

Infrastruktura danych przestrzennych inaczej, cz. VI
Modelowanie rzeźby terenu w referencyjnych bazach danych

CO Z TRZECIM WYMIAREM?

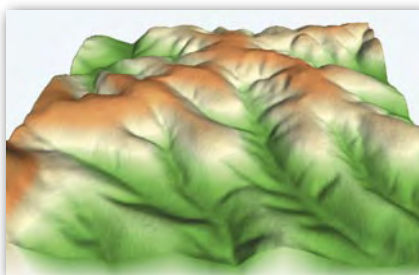
W państwowym zasobie geodezyjno-kartograficznym – zarówno cywilnym, jak i wojskowym – zgromadzono terabajty danych wysokościowych będących istotnym elementem SDI. Wystarczy je tylko umiejętnie przetworzyć. I udostępnić, rzecz jasna.

DARIUSZ GOTLIB,
ROBERT OLSZEWSKI

Problem modelowania rzeźby terenu został już w 1866 r. zdefiniowany przez niemieckiego kartografa E. Sydowa jako jedno z kluczowych wyzwań kartografii (obok zagadnienia generalizacji i teorii odwzorowań) i z upływem czasu zyskał jedynie na ważności. Trudno dziś wyobrazić sobie mapę topograficzną bez rysunku warstwicowego czy dobrą mapę turystyczną bez cieniowania podkreślającego strukturę rzeźby terenu. Ale przede wszystkim nie sposób wyobrazić sobie bazy danych topograficznych pozbawionej modelu rzeźby terenu. Celem tej bazy jest zasilanie systemów informacji geograficznej (GIS) umożliwiających prowadzenie złożonych analiz przestrzennych. Czy można projektować przebieg autostrady, nie uwzględniając deniwelacji? Czy można planować lokalizację masztów telefonii komórkowej, ignorując dane wysokościowe? Odpowiedź jest oczywista, pytanie brzmi zatem nie „czy”, lecz „jak” należy modelować rzeźbę terenu w bazie danych topograficznych.

• ŹRÓDŁA DANYCH WYSOKOŚCIOWYCH

Cyfrowy zapis danych wysokościowych może mieć np. postać pozyskanego z map rysunku warstwicowego, numerycznego modelu terenu (NMT) za-



1. Model DTED 2 w ujęciu perspektywicznym

pisanego w formacie nieregularnym TIN lub regularnym GRID o określonej rozdzielczości przestrzennej. Dane źródłowe można zebrać z pomiarów bezpośrednich i fotogrametrycznych, skaningu laserowego, pomiarów interferometrycznych z pułapu satelitarnego czy też wektoryzacji istniejących map. Należy także określić wymaganą dokładność danych wysokościowych, która jest funkcją oczekiwań użytkowników. Niebagatelne znaczenie ma również kwestia kosztów uzyskania produktu o określonej jakości. Ostatnie, lecz zdaniem autorów najważniejsze, pytanie brzmi: jak zdefiniować tę „określoną jakość”? Czy dla obszaru całego kraju niezbędny jest bardzo precyzyjny, np. jednometrowy model terenu, czy też może – analogicznie do koncepcji wieloreprezentacyjnej bazy danych wektorowych (GEODETA 3/2006) należy dążyć do budowy NMT o dwóch poziomach uogólnienia? Realizacja obu tych wizji pozwoliłaby na opracowanie w relatywnie krótkim czasie referencyjnej bazy da-

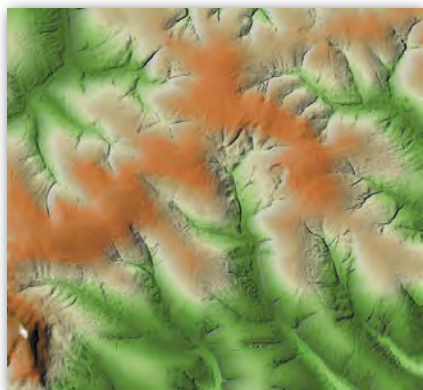


2. Numeryczny model nachyleń opracowany na podstawie modelu DTED 2

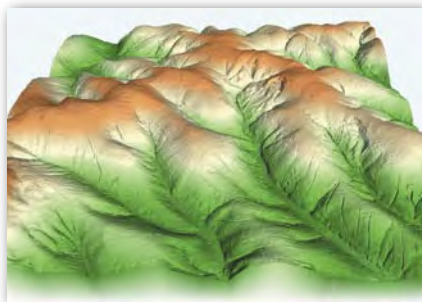
nych topograficznych typu MRDB (*multirepresentation database*) zawierającej spójne pojęciowo dane topograficzne dla obszaru całego kraju. W przypadku numerycznego modelu terenu jest to o ty-

3. Lasy i rzeki dla analizowanego obszaru

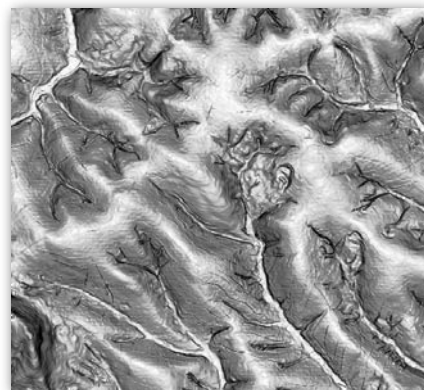




4. Model LPIS



5. Model LPIS w ujęciu perspektywicznym



6. Numeryczny model nachyleń opracowany na podstawie modelu LPIS

le łatwiejsze, że model ten... de facto już istnieje. Należy go tylko umiejętnie przetworzyć i udostępnić.

Rozważmy zatem na wstępie, jakie dane wysokościowe zostały zgromadzone w państwowym zasobie geodezyjno-kartograficznym. W ciągu ostatnich kilku lat powstało kilka opracowań gromadzących cyfrowe dane referencyjne: Baza Danych Ogólnogeograficznych (BDO), baza VMap poziomu drugiego (VMapa L2) oraz Baza Danych Topograficznych (TBD). Istotnym komponentem każdej z nich jest informacja wysokościowa zapisana w formie cyfrowej – numeryczny model terenu lub rysunek poziomicowy. NMT był także przedmiotem opracowania wielu innych projektów realizowanych w Polsce w ostatnich latach. Dla oceny przydatności poszczególnych baz danych wysokościowych istotna jest zarówno kompletność danych (stopień pokrycia powierzchni kraju), jak i ich format. Inna jest wartość użytkowa zachowującego relacje topologiczne modelu trójkątowego TIN, inna zaś prostego modelu regularnego (GRID).

• BAZY DANYCH ZAWIERAJĄCE NMT TYPU GRID

• **BDO** – jej komponentem jest numeryczny model terenu zapisany w formacie regularnym o stosunkowo małej rozdzielczości przestrzennej. Model ten powstał poprzez konwersję wojskowych danych DTED (*digital terrain elevation data*) poziomu pierwszego. Model DTED 1 został opracowany na podstawie wektoryzacji map analogowych w skali 1:200 000.

• **DTED 2** – model opracowany poprzez wektoryzację diapozytywów wojskowych map topograficznych w skali 1:50 000. NMT w standardzie DTED 2 wykorzystywany jest przede wszystkim w jednostkach topograficznych Wojska Polskiego. Dokładność modelu DTED

terenu zależy głównie od rodzaju i dokładności materiału źródłowego zastosowanego do jego wytworzenia. Zgodnie z NATO-wskim porozumieniem standaryzacyjnym STANAG 2215 – *Evaluation of Land Maps, Aeronautical Charts and Digital Topographic Data* teoretyczne wielkości błędów NMT nie powinny przekraczać:

Absolutna dokładność	DTED 1	DTED 2
pozioma	± 50 m	± 30 m
pionowa	± 30 m	± 20 m

Opracowana w latach 90. baza wysokościowa DTED 2 wymaga aktualizacji. Do aktualizacji tego modelu rozważano wykorzystanie danych SRTM.

• **SRTM** – od 2003 r. dla obszaru Polski dostępny jest także NMT opracowany w ramach interferometrycznej misji kosmicznej SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Dane udostępniane są w dwóch wersjach: SRTM-1 o pełnej rozdzielczości, tj. $\Delta\phi = \Delta\lambda = 1''$, i SRTM-3 o rozdzielczości liniowo trzykrotnie mniejszej, czyli o module $\Delta\phi = \Delta\lambda = 3''$. Dane SRTM-3 dla obszaru Europy, w tym także Polski, są dostępne pod adresem internetowym: <ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/Eurasia/>.

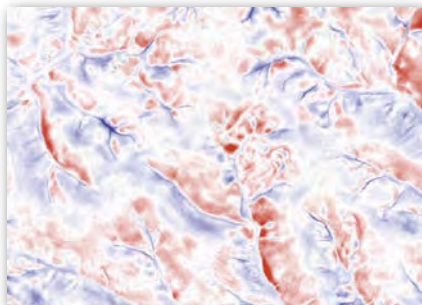
Analizując użyteczność danych SRTM, należy zwrócić uwagę, iż udostępniony produkt jest nie tyle numerycznym mo-

delem rzeźby terenu, co numerycznym modelem pokrycia terenu. Różnica ta uwidacznia się zwłaszcza dla obszarów o zwartej zabudowie miejskiej i gęstej pokrywie roślinnej. Jest to dobrze widoczne na rys. 7, 8, 12 i 13 pokazujących różnice wysokości pomiędzy precyzyjnym modelem LPIS i modelami rastrowymi DTED 2 i SRTM. Dla obszarów leśnych różnica wysokości ($NMT_{LPIS} - NMT_{SRTM}$) jest istotnie skorelowana przestrzennie z występowaniem lasów w odróżnieniu od wykazującej losowy rozkład błędów różnicy ($NMT_{LPIS} - NMT_{DTED}$). Odrębny problem stanowi odbicie sygnału radarowego od powierzchni wody. W obecnie udostępnionych danych „surowych” dla wielu komórek brak jest danych (wartość -32768). Efekt ten jest szczególnie widoczny w strefach linii brzegowych.

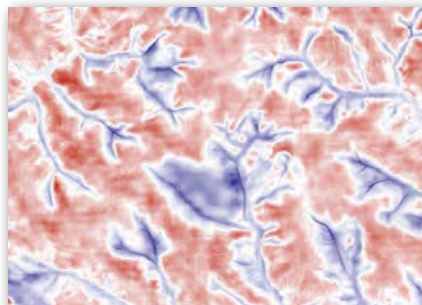
• BAZY DANYCH ZAWIERAJĄCE NMT W POSTACI TIN

• **TBD** – w Bazie Danych Topograficznych (obejmującej obecnie obszar około 5% powierzchni kraju, odpowiadający blisko 1000 arkuszom mapy 1:10 000) NMT ($m_s = 1$ m) opracowywany jest jako wydzielony komponent. Model ten powstaje na podstawie opracowań fotogra-

7. Różnica wysokości pomiędzy modelami LPIS i DTED 2



8. Różnica wysokości pomiędzy modelami LPIS i SRTM



-15 m

0

15 m

metrycznych lub (na obszarach o zwartej pokrywie roślinnej) na podstawie danych z map topograficznych w skali 1:10 000.

● **LPIS** – w ramach opracowania bazy danych Systemu Identyfikacji Działek Rolnych (LPIS) z wykorzystaniem zdjęć lotniczych opracowywany jest dla obszaru całego kraju NMT o parametrach jakościowych nieco gorszych ($m_s = 1,5$ m) od analogicznego komponentu TBD.

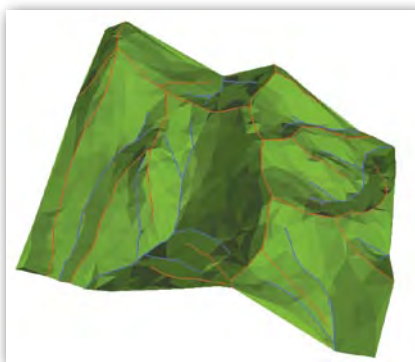
● **SMOK** – dla znacznych obszarów południowej Polski (ok. 11% powierzchni kraju – 1747 arkuszy mapy 1:10 000) został opracowany wysokiej jakości NMT ($m_s = 0,8$ m) w ramach budowy systemów osłony powodziowej SMOK (System Monitorowania i Osłony Kraju).

● RYSUNEK RZĘŻBY W VMapie L2

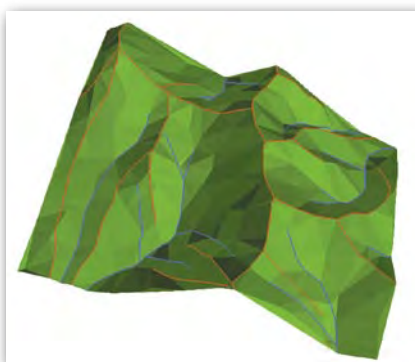
Osobne zagadnienie stanowi kwestia modelowania rzeźby terenu w bazie VMapy L2. W bazie tej rzeźba terenu przedstawiana jest wyłącznie w postaci rysunku warstwic, skarp, nasypów i innych form terenowych. Dane o rzeźbie terenu pozyskiwane były na drodze wektoryzacji wojskowych map topograficznych w skali 1:50 000 (tych samych, na podstawie których opracowywany był, jednak całkowicie niezależnie od cyklu VMapy L2, numeryczny model terenu DTED 2).

● MOŻLIWOŚCI ISTNIEJĄCYCH BAZ DANYCH WYSOKOŚCIOWYCH

Przeprowadzone przez autorów analizy danych wysokościowych zgromadzonych w państwowym zasobie geodezyjno-kartograficznym wskazują, że istniejące zbiory posiadają ogromny – i w znacznej mierze niewykorzystany – potencjał. Dokładność i jakość modeli typu TIN (na rysunkach model opracowany w ramach projektu LPIS) w stosunku do modeli GRID-owych (na rysunkach DTED 2 i SRTM) jest oczywista. Dotyczy to nie tylko określania wysokości w poszczególnych punktach, lecz także np. nachylenia – rys. 2, 6 i 19 czy ekspozy-



9. Generalizacja NMT typu TIN (etap 1)



10. Generalizacja NMT typu TIN (etap 2)



11. Generalizacja NMT typu TIN (etap 3)

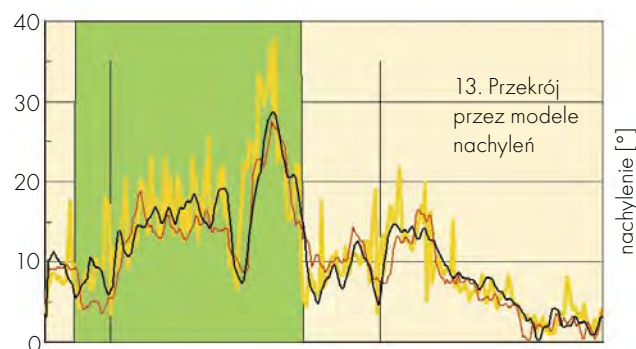
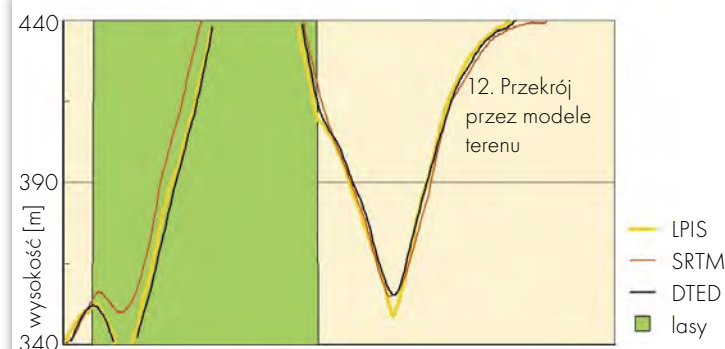
cji. Wykorzystanie dostępnych danych może zatem nie tylko znacząco ułatwić proces budowy SDI w Polsce, lecz także umożliwić aktualizację istniejących baz danych. Poniżej przedstawiono jedynie przykłady możliwych zastosowań NMT

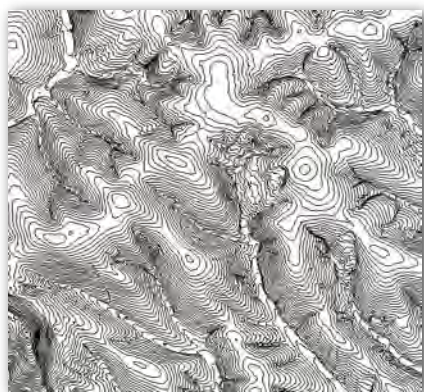
opracowanego w ramach projektów TBD, LPIS i SMOK:

● Planowana aktualizacja wojskowej bazy danych wysokościowych DTED 2 może być zrealizowana praktycznie bez kosztów – metodą automatycznej konwersji modelu TIN opracowanego w ramach programu LPIS oraz (dla wybranych obszarów) TBD i SMOK,

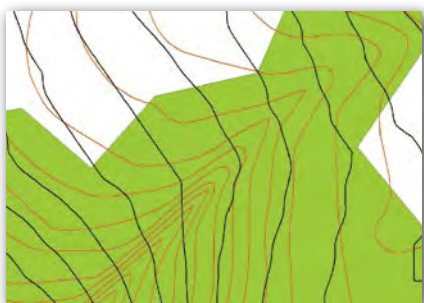
● Warto rozważyć wykorzystanie istniejących danych wysokościowych do projektowanej aktualizacji bazy VMapy L2. Zakłada ona unaczęśnienie treści sytuacyjnej na podstawie opracowań fotogrametrycznych. Koncepcja ta powoduje jednak powstanie istotnych rozbieżności pomiędzy treścią topograficzną (przede wszystkim rysunkiem warstwicowym rzeźby terenu) a sytuacyjną. Aktualizacja przebiegu cieków na podstawie ortofotomapy opracowanej ze zdjęć 1:26 000 sprawi, iż kształt linii strukturalnych terenu nie będzie zgodny z rysunkiem warstwicowym. Istotna wydaje się zatem zarówno aktualizacja rysunku warstwicowego w bazie VMapy L2, jak i aktualizacja wojskowej bazy danych numerycznego modelu terenu – DTED 2 na podstawie danych wysokościowych zgromadzonych w ramach projektu LPIS i TBD. Aktualizacja ta jest zadaniem relatywnie prostym ze względu na dostępność danych LPIS dla obszaru całego kraju,

● Współcześnie powstające modele pojęciowe baz danych topograficznych wykorzystują koncepcję tzw. baz wielorozdzielczych i wieloskalowych (MRDB). Podejście to pozwala na modelowanie w jednej, spójnej pojęciowo bazie danych przestrzennych, obiektów topograficznych o różnym poziomie uogólnienia i dokładności geometrycznej. Istniejące opracowania koncentrują się jednak z reguły na „wieloskalowym” lub „wielorozdzielczym” modelowaniu treści sytuacyjnej. Opracowanie i wdrożenie tego typu metodyki dla potrzeb modelowania rzeźby terenu pozwoliłoby na wdrożenie





14. Warstwie wygenerowane z modelu LPIS



15. Warstwie wygenerowane z modelu LPIS oraz SRTM



16. Warstwie z bazy VMap L2

spójnej koncepcji wielorozdzielczej bazy danych topograficznych. Podejście to pozwala na opracowanie numerycznego modelu rzeźby terenu na dwóch lub więcej poziomach uogólnienia, w sposób pozwalający na operowanie na modelu jako jednej całości. Otwiera także szersze możliwości w zakresie utrzymania więzów integralności przestrzennej pomiędzy modelem rzeźby terenu oraz obiektami występującymi w terenie (przede wszystkim siecią rzeczna – ciekami płynące dolinami, a nie zboczami). Odpowiednie modelowanie relacji przestrzennych pomiędzy elementami modelu rzeźby terenu a treścią sytuacyjną pozwoli inaczej spojrzeć na proces generalizacji rzeźby terenu, rozumianej jako zachowujące relacje topologiczne uogólnianie modelu rzeźby

realizowane poprzez generalizację linii strukturalnych i form terenu (rys. 9, 10, 11), nie zaś „klasyczną” generalizację rozumianą jako uproszczenie rysunku poziomicowego.

● PODSUMOWANIE

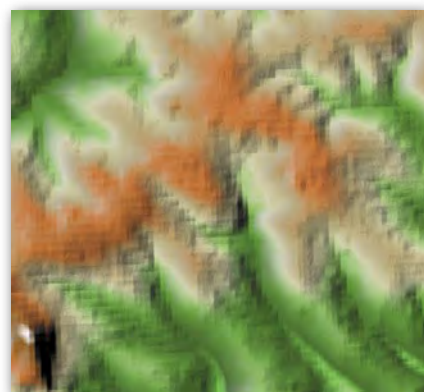
Uwzględniając światowe tendencje w zakresie budowy baz danych topograficznych (wieloskalowych typu MRDB), a także znaczne koszty poniesione w trakcie realizacji projektów TBD, LPIS, SMOK i VMapy, autorzy proponują:

- Rozważenie opracowania NMT w ramach TBD na dwóch poziomach uogólnienia. Opracowanie wielorozdzielczego komponentu NMT powinno uwzględniać zróżnicowanie morfometryczne kraju oraz być w pełni zgodne z koncepcją wieloskalowej Bazy Danych Topograficznych. Oznacza to, że przy definiowaniu modelu pojęciowego TBD należy uwzględnić zachowanie więzów integralności przestrzennej pomiędzy poszczególnymi klasami obiektów (np. liniami strukturalnymi rzeźby terenu i siecią rzeczną). Komponent NMT w TBD należy opracować jako ciągłą, wektorową bazę danych zawierającą dane pomiarowe. Modele typu TIN o określonej dokładności czy GRID o określonej rozdzielczości byłyby generowane wyłącznie na życzenie konkretnego użytkownika.

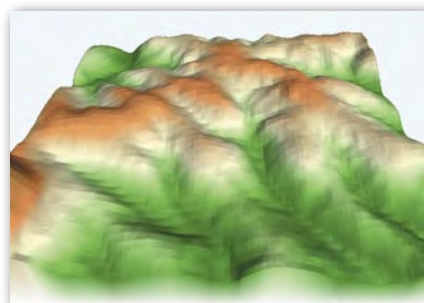
- Dla obszaru całego kraju (również terenów leśnych) przy opracowaniu komponentu NMT należy pozyskiwać linie strukturalne rzeźby terenu metodą fotogrametryczną lub (gdy nie jest to możliwe) poprzez interpretację i wektoryzację mapy topograficznej w odpowiedniej skali. Pozwoli to na zapisywanie i utrzymywanie w bazie danych więzów integralności przestrzennej pomiędzy poszczególnymi klasami obiektów.

- Wykorzystanie danych wysokościowych zgromadzonych w ramach projektu LPIS do opracowania komponentu NMT w TBD na drugim poziomie uogólnienia, a także wykorzystanie danych zgromadzonych w ramach projektów osłony powodziowej (SMOK) do budowy komponentu NMT bazy TBD na pierwszym poziomie uogólnienia.

Dane zgromadzone w państwowym zasobie mają ogromną wartość rynkową i mogą być po odpowiednim przetworzeniu wykorzystywane i udostępniane komercyjnie. Szczególne znaczenie ma przy tym racjonalne wykorzystanie danych wysokościowych opracowanych w ramach projektu LPIS i ich umiejętne po-



17. Model SRTM



18. Model SRTM w ujęciu perspektywicznym



19. Numeryczny model nachyleń opracowany na podstawie modelu SRTM

łączenie z bazami TBD, BDO, DTED oraz bazami tworzonymi w ramach projektu osłony powodziowej. Połączenie rozumiane przede wszystkim jako rozpoczęcie uzgodnień pomiędzy dysponentami i projektantami tych baz prowadzące do harmonizacji terminarzy ich opracowania oraz maksymalnego wzajemnego wykorzystania istniejących zasobów. Docelowo wskazane jest uzgodnienie wspólnych podstaw koncepcyjnych ich aktualizacji i rozwoju, np. w kontekście dążenia do realizacji spójnego podstawowego modelu rzeźby terenu dla całego kraju zgodnego z ideą wielorozdzielczych baz danych przestrzennych.

DARIUSZ GOTLIB, ROBERT OLSZEWSKI