. Może także być zamówiony bezpośrednio u dostawcy zdjęć (EROS Data Center, <http://edcwww.cr.usgs.gov>). Zamówienie takie wymaga wyboru odpowiedniego zdjęcia, a samo wykonanie modelu i jego dostarczenie użytkownikowi poprzez Internet jest obecnie usługą bezpłatną! Czas oczekiwania zależy od liczby realizowanych zamówień i wynosi od kilku do kilkudziesięciu tygodni. Również bezpłatnie



Ryc. 4. Model wysokości ASTER. Beskidy Zachodnie. Biały kolor oznacza brak danych.

Fig. 4. ASTER DEM, the Western Beskidy Mts. White colour represents missing data.

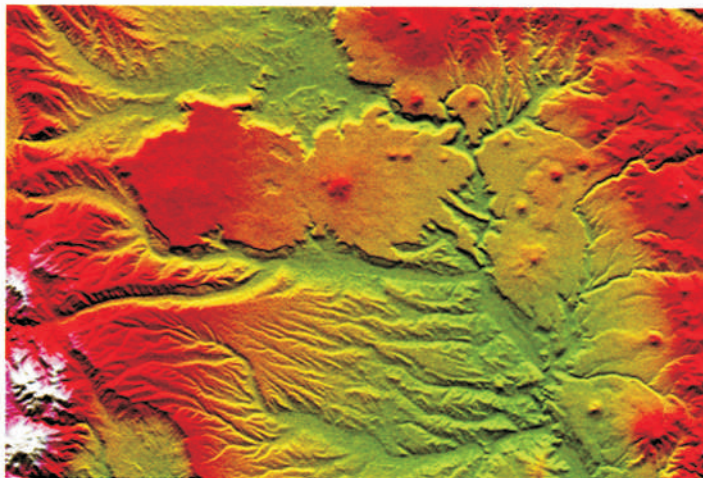
można ściągnąć z serwera EROS Data Center modele wykonane do tej pory na zamówienie użytkowników.

Model wysokości ASTER wykonywany jest w rozdzielczości przestrzennej 30 m, w dwóch wariantach: względnym (nieskalibrowanym) oraz bezwzględnym (skalibrowanym). W tym pierwszym przypadku wartości wysokości modelu muszą być skalibrowane do określonych jednostek przez użytkownika. Model ten cechuje niższa dokładność niż modele skalibrowane, do których wykonania należy dostarczyć pewną liczbę punktów kontrolnych. Jeden arkusz modelu wykonany z wykorzystaniem standardowej sceny satelitarnej ASTER pokrywa obszar o powierzchni 60 na 60 km.

Wizualna ocena modelu wysokości ASTER wykonanego dla obszaru Beskidów Zachodnich wskazuje, iż obszary równinne cechuje występowanie regularnych mikrostruktur, fałszujących obraz rzeczywisty. Błędy występują także w okolicach kulminacji, co wiązać można po części z występowaniem śniegu w najwyższych partiach gór w okresie wykonania zdjęcia.

Błędy te można w dużej mierze usunąć poprzez przepróbkowanie modelu do rozdzielczości 90 m oraz przefiltrowanie filtrem średnim. Mankamentem modelu są także luki w pokryciu wynikające z zachmurzenia zdjęć źródłowych (ryc. 4).

W odróżnieniu od poprzednio omówionych modeli wysokości, model wysokości oparty na zdjęciach satelitarnych ASTER nie ma charakteru globalnego. Poszczególne arkusze wykonywane są nie według przyjętego planu, lecz na określone zamówienie. Jednakże do początku lutego 2003 roku dostępnych było już prawie 2000 arkuszy modeli wysokości ASTER (informacja udostępniona przez EROS Data Center Customer Service), wykonywanych głównie dla obszarów górskich wszystkich kontynentów z wyjątkiem Antarktydy (ASTER DEM ..., 2003). Znaczna większość z nich (ponad 95%) to modele nieskalibrowane.



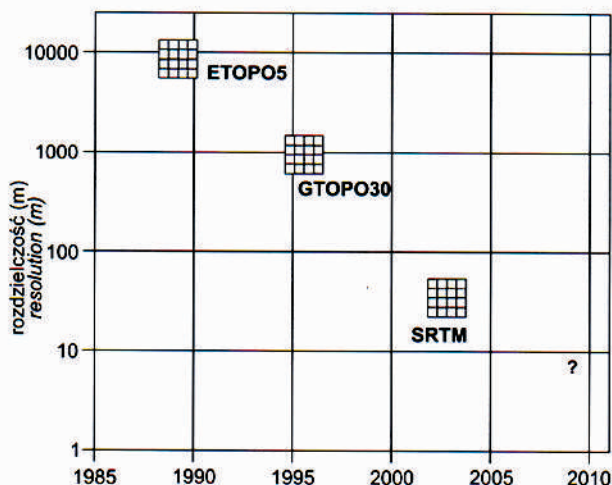
Ryc. 5. Rzeźba wschodniego skłonu Andów, Argentyna. Dane SRTM. Źródło: NASA / NIMA / JPL.

Fig. 5. Eastern slope of the Andes, Argentina. SRTM data. Source: NASA / NIMA / JPL.

### Perspektywy związane z metodami interferometrii radarowej

Mankamentami dotychczas opracowanych globalnych cyfrowych modeli wysokości jest stosunkowo mała rozdzielczość (od 1 do 10 km) oraz niejednorodność wynikająca ze zróżnicowania źródeł danych hipsometrycznych oraz metod przetwarzania. Braki te wyeliminować ma cyfrowy model wysokości będący efektem projektu SRTM – Shuttle Radar Topography Mission, opierający się na interferometrii radarowej (SRTM ... 2001; X-SAR / SRTM ... 2001; Rabus i in., 2003). Projekt ten jest prowadzony przez NASA (National Aeronautics and Space Administration) oraz NIMA (National Imagery and Mapping Agency), DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) oraz ASI (Agenzia Spaziale Italiana). W lutym 2000 roku misja wahadłowca Endeavour zebrała dane radarowe z powierzchni Ziemi pomiędzy równoleżnikami 60° N i 56° S. Na ich podstawie wykonywany jest cyfrowy model wysokości o rozdzielczości 1 sekundy łuku (30 m), obejmujący większą część lądów z wyłączeniem przede wszystkim słabo zaludnionych północnych krańców Ameryki Północnej i Eurazji oraz całej Antarktydy. Zakładane dokładności modelu, zarówno pozioma (20 m) jak i pionowa (16 m) zostaną osiągnięte, pomimo wystąpienia pewnych problemów technicznych w czasie zbierania danych (Rabus i in., 2003).

Według informacji zamieszczonych w oficjalnym serwisie NASA, model wysokości dla obszarów poza Stanami Zjednoczonymi będzie dostępny w rozdzielczości przestrzennej 90 m (SRTM ..., 2001; X-SAR / SRTM ..., 2001). Obecnie (grudzień 2003) korzystać można z danych dla Ameryki Północnej i Południowej (<http://seamless.usgs.gov>). Dane dotyczące pozostałych kontynentów zostaną opracowane do połowy 2004 r. (SRTM C-band ..., 2002). Dla obszaru Stanów Zjednoczonych dostępne są dane o rozdzielczości przestrzen-



Ryc. 6. Zmiany rozdzielczości przestrzennej globalnych modeli wysokości od 1988 roku.

Fig. 6. Changes of the spatial resolution of global elevation models since 1988.

nej 30 m, ponadto w internecie zamieszczone są przykłady opracowań w postaci barwnych map hipsometrycznych, bądź też modeli trójwymiarowych (ryc. 5).

Model SRTM stanowić będzie zupełnie nową jakość w badaniach geograficznych zarówno w skali globalnej i regionalnej, i jak i lokalnej. Istotna jest tu nie tylko wysoka rozdzielczość modelu i duża dokładność, ale przede wszystkim homogeniczność danych wynikająca z jednolitej metodyki sporządzenia modelu. Jest to cecha, której nie posiada żaden z dotychczas opracowanych globalnych modeli wysokości (Rabus i in., 2003). Otwiera ona pole do wszelkiego rodzaju regionalnych analiz porównawczych.

## Podsumowanie

Globalne bazy danych przestrzennych są ważnym narzędziem w badaniach Ziemi. Polityka udostępniania ich społeczności naukowej poprzez Internet bez żadnych ograniczeń jest niewątpliwie czynnikiem stymulującym postęp badawczy i z pewnością przynosi większe, choć niewymierne korzyści, niż ich komercjalizacja.

W przypadku cyfrowych modeli wysokości widoczny jest wyraźny postęp w ich jakości. Porównując rozdzielczość przestrzenną omówionych modeli, można stwierdzić, iż rośnie ona o rząd wielkości co 6–8 lat (ryc. 6). Wprowadzenie na rynek modelu SRTM oraz cyfrowych modeli wysokości ASTER, w połączeniu z coraz większymi i tańszymi zasobami danych satelitarnych, umożliwiającymi analizę pokrycia terenu oraz użytkowania ziemi, jak również rosnąca ilość dostępnych w Internecie danych społeczno-ekonomicznych, niewątpliwie doprowadzą w obrębie geografii do rozwoju nowego typu badań regionalnych.

Opracowanie wykonano w ramach projektu badawczego KBN nr 6 P04 020 19.

## Literatura

- Abrams M., 2000, *The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform*, International Journal of Remote Sensing, 21, 5, 847–859.
- ASTER DEM Coverage Map, 2003. Internet: [http://edcdaac.usgs.gov/aster/dem\\_map.html](http://edcdaac.usgs.gov/aster/dem_map.html).
- Childs J., 2002, *ASTER DEM!* Internet: <http://spatialnews.geocomm.com/features/childs4/index2.html>.
- ETOPO2 CD-ROM, 2001, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado. Internet: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/fliers/01mgg04.html>.
- ETOPO5 5-minute gridded elevation data, 1988, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center. Internet: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/seltopo.html>.

- Global Land One-Kilometer Base Elevation (GLOBE). Documentation Version 1.0, 1999. Internet: <http://www.ngdc.noaa.gov/seg/topo/globe.shtml>.
- GTOPO30 Documentation, 1996, US Geological Survey Earth Resources Observation System (EROS) Data Center. Internet: <http://edcwww.cr.usgs.gov>.
- Hastings D.A., Dunbar P. K., 1998, *Development and Assessment of the Global Land One-km Base Elevation Digital Elevation Model (GLOBE)*, ISPRS Archives, 32, 4, 218–221.
- Kozak J., 2001, *Wykorzystanie danych globalnych do badania rozmieszczenia ludności i użytkowania ziemi w wybranych górach świata*, Geoinformatica Polonica, 3, 17–28.
- Kozak J., Troll M., 2002, *Environmental controls of land use and land cover mosaic in selected mountain chains of Eurasia*, [w:] Bottarin R., Tappeiner U. (eds), *Interdisciplinary Mountain Research*, Blackwell Verlag, 72–80.
- Przeglądowy Atlas Świata, 2000, Mydel R., Groch J. (red.), FOGRA, Kraków.
- Rabus B., Eineder M., Roth A., Bamler R., 2003, *The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 57, 241–262.
- Sandwell D. T., Smith W.H.F., 2003, *Exploring the ocean basins with satellite altimeter data*. Internet: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/predicted/explore.html>.
- Smith W.H.F., Sandwell D.T., 1997, *Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings*, Science, 277, 1956–1962.
- SRTM C-Band Products, 2002, Internet: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm/cbandproducts.html>.
- SRTM Mission Statistics, 2001, National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory. Internet: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm>.
- Toutin T., Cheng P., 2002, *Comparison of automated digital elevation model extraction results using along-track ASTER and across-track SPOT stereo images*, Optical Engineering, 41, 9, 2102–2106.
- Yamaguchi Y., Fujisada H., Tsu H., Sato I., Watanabe H., Kato M., Kudoh M., Kahle A.B., Pniel M., 2001, *ASTER early image evaluation*, Advances in Space Research, 28, 1, 69–76.
- X-SAR/SRTM Shuttle Radar Topography Mission. Mapping the Earth from Space, 1999. Deutsches Zentrum fuer Luft- und Raumfahrt. Internet: <http://www.dlr.de/srtm>.



Dr Jacek Kozak, geograf, adiunkt w Zakładzie Systemów Informacji Geograficznej Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego; e-mail: [jkozak@gis.geo.uj.edu.pl](mailto:jkozak@gis.geo.uj.edu.pl)