

## Zastosowanie numerycznego modelu terenu do wizualizacji rzeźby terenu i interpretacji budowy geologicznej

Jerzy Nita\*, Zbigniew Małolepszy\*, Ryszard Chybiorz\*



J. Nita



Z. Małolepszy



R. Chybiorz

**A Digital Terrain Model in visualization and interpretation of geological and geomorphological settings.** *Prz. Geol.*, 55: 511–520.

*S u m m a r y.* Geological sciences have recently utilized a wide range of numerical methods to collect, analyze, visualize and interpret geospatial datasets both at industrial and academic level. Investigation of various elements of surface and subsurface structures using DEM (Digital Elevation Model), DTM (Digital Terrain Model) and SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) data provides unique opportunities for depiction of geology and geomorphology in a form of three-dimensional maps. These digital maps should potentially replace traditional topographic maps in the nearest future. New numerical systems have enhanced significantly time efficiency of producing maps and related databases. Advance in

detailed work on the high resolution maps and digital elevation computer-supported models is essential for precise and objective interpretation of large datasets. Available visualization systems produce sets of images and animations showing geospatial structures, processes and their relations in a multi-dimensional form commonly presented as stereo-pairs for presentation in an immersive environment or as anaglyphs. Utilization of web-accessible datasets of DTED level 0 and 1 and LandSat images is a new advantage in small and regional scale mapping.

**Key words:** NMT, DEM, DTM, SRTM, DTED, GIS, digital maps, geological mapping, 3D visualization

Współczesna geologia coraz częściej wykorzystuje modele przestrzenne, budowane na podstawie danych otworowych oraz numerycznego modelu terenu (NMT)\*\*, ale przede wszystkim szerokie możliwości przestrzennej wizualizacji. Model terenu jest numeryczną, dyskretną (punktową) reprezentacją wysokości topograficznej powierzchni terenu wraz z algorytmem interpolacyjnym umożliwiającym odtworzenie jej kształtu w określonym obszarze (Kurczyński & Preuss, 2000). Modele terenu wykonane komputerowo w systemach GIS (*Geographic Information System* — system informacji geograficznej) na podstawie danych NMP\*\* (numerycznego modelu powierzchni terenu wraz z elementami infrastruktury, przyrody ożywionej itp.) oraz NMR\*\* (numerycznego modelu rzeźby terenu — bez infrastruktury itp.), DTED (*Digital Terrain Elevation Data* — numeryczne modele rzeźby powierzchni terenu stosowane przez Służbę Topograficzną Wojska Polskiego zgodnie ze standardami NATO) czy SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* — radarowa misja topograficzna wahadłowca), zestawiane z wykorzystaniem zdjęć lotniczych i satelitarnych, oraz technologia GPS (*Global Positioning System* — system nawigacji satelitarnej) i DGPS (*Differential Global Positioning System* — różnicowy system nawigacji satelitarnej) zaczynają mieć szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach, w tym w ochronie i kształtowaniu środowiska, oraz

w badaniach geologicznych (Dikau, 1989; Irvin i in., 1997; Małolepszy i in., 1997; Florinsky, 1998; Chybiorz & Nita, 1999; Michalak, 2000; Ostaficzuk, 2003, 2005a, b; Nita & Małolepszy, 2004; Schmidt & Hewitt, 2004; Badura & Przybylski, 2005; Małolepszy, 2005; Perski i in., 2005). Taka procedura dotyczy przede wszystkim pozyskiwania informacji w zakresie opisu zjawisk geologicznych, tworzenia baz danych oraz modelowania procesów i zjawisk. Bardzo ważną funkcją wszystkich badań geologicznych jest tworzenie modelu pojęciowego, w którego prezentacji pomaga wizualizacja komputerowa.

Wizualizacja przestrzenna 3D umożliwia zobrazowanie obiektu geologicznego z różnych perspektyw (w tym czasowych), a także pozwala na przedstawienie dowolnej projekcji efektu oczekiwanego lub sumarycznego — końcowego (Arens i in., 2005; Wu i in., 2005). Wizualizację można też utożsamiać z opracowaniem w modelu sekwencji prowadzących do powstania danego zjawiska geologicznego, czy też prześledzeniem zmian prowadzących do obecnego stanu, z wykorzystaniem różnorodnych metod badawczych, np. statystycznych. Wydaje się, że takie opracowania doskonale się nadają do rekonstrukcji różnych procesów i zjawisk, np. zasięgów zlodowaceń (Clark, 1997; Clark i in., 2004; Rosentau i in., 2004). Jednakże aby takie rekonstrukcje można było wykonać, konieczne są odpowiednie parametry wykorzystywane przez procedury (algorytmy). Jednym z takich podstawowych parametrów może być morfologia terenu (NMT), zarówno ta współczesna, jak i rekonstruowana z okresu poprzedzającego dane procesy geologiczne. Innym istotnym czynnikiem może być rozkład elementów budowy geologicznej w modelu przestrzennym z uwzględnieniem czynnika czasu (4D).

Zasięgi granic jednostek geologicznych na terenie Polski budziły i zapewne długo jeszcze będą wzbudzały zainteresowanie rzeszy geologów. Przybywa szczegółowych danych, obserwacje stają się bardziej specjalistyczne,

\*Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; jnita@wnoz.us.edu.pl, malol@us.edu.pl, chybiorz@us.edu.pl

\*\*NMT, numeryczny model terenu, w polskiej literaturze pod tą nazwą często występują zamiennie dwa terminy ang.: DEM (*Digital Elevation Model*) i DTM (*Digital Terrain Model*). Autorzy proponują ich polskie odpowiedniki, dla DEM — NMP (numeryczny model powierzchni terenu), a dla DTM — NMR (numeryczny model rzeźby terenu); patrz Nita & Giętkowski oraz <http://www.ptip.org.pl>

zmieniają się poglądy, pojawiają się informacje i metody pozwalające na coraz bardziej prawdopodobne i precyzyjne wyznaczenie granic jednostek regionalnych. W ich doprecyzowaniu będą pomocne wszelkiego rodzaju modele numeryczne. Taka sytuacja występuje w wielu rejonach Polski. Prezentacja budowy geologicznej nałożonej na model rzeźby terenu w systemie GIS pozwala w sposób bardziej jednoznaczny i przejrzysty przedstawiać granice jednostek litologicznych i stratygraficznych.

Współcześnie dane bazowe do modeli wysokościowych można pozyskać z pomiarów bezpośrednich w terenie (tachimetria elektroniczna albo techniki GPS), zdjęć lotniczych i ich opracowań fotogrametrycznych, skaningu laserowego lub radarowego, pomiarów interferometrycznych z satelity (InSAR) czy też wektoryzacji istniejących map topograficznych. W systemach komputerowych najczęściej są tworzone dwa podstawowe typy NMT: regularny w postaci prostokątnej siatki punktów — GRID (model pseudorastrowy) i nieregularny w postaci siatki trójkątów — TIN (model trójkątowy, ang. *Triangular Irregular Network*; Sambridge i in., 1995; Kocyła, 1997; Gotlib & Olszewski, 2006). Na obszarze Polski są dostępne następujące modele rzeźby terenu:

- modele DTED poziomu 0, 1 i 2;
- modele opracowane w ramach danych SRTM 1 i 3 międzynarodowej misji promu kosmicznego *Endeavour*;
- modele powstające w ramach prac nad projektem LPIS — Systemem Identyfikacji Działek Rolnych (ang. *Land Parcel Information Systems*) z wykorzystaniem archiwalnych zdjęć lotniczych w skali 1 : 26 000;
- modele powstające w ramach systemu osłony powodziowej SMOK (System Monitoringu i Osłony Kraju);
- modele wysokościowe powstające w ramach opracowania bazy TBD (Bazy Danych Topograficznych);
- modele wysokościowe oparte na danych cyfrowych VMap (*Vector Smart Map*), np. dane bazowe VMap L2 opracowane przez Służbę Topograficzną WP oraz GUGiK.

Analiza i porównanie współcześnie dostępnych modeli rzeźby terenu jest szeroko i przystępnie omówiona w pracy zbiorowej pod redakcją Gotliba i in. (2006), na podstawie której sporządzono tabelę 1.

W badaniach geologicznych i geomorfologicznych wykorzystanie modelu interferometrycznego SRTM do budowy NMT jest mało przydatne. Model SRTM charakteryzuje się bardzo dużymi błędami wysokościowymi, nie tylko na obszarach leśnych, lecz także na terenach silnie zurbanizowanych oraz na obszarach zbiorników wodnych. Dostępne dane wskazują, iż SRTM jest numerycznym modelem pokrycia terenu, nie zaś rzeźby terenu (nawet model SRTM-1 o rozdzielczości przestrzennej 1").

Czasem wykorzystanie modelu sprawia, że są wymagane dokładne informacje dotyczące tylko rzeźby (NMR) a nie pokrycia terenu (NMP) i wtedy pozostaje nam do dyspozycji tak naprawdę tylko pozyskany z map rysunek warstwowy wzbogacony o linie szkieletowe, linie nieciągłości (skarpy, urwiska), zbiorniki wodne i obszary o jednolitym spadku. Dopiero tak uzupełnionymi danymi wysokościowymi możemy się posłużyć w szczegółowej analizie rzeźby terenu i analizach przestrzennych z wykorzystaniem NMT (Nita & Myga-Piątek, 2005a).

## Wizualizacja treści geologicznych i geomorfologicznych w numerycznym modelu terenu

Wizualizacja treści geologicznych jest oparta na dwóch modułach. Pierwszym modulem są podstawowe i szczegółowe mapy geologiczne oraz mapy tematyczne wybranych elementów strukturalnych bądź innych treści geologicznych przeznaczonych do prezentowania w modelach 3D. Drugi moduł to zbiór danych numerycznych (w formacie nieregularnym TIN lub regularnym GRID) dotyczących rzeźby terenu lub zmiennych  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  danej powierzchni geologicznej, kompatybilny z zakresem treści mapy geologicznej. W ten sposób dowolne elementy treści geologicznej można zintegrować z trójwymiarową przestrzenią. Podobnie, np. w wizualizacjach krajobrazowych, elementy składowe można prezentować w modelach numerycznych terenu (Ołdak, 1994; Magnuszewski, 1999; Nita & Myga-Piątek, 2005a, b). Na styku geologii i geomatyki powstały i są rozwijane koncepcje systemów trójwymiarowych typu GIS-3D (Apel, 2006; Sprague i in., 2006), inne dyscypliny z powodzeniem posługują się systemami dwuwymiarowymi — GIS (Michalak, 2000).

Wizualizacja aspektów powierzchniowej budowy geologicznej w systemie GIS jest wykonywana na przecięciu z powierzchnią terenu reprezentowaną w modelu geodezyjnym przez cyfrowy model NMT, w którym są pominięte składniki krajobrazu niezwiązane z rzeźbą terenu (Gaździcki, 1990; Kraak & Ormeling, 1998; Nita, 2002).

Rozwój w latach 90. XX w. programów GIS oraz wprowadzenie opracowania *Szczegółowej mapy geologicznej Polski* (SMGP) w wersji numerycznej otworzyły nowe możliwości wizualizacji, operowania przestrzenią w geologii. Dlatego w przyszłości końcowym efektem prac nad każdym arkuszem SMGP powinien być nie tylko model 2D, czy nawet 2,5D (Kocyła 1997; Kocyła & Rumiński, 2004), ale model 3D umożliwiający badanie obiektów (wydzielonych geologicznych) w przestrzeni trójwymiarowej oraz animowany model 4D prezentujący w formie uproszczonej (schematycznej) wglębną budowę danego obszaru. Jednakże należy zdawać sobie sprawę, iż problem modelowania wielowymiarowej przestrzeni jest bardzo pracochłonny i kosztowny, nawet przy obecnym stanie rozwoju technik przetwarzania komputerowego z wykorzystaniem zaawansowanych metod matematycznych. W pracach kartograficznych nad odwzorowaniem budowy geologicznej badanego obszaru dominujące znaczenie mają informacje litologiczno-stratygraficzne. Modelowaniu podlega dynamicznie określona powierzchnia geologiczna, np. współczesna lub wglębna powierzchnia strukturalna czy erozyjna, natomiast ewolucja przestrzeni geologicznej w kartografii geologicznej jest przedstawiana w tradycyjny, statyczny sposób za pomocą serii oddzielnych przekrojów, profili i blokdiagramów, odwzorowujących stany budowy geologicznej w różnych okresach geologicznych (Małolepszy, 2003; Nita & Małolepszy, 2004). Wizualizację w NMT treści geologicznych (budowy geologicznej) możemy (należy) rozumieć jako:

- opisanie numeryczne oraz graficzne demonstrowanie danego obiektu lub zjawiska geologicznego w czasie rzeczywistym;
- rekonstrukcję i prezentowanie kompleksowego wykształcenia struktur geologicznych w połączeniu z parametrami opisującymi te zjawiska;

**Tab. 1. Zestawienie danych wysokościowych dostępnych w tworzeniu i analizie numerycznych modeli terenu na obszarze Polski (na podstawie Gotliba i in. 2006 oraz prac własnych autorów)**

Table 1. Elevation data for construction and analysis of digital terrain model in Poland (based on Gotlib et al. 2006 and works of the authors)

Typ opracowania <i>Data type</i>	Material źródłowy (podstawowy) <i>Data source</i>	Rozdzielczość przestrzenna danych <i>Spatial resolution of data</i>	Rzeczywista dokładność modelu: pozioma/pionowa <i>Model accuracy: horizontal/vertical [m]</i>	Przydatność NMT w pracach naukowych, uwagi <i>Applications of DTM, remarks</i>
NMT opracowywany indywidualnie na podstawie archiwalnych materiałów topograficznych <i>DTM constructed individually from topographic maps</i>	Mapa topograficzna w skali 1 : 10 000, układ „1965” <i>Topographic map, 1 : 10,000 scale, map projection “1965”</i>	Zależna od sposobu wektoryzacji i jakości materiału kartograficznego <i>Based on map quality and type of digitalization</i>	±10 (zależna od cięcia warstwicowego i nachylenia terenu) ±10 ( <i>depending on contours interval and slope angle</i> )	Indywidualna — duża, ale stworzenie (wygenerowanie) modelu jest bardzo czasochłonne <i>Individual, wide. Construction of DTM is time consuming</i>
	Mapa topograficzna w skali 1 : 50 000, układ „1965”, „1992” <i>Topographic map, 1 : 50,000 scale, map projections “1965” and “1992”</i>		±25 (zależna od cięcia warstwicowego i rodzaju terenu) ±25 ( <i>depending on contours interval and terrain type</i> )	
NMT na Bazie Danych Topograficznych (TBD)* <i>DTM based on Topographic DataBase (TBD)*</i>	Opracowania fotogrametryczne lub wektoryzacja map topograficznych w skali 1 : 10 000, układ „1992” <i>Photogrammetry and/or digitalization of topographic maps at scale 1 : 10,000 in “1992” map projection</i>	Błąd wysokościowy ≤ 1 m (≤ 2,5 m na terenach o nachyleniu > 6°); na zalesionych obszarach dopuszczalne błędy rosną do 50% <i>Elevation errors ≤ 1 m (≤ 2.5 m in areas of slope angle &gt; 6°). In forest areas permissible errors rise up to 50%</i>	Zakres błędów poziomych 5–20, pionowych 1–3,25; na zalesionych obszarach wzrost błędu ponad dopuszczalny o 100% <i>Range of horizontal errors 5–20 m, vertical 1.0–3.25 m; in forest areas error exceeds admissible error by &gt; 100%</i>	W trakcie tworzenia; związane atrybutów opisowych z elementami strukturalnymi umożliwia opracowanie uogólnionej reprezentacji NMT na dowolnie zdefiniowanym poziomie (skali opracowania kartograficznego) <i>Under construction. Relation of descriptive attributes to structural elements makes possible construction of generalized DTM at any defined level at map scale</i>
NMT opracowany przez Służbę Topograficzną Wojska Polskiego <i>DTM constructed by Geographic Survey of the Polish Army</i>	Poziom 0 (DTED 0) odpowiada mapom w skali 1 : 1 000 000 <i>Level 0 (DTED 0) based on maps at scale 1 : 1,000,000</i>	Siatka o module 30" (o boku ok. 1000 m w kierunku N-S i ok. 600 m w kierunku W-E) <i>Grid cell size 30 arc-second, approx. 1000 m in N-S direction and 600 m in W-E direction</i>		Opracowania bardzo ogólne <i>General applications</i>
	Poziom 1 (DTED 1) z 1998 r. Mapa topograficzna w skali 1 : 200 000, układ WGS-84 <i>Level 1 (DTED 1) accomplished in 1998. Topographic map at scale 1 : 200,000</i>	Siatka o module 3" (o boku ok. 100 m w kierunku N-S i ok. 60 m w kierunku W-E) <i>Grid cell size 3 arc-second, approx. 100 m in N-S direction and 60 m in W-E direction</i>		Uogólniony model terenu zapisany w formacie pseudorastrowym, wykorzystywany jako Baza Danych Ogólnogeograficznych <i>Generalized terrain model stored in pseudo-raster format</i>
	Poziom 2 (DTED 2) z 1999 r. Mapa topograficzna w skali 1 : 50 000, układ WGS-84. Na wybranych obszarach diapozytyw mapy topograficznej w skali 1 : 25 000 <i>Level 2 (DTED 2) accomplished in 1999. Topographic map at scale 1 : 50,000. In selected areas diapositives of topographic map at scale 1 : 25,000</i>	Siatka o module 1x1" i 1x2" (o boku ok. 30 m) <i>Grid cell size 1x1 and 1x2 arc-second, approx. 30 m side-length</i>	W cięciu warstwicowym 5 m: 16/2 <i>In contour interval 5 m: 16/2</i> W cięciu warstwicowym 10 m: 16/4 <i>In contour interval 10 m: 16/4</i> W cięciu warstwicowym 10 lub 20 m: 16/7 <i>In contour interval 10 or 20 m: 16/7</i>	Pokrywa cały kraj, jego wartość będzie wzrastać wraz z aktualizacją danych z modelu fotogrametrycznego opracowanego dla LIPS <i>Data covering whole area of Poland. Its applicability will be raising along with refinement of photogrammetric model for LIPS project</i>
	Poziom 3 (DTED 3)** odpowiada mapom w skali 1 : 25 000 <i>Level 3 (DTED 3)** based on maps at scale 1 : 25,000</i>	Siatka o module 1/3" (o boku ok. 10 m) <i>Grid cell size 1/3 arc-second, approx. 10 m side-length</i>		Obiecująca przyszłość opracowań naukowych <i>Future applications</i>
NMT opracowany w ramach misji SRTM zrealizowanej w lutym 2000 <i>DTM in frame of SRTM project, accomplished in February 2000</i>	Interferogramy, układ WGS-84 <i>Interferograms, WGS-84 datum</i>	SRTM-1 odpowiada siatce o module 1" (Δx = 20 m, Δy = 30 m) <i>SRTM-1 grid cell size 1 arc-second, Δx = 20 m, Δy = 30 m</i> SRTM-3 odpowiada siatce o module 3" (Δx = 60 m, Δy = 90 m) <i>SRTM-3 grid cell size 3 arc-second, Δx = 60 m, Δy = 90 m</i>		Wymaga wieloletnich opracowań; rozważano możliwość wykorzystania do aktualizacji DTED 2 <i>Requires long-term surveys. Potential use for refining of DTED-2 was considered</i>

Typ opracowania <i>Data type</i>	Materiał źródłowy (podstawowy) <i>Data source</i>	Rozdzielczość przestrzenna danych <i>Spatial resolution of data</i>	Rzeczywista dokładność modelu: pozioma/pionowa <i>Model accuracy: horizontal/vertical [m]</i>	Przydatność NMT w pracach naukowych, uwagi <i>Applications of DTM, remarks</i>
NMT opracowywany w ramach misji LIPS** <i>DTM in frame of LIPS project**</i>	Opracowania fotogrametryczne zdjęć lotniczych w skali 1 : 26 000, układ „1992” <i>Photogrammetry of aerial photos at scale 1 : 26,000, map projection “1992”</i>	Punkty mierzone w siatce oczku $\leq 40$ m; uwzględniane są m.in. rowy i ciekły głębsze niż 1,5 m; błąd wysokościowy 1,5 m; na zalesionych obszarach dopuszczalny 50% wzrost błędu <i>Grid size <math>\leq 40</math> m, included drainage features deeper than 1.5 m. Elevation error not exceeding 1.5 m. In forest areas permissible error rise up to 50 %</i>	Nie może zawierać błędów poziomych $> 4,25$ , a pionowych większych niż z przedziału 1,5–2,25 <i>Horizontal errors not exceeding 4.25 m, vertical errors not exceeding range of 1.5–2.25 m</i>	Parametry jakościowe mniejsze niż w NMT tworzonego w Bazie Danych Topograficznych <i>Quality lower than DTM constructed on Topographic DataBase (TBD)</i>
NMT opracowywany w ramach VMapy** <i>DTM constructed in frame of VMap project**</i>	Bazy VMap poziomu 0 i poziomu 1 zostały opracowane w standardowej specyfikacji NATO, jednolitej dla całego świata <i>VMap database at level 0 and 1 constructed in standard NATO specification, uniform on global scale</i>	poziom 0 odpowiada opracowaniom w skali 1 : 1 000 000 <i>Level 0 equal to 1 : 1,000,000 scale topographic map</i>	W cięciu warstwicowym co 10 m <i>In contour interval 10 m</i>	Pokrywa cały kraj, skale mało przydatne do szczegółowych opracowań <i>Data covering whole area of Poland. Scales not applicable for detailed projects</i>
	Bazy VMap poziomu 2 i 3 oraz Szczegółowa mapa wektorowa (SMW) są tworzone w skalach typowych dla danego kraju <i>VMap database at level 2 and 3 constructed at country scales as domestic product</i>	poziom 1 odpowiada opracowaniom w skali 1 : 250 000 <i>Level 1 equal to 1 : 250,000 scale topographic map</i>		
		poziom 2 odpowiada opracowaniom w skali 1 : 50 000 <i>Level 2 equal to 1 : 50,000 scale topographic map</i>		
		poziom 3 odpowiada opracowaniom w skali 1 : 5000 – 1 : 25 000 <i>Level 3 equal to 1 : 5,000 – 1 : 25,000 scale topographic map</i>		Na bazie technologii VMap, powstaje SMW odpowiadająca mapom wojskowym w skali 1 : 10 000 (bardzo ciekawy produkt do zastosowań naukowych) <i>Based of VMap project Detailed Vector Map constructed accordingly to military topographic maps at scale 1 : 10 000</i>

\*dane nie odnoszą się do terenu całej Polski — *data not unavailable for whole area of Poland*

\*\*dane w trakcie opracowywania — *data under construction*

□ graficzną prezentację wiedzy związanej ze współczesnym modelem budowy geologicznej w odniesieniu do przeszłości geologicznej;

□ tworzenie obrazów graficznych w celu ułatwienia interpretacji i zrozumienia współzależności różnych zjawisk geologicznych — tektonicznych, litologicznych, stratygraficznych itp.;

□ zestawianie graficzne w modelach geologicznych dużej ilości informacji naukowych z baz danych z różnych dziedzin związanych z podłożem geologicznym, np. użytkowania terenu, zasobów naturalnych, pokrycia terenu, budownictwa;

□ zastosowanie technologii komputerowej do tworzenia statycznych i animowanych prezentacji modelu budowy geologicznej;

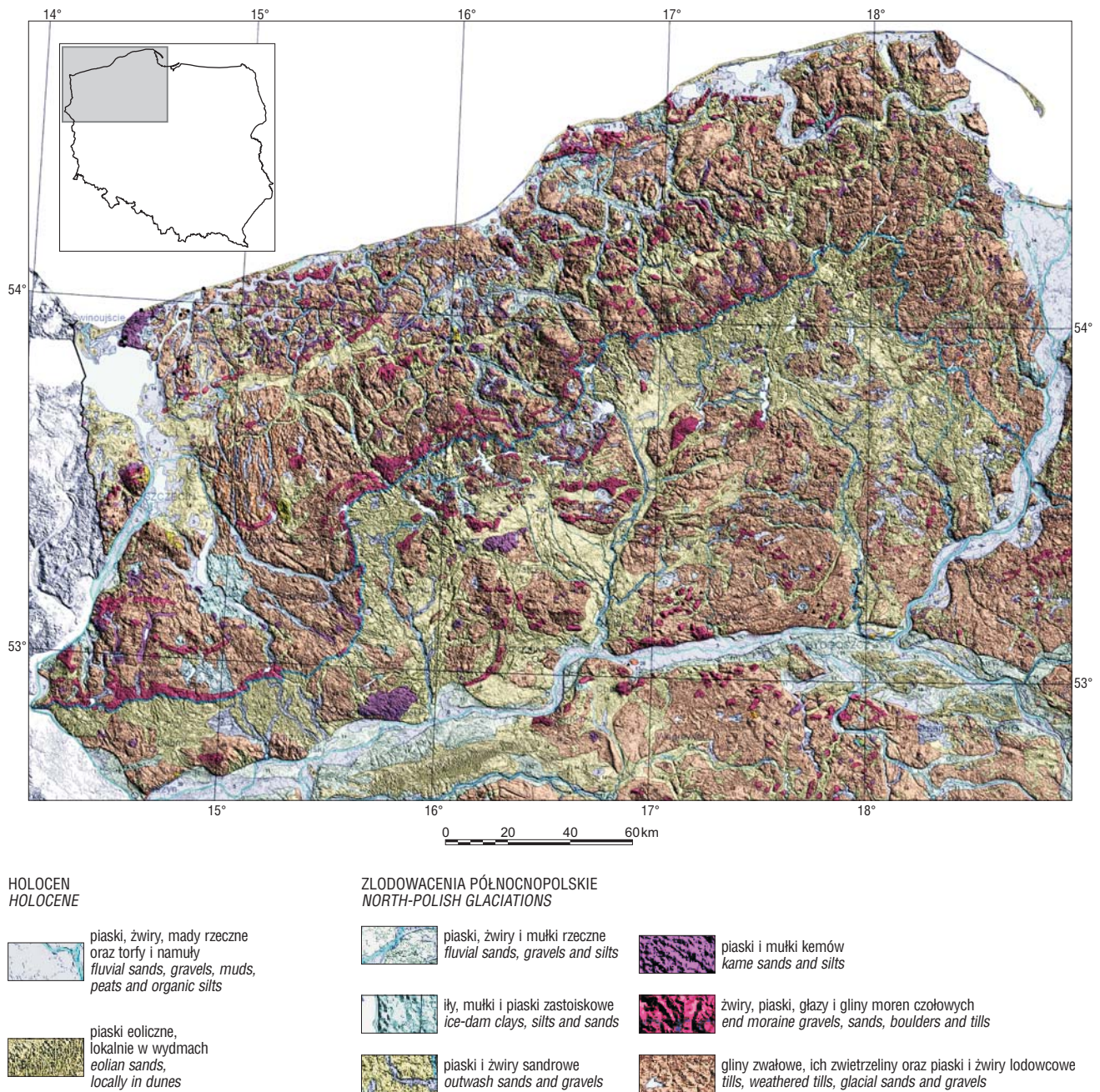
□ wykorzystanie modeli jako inspiracji do tworzenia hipotez roboczych i syntez geologicznych.

### Mapa geologiczna w NMT

Podstawowym opracowaniem w konwencji pseudotrójwymiarowej (2,5D) jest NMT z nałożoną dowolną sekwencją treści geologicznej. Jako przykład prezentujemy mapę wykonaną przez nałożenie *Mapy geologicznej Polski w skali 1 : 500 000* (Marks i in., 2006) na model rzeźby terenu DTED poziomu drugiego, uzyskany dzięki uprzejmości Wojskowego Instytutu Geografii. Powierzchnia terenu na mapie (widok z góry) jest wyrażona w formie cieniowanego reliefu oświetlonego z północnego zachodu.

Taka kombinacja dwóch baz pozwala na uzyskiwanie informacji z dwóch źródeł jednocześnie i wzajemne ich uzupełnianie się. Na przykład zmiany kierunku oświetlenia reliefu stwarzają możliwość selektywnego wyróżniania poszukiwanych obiektów geomorfologicznych lub trendów strukturalnych. Zmiany przewyższenia reliefu natomiast umożliwiają eksponowanie elementów ukształtowania powierzchni terenu, które są słabo wyrażone w rysunku izoliniowym na mapach topograficznych, jak na przykład tarasy, stożki napływowe lub wydmy.

Na przedstawionej w artykule mapie geologicznej Pomorza w przystępniejszy sposób zostały zaprezentowane zależności geologiczno-geomorfologiczne (ryc. 1), dzięki czemu jest możliwa dokładniejsza analiza form rzeźby terenu, na co wskazywał już Kocyła (1997), a później m.in. Ostaficzuk (2003, 2005b) oraz Badura i Przybylski (2005). Obecnie na Wydziale Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego jest prowadzonych kilka prac doktorskich analizujących różne formy rzeźby terenu na obszarze Niżu Polskiego. Na zaprezentowanym obrazie budowy geologicznej w plastyczny sposób są widoczne przestrzenne zależności podstawowych wydziałów geologicznych i ich relacje wysokościowe. Tereny nizinne są bardziej rozległe, występujące na nich względnie płaskie obszary są pokryte osadami czwartorzędowymi oraz urozmaicone siecią rzeczna. W części północnej dominują obszary o większych deniwelacjach terenu, wyraźnie jest zaznaczony zasięg fazy pomorskiej zlodowacenia wisły. Przedstawiona powierzchnia strukturalna w powiązaniu ze współcze-



**Ryc. 1.** Mapa geologiczna północno-zachodniej Polski na tle cieniowanego modelu powierzchni terenu (materiały źródłowe: Marks i in., 2006, zmieniona; model terenu DTED poziom 2) — koncepcja i opracowanie R. Chybiorz i J. Nita

**Fig. 1.** Geological map of NE Poland superimposed on shaded relief map of terrain (after Marks et al. 2006, modified; terrain model DTED level 2) — by R. Chybiorz and J. Nita

sną rzeźbą terenu jest, zdaniem autorów, zdecydowanie bardziej czytelna i zrozumiała w porównaniu z jej prezentacją na płaskich (2D), tradycyjnych mapach geologicznych (Nita & Małolepszy, 2004).

Taką mapę (ryc. 1) można wykorzystać między innymi w opracowaniach wykonywanych przez geologów do:

- analizy i interpretacji form terenu (geomorfologia strukturalna),
- analizy wielkości spadków terenu jako funkcji urozmaicenia terenu i odporności skał na denudację,
- analizy kartometrycznej zasięgu występowania określonych form geologicznych,
- wizualizacji opracowań geologiczno-geomorfologicznych w nawiązaniu do wielu numerycznych map tema-

tycznych i innych materiałów kartograficznych, np. ortofotomapy i obrazów satelitarnych,

□ waloryzacji form terenu i powiązanych z nimi zjawisk geologicznych,

□ prognozowania zmian obiektów geologiczno-geomorfologicznych i oceny ich wpływu na realną wartość krajobrazu w waloryzacji i inwentaryzacji zasobów naturalnych,

□ wizualizacji opracowań geologiczno-geomorfologicznych do celów dydaktycznych i naukowych.

Wizualizacja mapy geologicznej w NMT pozwala również na weryfikację jakościową jej treści — granic geologicznych, linii strukturalnych itp. Nałożone na relief wydzielenia geologiczne nie zawsze współgrają z rzeźbą

terenu. Najczęściej jest to spowodowane różnicami w odwzorowaniach kartograficznych zestawianych materiałów, jakkolwiek nie można wykluczyć błędów w procesie tworzenia mapy geologicznej (Kocyla, 1997). W prezentowanym połączeniu mapy z NMT w prosty sposób można identyfikować i korygować błędy związane z opracowaniem geologicznym lub z podkładem geodezyjnym.

Przedstawiona technika łączenia różnych warstw informacyjnych w kategorii 2D z ich przestrzennym wymiarem 3D daje również nowe możliwości analizy map (szkiców) geologicznych odkrytych będących częścią składową SMGP. Pozwala w stosunkowo prosty sposób (po digitalizacji mapy w systemie GIS) otrzymać nie tylko dowolną liczbę różnie zorientowanych w przestrzeni profili obrazujących ukształtowanie powierzchni terenu i stropu utworów podzwartorzędowych, ale także mapy miąższości utworów czwartorzędowych. Cyfrowy zapis map łączących punkty o jednakowych wartościach wielkości fizycznej lub wskaźnika w tym samym czasie, a także natężenia lub czasu występowania zjawiska, pozwala automatycznie wprowadzić barwy do wizualizacji zamiast izolinii. Nadaje to mapie większą przejrzystość i możliwość odczytywania analizowanej wartości lub wskaźnika. Można także eksportować parametry ilościowe opisujące daną formę (powierzchnię) do wewnętrznych lub zewnętrznych programów umożliwiających przetwarzanie informacji o obiektach zlokalizowanych na mapach. Izohipsy zaciemniające obraz węglębnych map geologicznych można zastępować skalą barwną i cieniowanym reliefem powierzchni strukturalnej, aby jakościowo zaprezentować jej zmienność (Nita & Małolepszy, 2004).

### Prezentacja przestrzeni w geologii — geologiczna grafika komputerowa

To, co między innymi wyróżnia klasyczną geologię z innych dziedzin nauki, to przestrzenność zjawisk i obiektów, którymi się zajmuje. Informacje, na podstawie których budujemy w naszym umyśle przestrzeń geologiczną, pochodzą z postrzegania rzeczywistego i abstrakcyjnego. Informacje rzeczywiste, docierając nerwami wzrokowymi od siatkówek obu oczu do ośrodka widzenia w mózgu, dzięki temu, że różnią się nieznacznie, stwarzają wrażenie przestrzenności. Takie czynniki, jak akomodacja, paralaksa, perspektywa geometryczna, konwergencja, perspektywa powietrzna, cienie i połysk powierzchni, ruch, sprawiają, że widzimy w trzech wymiarach (Rubinowicz, 2005).

Przykładami metod prezentacji przestrzeni, które można wykorzystać w opracowaniach geologicznych, są:

**1. Oglądanie obrazów trójwymiarowych przez stereoskop.** Metoda znana od ponad 150 lat, gdy wynaleziono stereoskopię — polega na tworzeniu złudzenia przestrzeni za pomocą dwóch fotografii odpowiadających naturalnemu widzeniu oczu. Fotografie są wykonywane z dwóch punktów o rozstawie wynoszącym zazwyczaj 60–70 mm. Pary takich zdjęć (stereopary) ogląda się za pomocą przyrządów (stereoskopów), przez które każde oko widzi tylko jedno ze zdjęć stereopary. Zaletami metody stereoskopowej są doskonała separacja i przestrzenność obrazu (Ostaficzuk, 1980).

**2. Oglądanie anaglifów za pomocą czerwono-niebieskich lub czerwono-zielonych okularów.** Cechą tej meto-

dy stereoskopowej jest, że obrazy stereopary są nałożone na siebie, a ich rozdzielenie następuje za pomocą kolorowych filtrów optycznych. Dużą zaletą metody są nieograniczone rozmiary anaglifów i korzystanie z tanich okularów foliowych. Metoda jest szczególnie zalecana do demonstracji obrazów trójwymiarowych w Internecie i wyświetlania na ekranie komputera. Wadą metody jest konieczność zmiany spektrum barw obrazu, aby wyeliminować czerwony kolor, który w lewym (czerwonym) filtrze okularów daje efekt czarnych plam. Uniemożliwia to prezentację map lub zdjęć w barwach rzeczywistych.

**3. Pary stereoskopowe do oglądania krzyżowego.** Jest to metoda oglądania zdjęć w sposób krzyżowy. Nie wymaga żadnych okularów, konieczne jest jednak ćwiczenie wzroku. Szerokość pary obrazów jest ograniczona do ok. 120 mm, przy czym lewy obraz znajduje się po prawej stronie, a prawy po lewej. Patrząc, należy ustawić gałki oczne zbieżnie, jak przy patrzeniu na bardzo bliski przedmiot, a jednocześnie akomodację na rzeczywistą odległość do stereopary. W pewnej chwili obydwa obrazy „zleją” się w jeden obraz przestrzenny.

**4. Oglądanie obrazów lentikularnych (rastrowych).** Oglądanie nie wymaga użycia przyrządów. Obraz lentikularny składa się z folii, w której są wytłoczone rzędy miniaturowych soczewek cylindrycznych, nałożonej na obraz składający się z pasczków od dwóch do nawet kilkunastu obrazów składowych. Łączna szerokość zestawu pasków odpowiada szerokości jednej soczewki cylindrycznej. Soczewki powodują, że do oczu patrzącego trafiają tylko fragmenty obrazów tworzące razem obraz przestrzenny. Sporządzanie obrazów lentikularnych wymaga precyzji.

**5. Oglądanie za pomocą okularów ciekłokrystalicznych.** Jest to metoda, która wymaga komputera wyposażonego w specjalne okulary podłączone do karty graficznej. Komputer synchronicznie ukazuje na ekranie monitora na przemian obrazy przeznaczone dla lewego i prawego oka. Szklą okularów działają na zasadzie migawek, otwierających się na przemian 60 razy na sekundę. Metoda stosowana jest w wielu grach komputerowych. Zaletą metody jest doskonała separacja obrazów.

**6. Projekcja trójwymiarowa z zastosowaniem filtrów polaryzacyjnych.** Projekcja wymaga zastosowania dwóch rzutników, wyświetlających lewy i prawy obraz na wspólny ekran o metalizowanej powierzchni. Na obiektyw rzutników nakłada się filtry polaryzacyjne o prostopadłych względem siebie kierunkach polaryzacji. Widzowie korzystają z okularów o szklach polaryzacyjnych, również o prostopadłych względem siebie kierunkach polaryzacji. Metalizowany ekran odbija światło bez zakłócania polaryzacji, dzięki czemu do oczu widzów docierają tylko przeznaczone dla nich obrazy: lewy i prawy. Obecnie pojawiły się już pojedyncze projektory 3D, jak np. InFocus DepthQ 3D umożliwiający projekcję obrazu stereoskopowego 3D z częstotliwością 120 Hz. W projektorze zastosowano najnowszą technologię firmy Texas Instruments Digital Light Processing™ umożliwiającą wyświetlanie stereoskopowego obrazu z kontrastem 2000 : 1.

**7. Forma wydruku 3D.** Współczesna wizualizacja to nie tylko ulotny obraz. Jej formą jest na przykład stereolito-

wej cieczy, utwardza polimer w punktach odpowiadających wcześniej wprowadzonym przekrojom. Obecnie istnieje również możliwość druku map 3D (np. map dla osób niewidomych). To, co do tej pory służyło jako druk dwuwymiarowy, jeszcze pełniej zaprezentuje przestrzeń jako model trójwymiarowy. W realizacji tego zamierzenia pomogą specjalne rodzaje papieru, pozwalające na nadanie wydrukowi trzeciego wymiaru.

**8. Monitor 3D.** Obecnie są techniczne możliwości przestrzennej prezentacji obrazu i firmy wprowadzające do sprzedaży monitory, np. w kształcie kuli wyświetlające prawdziwy obraz trójwymiarowy. Taki monitor pozwala na oglądanie obrazów trójwymiarowych bez użycia specjalnych okularów czy innych akcesoriów. Do wyświetlania obrazu 3D są potrzebne odpowiednie aplikacje. Aby obraz 3D można było płynnie wyświetlać, niezbędna jest wydajna platforma sprzętowa, ale to w najbliższej przyszłości też nie będzie stanowić problemu. Dzisiaj zastosowanie monitora 3D to głównie projektowanie CAD, aplikacje medyczne oraz modelowanie procesów i zjawisk w poszukiwaniach i eksploatacji węglowodorów, ale i dla geologii jest tutaj miejsce.

Przyszłość wizualizacji to oczywiście prezentacje laserowe, ale te w geologii muszą jeszcze poczekać na upowszechnienie i wykorzystanie. Dane trójwymiarowe mogą zostać pobrane ze świata rzeczywistego, np. za pomocą przetwarzania informacji ze skanerów trójwymiarowych, sensorów satelity (topografia terenu), a także ze zdjęć stereoskopowych. Oglądanie obrazów trójwymiarowych za pomocą stereoskopu, okularów do anaglifów oraz oglądanie obrazów lentikularnych polecamy jako metody sprawdzone w geologii i geomorfologii (ryc. 2\*, 3\*\*).

### Podsumowanie

Z **geologicznego** punktu widzenia wizualizacja zdaje się być jednym z kluczowych zagadnień zarówno metodyki badawczej, jak i sposobu prezentacji wyników opracowań.

Do tej pory modelem form i obiektów geologicznych była mapa, której najważniejszymi elementami są dobry rysunek intersekcyjny i rozmieszczenie elementów przestrzennych na arkuszu mapy. Przedstawienie mapy w przestrzeni 2,5D daje nowe możliwości w dziedzinie badań geologicznych i pozwala na stworzenie cyfrowego modelu budowy geologicznej. Częścią takich działań jest wykonywana numerycznie *Szczegółowa mapa geologiczna Polski*.

Wprowadzenie do geologicznej kartografii powierzchniowej numerycznego modelu terenu (NMR, NMP) służącego wizualizacji budowy geologicznej pozwoli na opracowanie nowych technik badawczych w geologii. Cyfrowe modele posłużą jako inspiracje do tworzenia hipotez roboczych i syntezy budowy geologicznej. Pozwolą także na pełniejsze powiązanie budowy geologicznej z elementami morfostrukturalnymi i geośrodowiskowymi oraz na stosowanie konwencji przenikania przestrzennego formacji skalnych.

Pojawiający się problem reambulacji (aktualizacji, ponownego wykonania) map geologicznych daje szansę na wzbogacenie ich treści o elementy uczytelnionej rzeźby

terenu i form użytkowania terenu w postaci łączenia obrazu budowy geologicznej z modelem numerycznym oraz z obrazami satelitarnymi. Możliwe jest wykorzystanie dostępnych produktów SRTM, w postaci NMT i samych obrazów radarowych, również z innymi obrazowaniami satelitarnymi, jak Landsat czy SPOT. Dane SRTM do celów geologicznych i geomorfologicznych należy stosować w ograniczonym stopniu, mając na uwadze fakt, iż udostępniony produkt jest nie tyle numerycznym modelem rzeźby terenu, co numerycznym modelem pokrycia terenu.

Nowoczesne metody cyfrowego opracowania mapy geologicznej Polski oraz numerycznego przetwarzania obrazów dają nowe możliwości wykorzystania technik wizualizacji w geologii, gdyż tworzą podstawy do pozyskiwania informacji z modeli (NMR, NMP, DTED, itp.). Metody cyfrowego przetwarzania modeli budowy geologicznej dają wielowymiarowe i wieloaspektowe możliwości badawcze, których celem jest ułatwienie zrozumienia oraz rozwiązywania problemów tektonicznych i innych.

Modele budowy geologicznej osadzone na modelu powierzchni terenu prezentują zmienność litologiczną, strukturalną i stratygraficzną formacji geologicznych. Są także doskonałym materiałem wyjściowym do badań geomorfologii strukturalnej, a w konsekwencji badań krajo- brazowych, oraz w planowaniu przestrzennym i zagospodarowaniu powierzchni terenu (ryc. 4\*\*, 5\*\*). Dodatkowo nadają mapom większej plastyczności i przejrzystości, co współcześnie, w dobie wszechobecnej grafiki 3D, wspomaga nie tylko realizację zadań demonstracyjnych, ale także dydaktycznych. Cyfrowa prezentacja danych geologicznych pozwala na łatwe przedstawienie różnorodnych wskaźników statystycznych, takich jak powierzchnia, rzeczywiste odległości, ilość, częstość, frekwencja, spadek, oświetlenie. Pełne wykorzystanie modeli NMR, NMP, DTED itp. w wizualizacji budowy geologicznej jest rozwijane i ściśle związane z dostępnymi informacjami geologicznymi zawartymi w otwartych bazach danych. Informacje te w coraz szerszym stopniu pozwalają na tworzenie dowolnych map tematycznych wizualizowanych w jednym z dostępnych numerycznych modeli powierzchni terenu, ostatnio również już przez Internet, np.:

- <http://earth.google.com/>
- <http://www.pgi.gov.pl/3d/>
- <http://silvermagma.eps.jhu.edu/>

Opracowanie naukowe i druk okularów anaglifowych sfinansowano ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego 4 T12B 046 27

### Literatura

- APEL M. 2006 — From 3D geomodelling systems towards 3D geoscience information systems: Data model, query functionality, & data management. *Comput. Geosci.*, 32 (2): 222–229.
- ARENS C., STOTER J. & OOSTEROM P. 2005 — Modelling 3D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive. *Comput. Geosci.*, 31: 165–177.
- BADURA J. & PRZYBYLSKI B. 2005 — Application of digital elevation models to geological & geomorphological studies - some examples. *Prz. Geol.*, 53: 977–983.
- CHYBIORZ R. & NITA J. 1999 — Model przestrzenny wybranych elementów środowiska przyrodniczego na podstawie map numerycznych i interpretacji zdjęć lotniczych. *Prz. Geol.*, 47: 231–232.
- CLARK C.D. 1997 — Reconstructing the evolutionary dynamics of former ice sheets using multi-temporal evidence, remote sensing and GIS. *Quater. Sci. Rev.*, 16: 1067–1092.
- CLARK C.D., EVANS D. J.A., KHATWA A., BRADWELL T., JORDAN C. J., MARSH S. H., MITCHELLWA. & BATEMAN M. D.

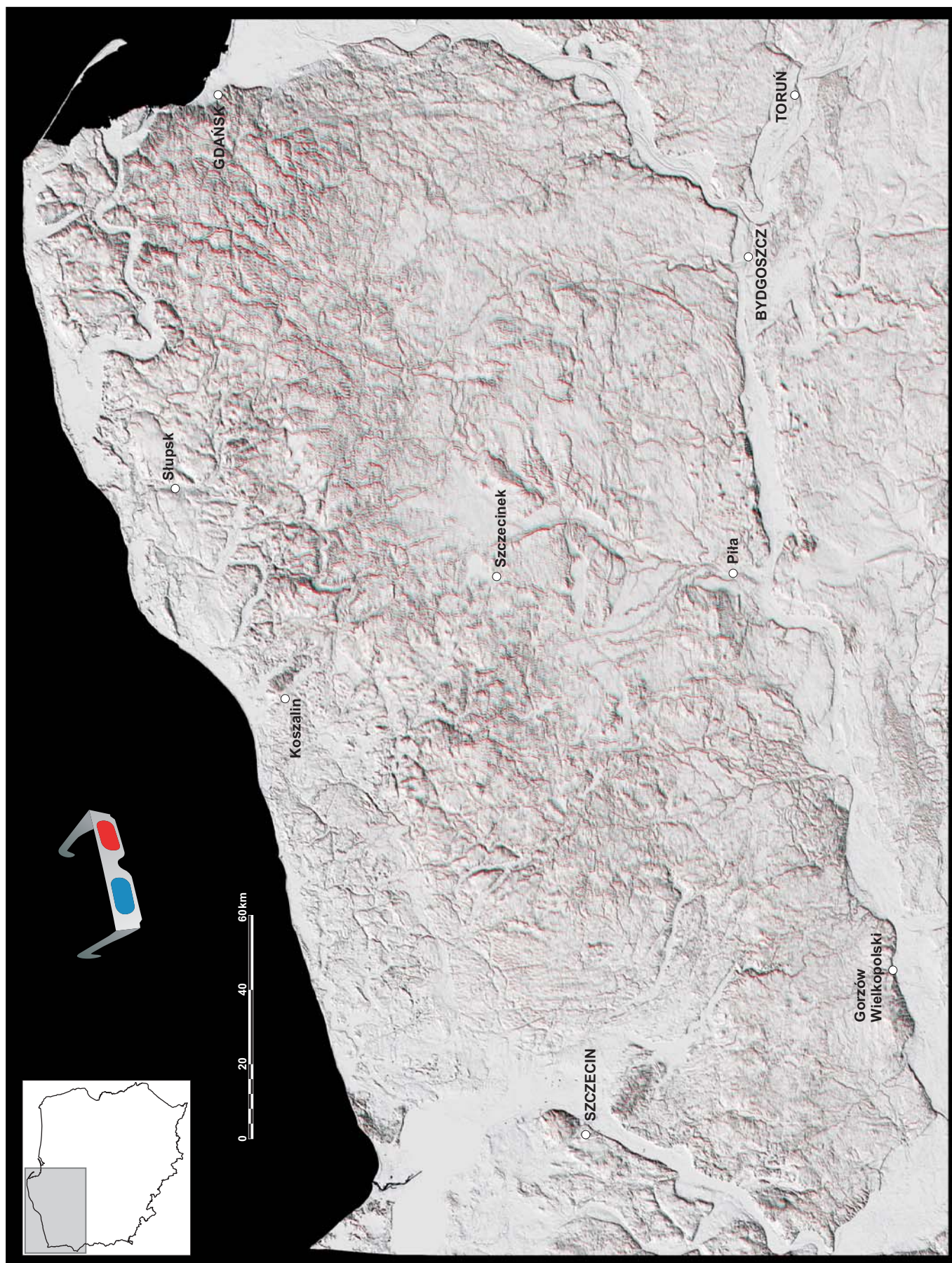
\*ryc. 2 patrz str. 519, ryc. 3, 4 i 5 patrz str. 520

- 2004 — Map and GIS of glacial landforms and features related to the last British Ice Sheet. *Boreas*, 33: 359–375.
- DIKAU R. 1989 — The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. [In:] Raper J. (ed.) *Three Dimensional Application in Geographic Information Systems*. Taylor & Francis, London: 51–77.
- FLORINSKY I. V. 1998 — Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigations. *Prog. Phys. Geogr.*, 22, 1: 33–60.
- GAŹDZICKI J. 1990 — Systemy Informacji Przestrzennej. PPWK, Warszawa-Wrocław.
- GOTLIB D., IWANIAK A. & OLSZEWSKI R. 2006 — Budowa krajowej infrastruktury danych przestrzennych w Polsce — harmonizacja baz danych referencyjnych. Akademia Rolnicza, Wrocław: 1–125.
- GOTLIB D. & OLSZEWSKI R. 2006 — Co z trzecim wymiarem? O modelowaniu rzeźby terenu w referencyjnych bazach danych, *Geodeta* 4: 31–34.
- <http://earth.google.com/>  
<http://silvermagma.eps.jhu.edu/>  
<http://www.pgi.gov.pl/3d/>  
<http://www.ptip.org.pl>
- IRVIN B.J., VENTURA S.J. & SLATER B.K. 1997 — Fuzzy and iso-data classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin. *Geoderma*, 77: 137–154.
- KOCYŁA J. 1997 — Wizualizacja, metodyka i propozycje wykorzystania numerycznego modelu terenu w geologii na przykładzie modelu przestrzennego fragmentu doliny Warty. *Prz. Geol.*, 45: 211–214.
- KOCYŁA J. & RUMIŃSKI J. 2004 — Wyspa Wolin. Mapa geologiczno-turystyczna w skali 1:50 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- KRAAK M.J. & ORMELING F. 1998 — Kartografia. Wizualizacja danych przestrzennych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- KURCZYŃSKI Z. & PREUSS R. 2000 — Podstawy fotogrametrii, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- MAGNUSZEWSKI A. 1999 — GIS w geografii fizycznej. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MAŁOLEPSZY Z. 2003 — Wielowymiarowa kartografia geologiczna. *Tech. Poszuk. Geol.*, 6: 39–42.
- MAŁOLEPSZY Z. 2005 — Three-dimensional geological maps [In:] Ostaficzuk S. (ed.) *The Current Role of Geological Mapping in Geosciences*. Springer, NATO Science Series, IV/56: 215–225.
- MAŁOLEPSZY Z., PERSKI Z. & HELIASZ Z. 1997 — Test systemu GPS (Global Positioning System) w powierzchniowym kartowaniu geologicznym. *Prz. Geol.*, 45: 967–973.
- MARKS L., BER A., GOGOŁEK W. & PIOTROWSKA K. (red.), 2006 — Mapa geologiczna Polski w skali 1:500 000. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MICHALAK J. 2000 — Geomatyka (geoinformatyka) — czy nowa dyscyplina?. *Prz. Geol.*, 48: 673–678.
- NITA J. 2002 — Wykorzystanie modeli numerycznych powierzchni terenu i zdjęć lotniczych w ocenie form morfologicznych dla potrzeb waloryzacji krajobrazu. *Arch. Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 12 a: 275–281.
- NITA J. & GIĘTKOWSKI T. 2007 — Możliwości wykorzystania Numerycznych Modeli Powierzchni w planowaniu przestrzennym i ochronie środowiska przyrodniczego [W:] *Problemy Ekologii Krajobrazu*, tom XIX, Kistowski M. & Korwel-Lejkowska B. (red.) Waloryzacja środowiska przyrodniczego w planowaniu przestrzennym. Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu i Uniwersytet Gdański, Warszawa-Gdańsk: 279–286.
- NITA J. & MAŁOLEPSZY Z. 2004 — Metody usprawnienia wizualizacji i interpretacji powierzchniowej budowy geologicznej. *Tech. Poszuk. Geol.*, 227: 39–44.
- NITA J. & MYGA-PIĄTEK U. 2005a — Przykład zastosowania technik komputerowych do waloryzacji i ochrony krajobrazów Wyżyny Częstochowskiej. *Prz. Geogr.*, 77: 325–341.
- NITA J. & MYGA-PIĄTEK U. 2005b — Computer analysis of landscape changes in the Częstochowa Upland. [In:] Kereković D. (ed.) *Geographical Information Systems in Research and Practice*. Hrvatski Informaticeskij Zbor, Zagreb: 349–355.
- OLDAK A. 1994 — Zastosowanie systemów informacji geograficznej do analizy wybranych cech środowisk przyrodniczych. *Prz. Geogr.*, 39, 1: 41–53.
- OSTAFICZUK S. 1980 — Fotogeologia. Wyd. Geol., Warszawa.
- OSTAFICZUK S. 2003 — Znaczenie wysokościowego numerycznego modelu terenu w kartografii geologicznej. *Tech. Poszuk. Geol.*, 224: 53–58.
- OSTAFICZUK S. 2005a — The concept of new generation geological maps. [In:] Ostaficzuk S. (ed.) *The Current Role of Geological Mapping in Geosciences*. Springer, NATO Science Series, IV/56: 69–88.
- OSTAFICZUK S. 2005b — New base-map for geological mapping - the DEM. [In:] Ostaficzuk S. (ed.) *The Current Role of Geological Mapping in Geosciences*. Springer, NATO Science Series, IV/56: 89–97.
- PERSKI Z. 2005 — Application of SAR imagery and SAR interferometry in digital geological cartography. [In:] Ostaficzuk S. (ed.) *The Current Role of Geological Mapping in Geosciences*. Springer, NATO Science Series, IV/56: 225–245.
- ROSENTAU A., HANG T. & MIIDEL A. 2004 — Simulation of the shorelines of glacial Lake Peipsi in Eastern Estonia during the Late Weichselian. *Geol. Quart.*, 48, 4: 299–307.
- RUBINOWICZ J. 2005 — Magia trzeciego wymiaru. [W:] 3DMASTERKIT — zestaw do o samodzielnego wykonywania, obróbki komputerowej i oglądania obrazów trójwymiarowych. Nowe Media.
- SAMBRIDGE M., BRAUN J. & MCQUEEN H. 1995 — Geophysical parametrization and interpolation of irregular data using natural neighbours. *Geophys. J. Int.*, 122, 3: 837–857.
- SCHMIDT J. & HEWITT A. 2004 — Fuzzy land element classification from DTMs on geometry and terrain position. *Geoderma*, 121: 243–256.
- SPRAGUE K., DE KEMPE E., WONG W., MCGAUGHEY J., PERRON G. & BARRIE T. 2006 — From 3D geomodelling systems towards 3D geoscience information systems: Data model, query functionality, and data management. *Comput. Geosci.*, 32, 2: 222–229.
- WU Q., XU H. & ZOU X. 2005 — An effective method for 3D geological modeling with multi-source data integration. *Comput. Geosci.*, 31: 35–43.

Praca wpłynęła do redakcji 4.10.2006 r.  
Akceptacja do druku 12.4.2007 r.

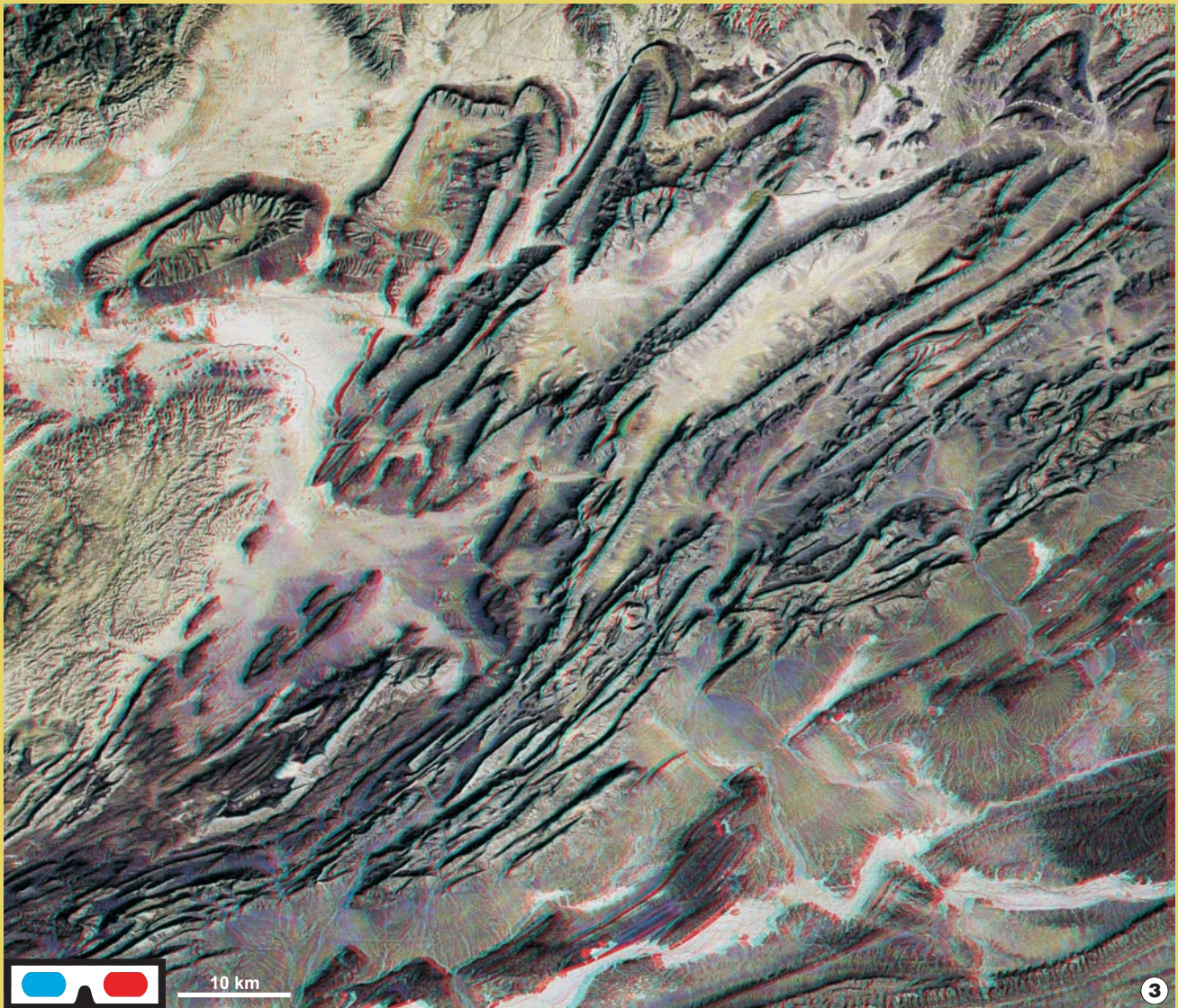


**Zastosowanie numerycznego modelu terenu do wizualizacji rzeźby terenu i interpretacji budowy geologicznej (patrz str. 511)**



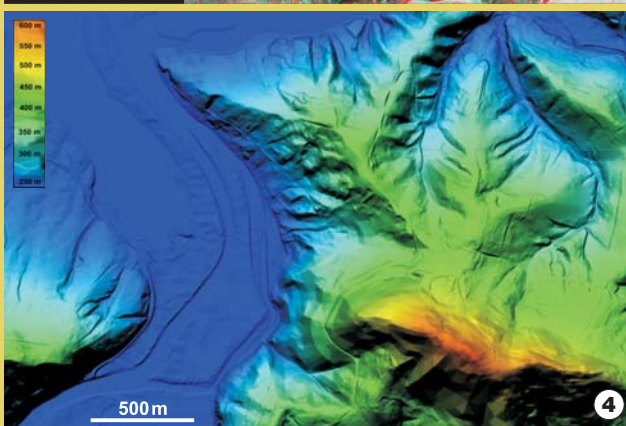
**Ryc. 2.** Stereoskopowa mapa (anaglif) ukształtowania powierzchni terenu północno-zachodniej Polski (model terenu DTED poziom 2). Koncepcja i opracowanie Z. Małolepszy

**Fig. 2.** Stereoscopic map of elevation of NE Poland presented as an anaglyph (terrain model DTED level 2). By Z. Małolepszy



**Ryc. 3.** Obraz anaglifowy obszaru waryscyjskich fałdowań w SW Antyatlase w rejonie Tarhijcht, S Maroko (oprac. Z. Małolepszy, dane źródłowe Landsat 7 i SRTM-3)

**Fig. 3.** Anaglyph image of Variscan folds in Tarhijcht area, S Morocco (compiled by Z. Małolepszy, data source: Landsat 7 and SRTM-3)



**Ryc. 4.** Numeryczny model terenu (NMT) wykonany na potrzeby analizy procesów osuwiskowych w S części Pogórza Rożnowskiego. Z lewej strony dolina Dunajca i początek Jeziora Rożnowskiego, w środku Góra Dąbrowska (581,2 m n.p.m.)\*

**Fig. 4.** Digital Terrain Model (DTM) generated for analysis of landslide processes in the southern part of the Rożnowskie Highlands. From the left: the Dunajec valley and part of the Rożnowskie Lake, centrally located is Mount Dąbrowska (581.2 m a.s.l.)\*



**Ryc. 5.** Ortofotomapa miejscowości Zbyszyce-Wola Kurowska z 1997 r., nałożona na NMT, z wyinterpretowanym niskim poziomem wód w Jeziorze Rożnowskim\*

**Fig. 5.** Orthophotomap of the village of Zbyszyce-Wola Kurowska as of 1997, superimposed on DTM, with interpretation of the lower water level of Lake Rożnowskie\*

\*Dane do ryc. 4 i 5: model  $\Delta x = 5\text{ m}$ ,  $\Delta y = 5\text{ m}$  na podstawie ortofotomapy oraz map topograficznych w skali 1 : 1000, dane z 2003 r.; ortofotomapa z 1997 r., Urząd Marszałkowski Województwa Małopolskiego (oprac. J. Nita)

\*Data used in Figs. 3 & 4: DTM  $\Delta x = 5\text{ m}$ ,  $\Delta y = 5\text{ m}$  based on the orthophotomap and 1:1000 scale topographic maps, data as of 2003, orthophotomap (1997) after the Marshal's Office of the Małopolska Province (compiled by J. Nita)