

Grzegorz Walek

WYKORZYSTANIE PROGRAMÓW QUANTUM GIS I SAGA GIS DO BUDOWY CYFROWEGO MODELU WYSOKOŚCIOWEGO ZLEWNI GRAJCARKA

W artykule przedstawiono możliwości opracowania cyfrowego modelu wysokościowego (CMW) w formie rastra o rozdzielczości przestrzennej 5 m dla zlewni potoku Grajcarek, której powierzchnia wynosi 85 km². CMW stworzono na podstawie digitalizacji poziomic z mapy topograficznej w skali 1:10 000, z użyciem oprogramowania typu Open-Source GIS – Quantum GIS i SAGA GIS. Opisano procedurę tworzenia modelu, rozpoczynając od wektoryzacji treści mapy topograficznej, przez wybór metody interpolacji, kończąc na preprocessingu, prowadzącym do uzyskania poprawności hydrologicznej modelu. Szczególną uwagę zwrócono na niedoskonałości tworzonego CMW, wynikające z zastosowania różnych metod interpolacji. Pomimo iż budowa CMW zgodnie z opisaną procedurą jest bardzo czasochłonna, to stanowi często jedyną możliwość pozyskania dokładnego modelu wysokościowego małych zlewni lub innych jednostek przestrzennych, który umożliwiałby przeprowadzanie szczegółowych analiz hydrologicznych, geomorfologicznych lub innych interpretacji.

Słowa kluczowe: *cyfrowy model wysokościowy, numeryczny model terenu, zlewnia Grajcarka, Quantum GIS, SAGA GIS*

1. Stan wiedzy

We współczesnym środowisku naukowym operującym technikami GIS wzrasta świadomość potencjału wykorzystania cyfrowych modeli wysokościowych¹ (CMW) zarówno w badaniach związanych z geografą fizyczną, jak i społeczno-ekonomiczną (np. Jensen, Cowen 1999, Vassilopoulou, Hurni 2001, Martinez-Vega i in. 2005, Nita i in. 2007, Kurczyński i in. 2007, Tomczyk, Ewertowski 2009, Gudowicz i in. 2010). W związku z różnym zasięgiem przestrzennym tych badań istnieje zapotrzebowanie na modele o zróżnicowanej rozdzielczości, dostosowanej do realizacji konkretnych analiz. W przypadku większości opracowań z geografii społeczno-ekonomicznej oraz opracowań z dziedzin geografii

¹ W niniejszym artykule posłużono się terminologią sprecyzowaną w artykule pt. *O homologiczności polskiej terminologii geoinformacyjnej* (Zwoliński 2010).

fizycznej w skali regionalnej wystarczające są modele o niewielkiej dokładności (SRTM3, ASTER, DTED level 2). Niestety, do badań w skali lokalnej, np. badań procesów hydrologicznych i geomorfologicznych zachodzących w małych zlewniach, o powierzchni nieprzekraczającej do 100 km², dokładność wymienionych CMW jest najczęściej niewystarczająca. W tych przypadkach istnieje konieczność posiadania modelu o dużo wyższej rozdzielczości przestrzennej – o rozmiarach boku piksela 5 m lub mniejszych, dochodzących do skali mikro (Soycan, Soycan 2009, Gudowicz i in. 2010, Tomczyk 2010).

Zestawienie danych wysokościowych dostępnych w tworzeniu i analizie CMW na obszarze Polski przedstawili szczegółowo J. Nita z zespołem (2007). Obecnie w Polsce, wśród danych przestrzennych dostępnych w obrocie komercyjnym, zaznacza się brak dostatecznej ilości dokładnych CMW o wysokiej rozdzielczości, w szczególności pokrywających obszary peryferyjne oraz tereny zalesione (CODGiK 2012). Badacze często stoją przed zadaniem własnoręcznej budowy CMW, który spełniałby ich wymagania. W takich sytuacjach najczęściej stosowaną metodą tworzenia CMW jest interpolacja zwektoryzowanej treści hipsometrycznej z map topograficznych za pomocą oprogramowania GIS.

2. Cel pracy

Celem pracy jest ocena możliwości zastosowania programów Quantum GIS i SAGA GIS w procesie tworzenia cyfrowego modelu wysokościowego w formie rastrowej o rozdzielczości przestrzennej 5 m na podstawie wektoryzacji treści map topograficznych w skali 1:10 000, na potrzeby modelowania obiegu wody w zlewni rzecznej. Przyjęto, iż dokładność treści kartograficznej na mapie w skali 1:10 000, w związku z tzw. dopuszczalnym błędem położenia obiektów na mapie (Urbański 2010), wynosi 0,5 mm, co po przeliczeniu przez skalę daje 5 m w terenie. Można założyć, że CMW w formie rastra powstały w wyniku wektoryzacji i interpolacji treści hipsometrycznej z mapy topograficznej w skali 1:10 000 będzie miał rozdzielczość przestrzenną 5 m (komórka rastra będzie w kształcie kwadratu o rozmiarze 5 x 5 m) i będzie to wielkość metodologicznie poprawna².

² Praktycznie można programowo zwiększyć rozdzielczość każdego CMW, uzyskując większą liczbę pikseli. Na przykład rozdzielczość modelu SRTM3 można sztucznie powiększyć, stosując odpowiednią procedurę próbkowania danych (ang. *resampling*) tak, aby wielkość jednego piksela wynosiła nie 60 x 90 m, a np. 10 x 15 m. Należy jednak pamiętać, że nowo powstałe piksele będą danymi wtórnymi, których wysokości nie muszą odpowiadać rzeczywistości. Według C.H. Grohmana (2006) taki CMW będzie niejako wygładzonym modelem pierwotnym o spójnych zależnościach kątowych.

Dokonano ewaluacji wyników procedur interpolacyjnych i metod preprocessingu danych dostępnych w wykorzystanych programach. Analizę przeprowadzono na przykładzie zlewni Grajcarka o bardzo urozmaiconej rzeźbie terenu.

3. Dane

W drodze do realizacji postawionego celu badawczego wykorzystano następujące materiały kartograficzne, obejmujące swoim zasięgiem zlewnię potoku Grajcarek o powierzchni 85 km², położoną w południowej części Polski na pograniczu Pienin i Beskidu Sądeckiego: arkusze mapy topograficznej w skali 1:10 000 w układzie PUWG 1965 (obecnie jedyne dostępne mapy w tej skali, pokrywające swoim zasięgiem cały analizowany obszar) oraz arkusze mapy topograficznej Sztabu Generalnego w skali 1:50 000 w układzie PUWG 1942. Mapy w skali 1:10 000 uzyskano z Małopolskiego Wojewódzkiego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, mapy w skali 1:50 000 pozyskano z zasobów Instytutu Geografii UJK.

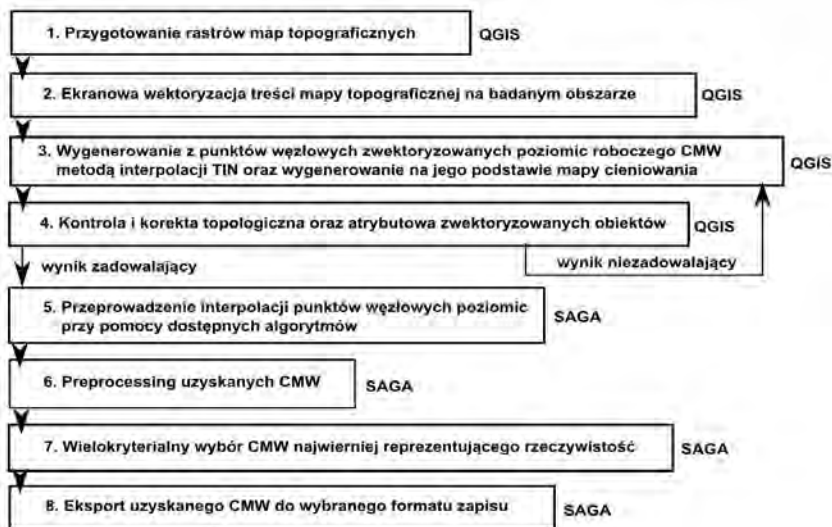
Analityczną część pracy wykonano z wykorzystaniem oprogramowania z grupy tzw. Open-Source GIS. Termin ten definiuje systemy informacji geograficznej o otwartym dostępie do kodu źródłowego, który można modyfikować i udostępniać. Systemy te oparte są najczęściej na otwartej i wolnej licencji (Ramsey 2007). Często jest ona darmowa do zastosowań prywatnych i komercyjnych, ustalana w zależności od polityki deweloperów (Camara, Onsrud 2004). Posłużono się dwoma popularnymi programami z dziedziny Open Source GIS: Quantum GIS (QGIS) v. 1.7.2, dającymi duże możliwości edycji modeli wektorowych, oraz SAGA GIS v. 2.0.8, który stworzono głównie do pracy nad modelami rastrowymi.

4. Metody

W badaniach wykorzystano szereg metod informatycznych dostępnych przy użyciu GIS, w tym metody statystyczne i geostatystyczne metody interpolacji (Thin Plate Spline oraz Kriging). Posłużono się także szeroko definiowaną przez K.A. Saliszczewa (1984) kartograficzną metodą badań. Autor ten stwierdził, iż mapę można zastosować do „(...) opisu, analizy i poznania naukowego zjawisk”.

Schemat postępowania badawczego, prowadzącego do budowy CMW z wykorzystaniem programów QGIS i SAGA GIS, przedstawiono na rysunku 1. Można go podzielić na dwa główne etapy. Pierwszy z nich polega na pracy danymi wektorowymi w programie QGIS w celu zgromadzenia materiałów wejściowych niezbędnych dla realizacji drugiego etapu – interpolacji i preprocessingu danych oraz weryfikacji jakościowej wygenerowanych modeli w pro-

gramie SAGA GIS. W pierwszym etapie przygotowano materiał badawczy w formie wektorowych warstw tematycznych (w formacie shp). Najważniejszą jego częścią była wektoryzacja niezbędnej do stworzenia hydrologicznie poprawnego CMW treści mapy topograficznej (poziomic, cieków wodnych, wcięć drogowych i innych wcięć erozyjnych oraz punktów wysokościowych), równoległa budowa poprawnej struktury tabeli atrybutów warstw wektorowych oraz kontrola topologiczna i atrybutowa zwektoryzowanych obiektów.



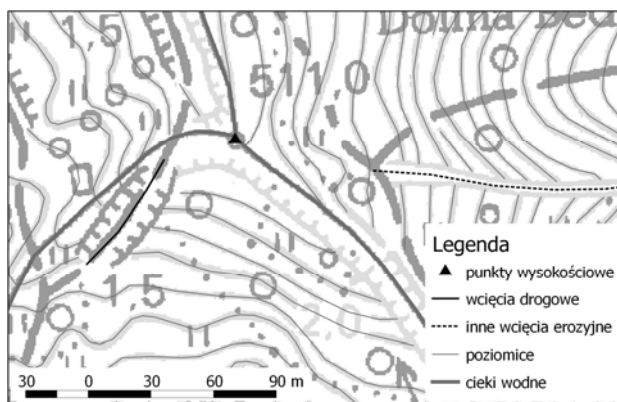
Rys. 1. Schemat postępowania prowadzącego do budowy CMW

Źródło: opracowanie własne

Najbardziej czasochłonną częścią tego etapu, a także całego procesu badawczego, była wektoryzacja treści mapy topograficznej w skali 1:10 000³ na obszarze zlewni Grajcarka i terenów przyległych. Korzystając z polskich map topograficznych w skali 1:10 000, napotkano na problem braku treści kartograficznej na obszarach położonych poza granicami Polski, wzdłuż południowego odcinka działu wodnego zlewni Grajcarka. Do ustalenia przebiegu rysunku poziomicego na tych obszarach posłużyły rastry słowackich map topograficznych w skali 1:10 000, udostępnione na stronie www.geoportal.sk (2012) oraz rastry map topograficznych Sztabu Generalnego w skali 1:50 000, których treść kartograficzna wykracza poza granice Polski.

³ W następstwie znacznego urozmaicenia rzeźby terenu badanej zlewni wektoryzacja 1 km² zajmowała średnio 3–4 godziny zegarowe. Etap ten nie mógłby się odbyć bez zaangażowania studentów geografii UJK na zajęciach modelowania przestrzeni geograficznej, za co autor składa im serdeczne podziękowania.

Wektoryzację treści mapy topograficznej prowadzono tak, aby linie i punkty, powstałe jako wynik wektoryzacji, nie wykraczały swoim zasięgiem poza linie i punkty, narysowane na podkładowej mapie topograficznej (rys. 2). Integralną częścią warstw wektoryzowanych poziomicy i punktów wysokościowych były odpowiednie tabele atrybutów, zawierające (w formacie liczb rzeczywistych, ang. *float*) odczytane z mapy topograficznej informacje o wysokości każdego obiektu z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku. W wielu miejscach na mapie topograficznej zaistniał problem błędnego opisanie rysunku poziomicy lub punktów wysokościowych. W większości przypadków rozwiązano go, analizując stosunki wysokościowe na obszarach przyległych do miejsca wystąpienia problemu. W całej zlewni pojawiło się jednak kilka przypadków, kiedy niemożliwe było przypisanie poprawnej wartości poziomicy ze 100% pewnością, wpisywano więc wartości, które były najbardziej prawdopodobne. W tych miejscach wynikowy CMW został obciążony dodatkowym błędem.



Rys. 2. Przykład wektoryzacji fragmentu mapy topograficznej w skali 1:10 000

Źródło: opracowanie własne

Po zakończonej wektoryzacji treści mapy topograficznej przeprowadzono kontrolę topologiczną i atrybutową obiektów na powstałych warstwach tematycznych. Sprawdzone ciągłość i dokładność lokalizacji obiektów oraz wartości wysokości przypisane poziomicom i punktom wysokościowym. Wartości te skontrolowano wizualnie na roboczym CMW, stworzonym za pomocą interpolacji punktów węzłowych poziomicy metodą TIN (Triangulated Irregular Network) w programie QGIS. Równolegle na ekranie monitora została wyświetlona mapa cieniowania. Błędy opisu wysokości poziomicy w tabeli atrybutów jawiły się jako widoczne zniekształcenia (artefakty⁴) na roboczym CMW.

⁴ „Artefakty” to zwrot zapożyczony z terminologii grafiki komputerowej. Oznacza on wady cyfrowego modelu rastrowego, będące skutkami ubocznymi zastosowania róż-

W drugim etapie pracy badawczej interpolację punktów węzłowych z warstwy wektorowej poziomic przeprowadzono pięcioma metodami, które nie wymagały wcześniejszej modyfikacji danych wejściowych (np. konwersji linii do punktów). Wykorzystane metody interpolacji to⁵:

1. Multilevel B-Spline Interpolation,
2. Ordinary Kriging,
3. Ordinary Kriging z funkcją Block Kriging,
4. Thin Plate Spline (Local),
5. Thin Plate Spline (TIN).

Parametry interpolacji dla wszystkich wymienionych metod pozostawiono bez zmian jako domyślnie ustawione w programie, precyzując tylko docelowy rozmiar piksela wynikowego CMW w formacie rastrowym na 5 m.

W wyniku przeprowadzonych procedur interpolacji wygenerowano pięć CMW, które następnie poddano preprocessingowi. W fazie tej, za pomocą modułu *Burn Stream Network Into DEM*, „wypalono” w modelach sieć rzeczną, wcięcia drogowe i erozyjne – tzn. obniżono wartość komórek rastra znajdujących się w miejscu wymienionych liniowych form rzeźby terenu na CMW o stałą wartość, którą przyjęto na -1 m. Następnie za pomocą modułu *Fill Sinks* (Wang & Liu) wypełniono zagłębienia bezodpływowe (powstałe jako zniekształcenia interpolacji) oraz ustalono w ich obrębie minimalny kąt nachylenia pomiędzy komórkami rastra o wartości 0.1°, który informuje program o możliwości powierzchniowego odpływu wody z tych obszarów.

Ostatecznie wygenerowane CMW poddano ewaluacji w celu wytypowania najlepszej z wykorzystanych metod interpolacji. Wyboru najlepszego CMW dokonano na podstawie trzech kryteriów:

1. Jakości powierzchni CMW z uwzględnieniem widocznych zniekształceń.
2. Zgodności rzeczywistego układu sieci rzecznej (cieki stałe i okresowe zaznaczone na mapie topograficznej w skali 1:10 000) z siecią wygenerowaną.
3. Krosvalidacji, mającej na celu ustalenie zgodności wysokości terenu odczytanych z wygenerowanych CMW z punktami wysokościowymi o różnym położeniu morfologicznym⁶, uzyskanymi z mapy topograficznej w skali 1:10 000. Krosvalidacja, nazywana także sprawdzianem krzyżowym, polega na

nych algorytmów podczas jego przetwarzania, np. powstające na skutek kompresji oryginalnego pliku w celu zmniejszenia jego objętości, zmiany formatu lub przeprowadzenia interpolacji danych. Uwidaczniają się jako nienaturalne zniekształcenia modelu źródłowego lub obrazu rzeczywistości, który podlega modelowaniu.

⁵ Wszystkie nazwy wykorzystanych metod i modułów podano w oryginale w języku angielskim, tak jak występują w programie SAGA GIS.

⁶ Punktów tych nie użyto wraz z punktami węzłowymi rysunku poziomicowego do przeprowadzenia interpolacji, jak to czynią niektórzy autorzy (Krocak 2010). Pozostawiono je do wykorzystania jako próbę, na podstawie której oceniono efekty interpolacji.

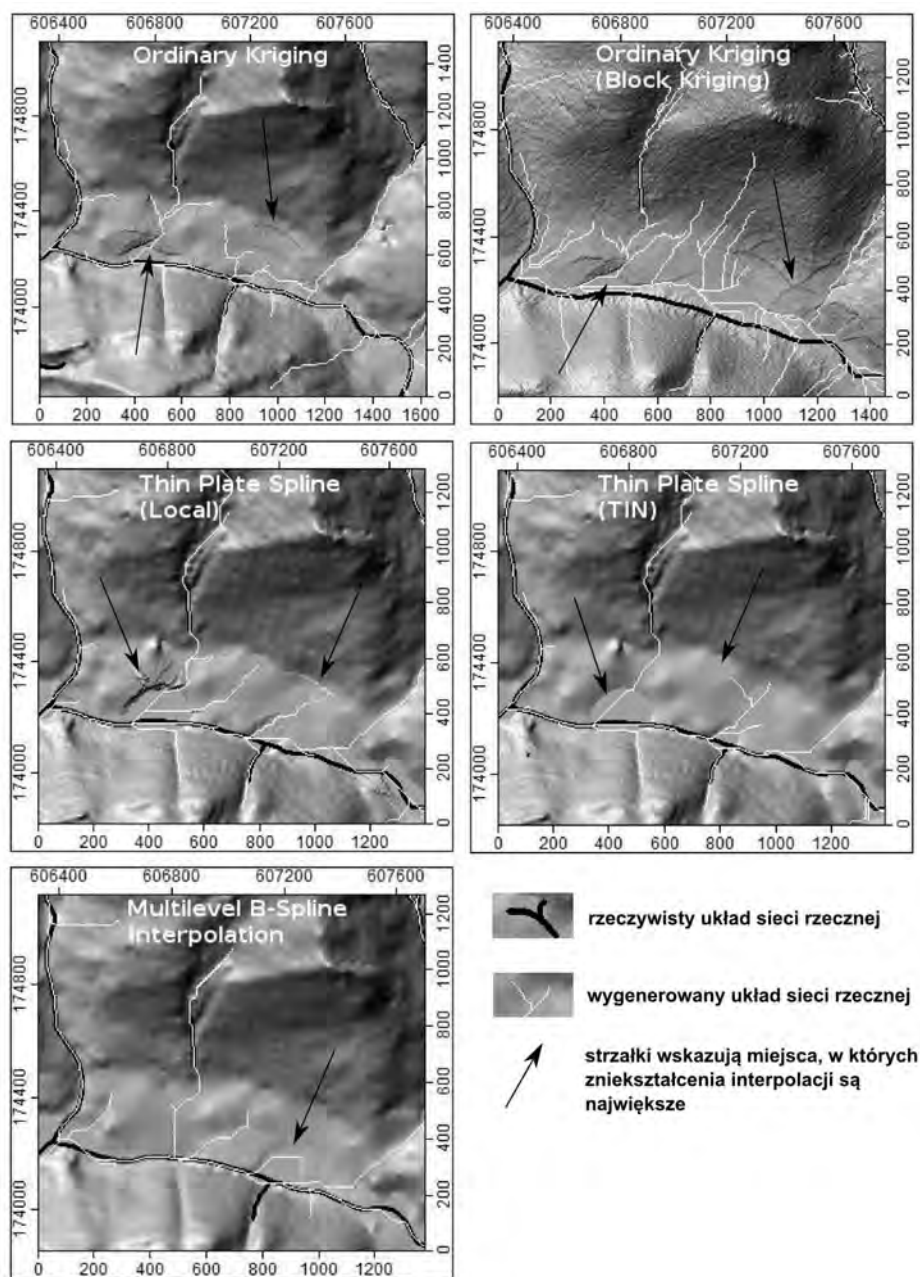
podziale próby statystycznej na podzbiory, po czym jeden z nich użyty zostaje do wykonania analiz (zbiór uczący), a drugi jest używany do potwierdzenia wiarygodności ich wyników (zbiór walidacyjny). W artykule podzbiorem, za pomocą którego wykonano procedury interpolacji, a ostatecznie cyfrowe modele wysokościowe, były wartości wysokości punktów węzłowych zwektoryzowanych poziomic. Podzbiór walidacyjny stanowiły wartości zwektoryzowanych z mapy topograficznej punktów (pikiet) wysokościowych.

5. Rezultaty

Na podstawie wizualnej analizy powierzchni cyfrowych modeli wysokościowych oraz porównania sieci rzecznej stwierdzono, iż najlepszą zgodność uzyskał model wykonany metodą *Multilevel B-Spline Interpolation*, w którym wygenerowany układ sieci rzecznej nie odbiegał zbyt od rzeczywistości, a zniekształcenia interpolacji były najmniej widoczne. Najmniejszą zgodność uzyskał model wykonany metodą *Ordinary Kriging* z funkcją *Block Kriging*, w którym duża ilość niewielkich zniekształceń spowodowała sztuczną szorstkość terenu, co przyczyniło się do znacznego zagęszczenia wygenerowanej sieci rzecznej (rys. 3).

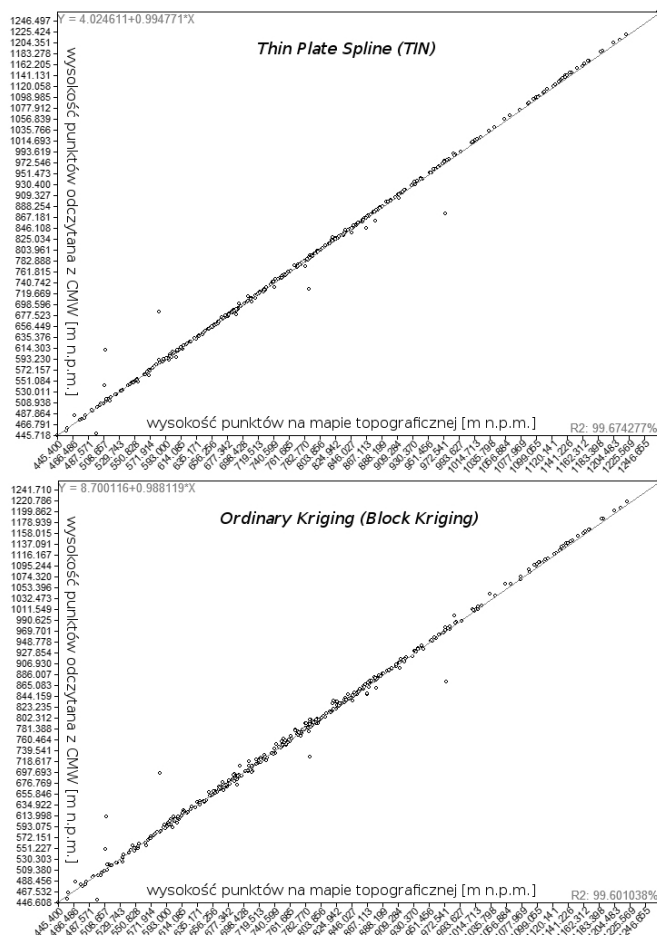
Krosvalidacja przy użyciu punktów wysokościowych wykazała, iż dopasowanie modeli do rzeczywistej powierzchni terenu jest bardzo dobre. Największą wartość współczynnika determinacji, na poziomie $R^2 = 97,674\%$, uzyskano przy zastosowaniu interpolacji *Thin Plate Spline (TIN)*, średni błąd kwadratowy (RMS) wysokości pomiędzy odpowiadającymi sobie punktami wyniósł 9,86 m. Najlepsze, jednak dalej bardzo dobre dopasowanie na poziomie $R^2 = 99,601\%$, uzyskano przy użyciu metody *Ordinary Kriging* z funkcją *Block Kriging*, gdzie RMS wyniósł 11,00 m (rys. 4).

Wysokie wartości RMS są skutkiem błędnego opisanie wysokości niektórych punktów na mapie topograficznej. Są to punkty najbardziej odbiegające od linii trendu widocznej na rysunku 4. Współczynniki determinacji R^2 pomiędzy rzeczywistymi wartościami wysokości punktów wysokościowych a wysokościami określonymi z CMW wszystkich analizowanych metod różniły się minimalnie – w granicach 0,01%. Różnice te byłyby większe, gdyby wziąć pod uwagę tylko punkty wysokościowe położone na wierzchołkach wzniesień, ze względu na zmienne interpretowanie krzywizn powierzchni statystycznej przez różne metody interpolacji.



Rys. 3. Porównanie powierzchni wynikowych CMW oraz wygenerowanych układów sieci rzecznej z układem rzeczywistym

Źródło: opracowanie własne



Rys. 4. Wykresy zgodności punktów wysokościowych odczytanych z mapy topograficznej w skali 1:10 000 z wysokością tożsamych punktów odczytaną z CMW

Źródło: opracowanie własne

Z powodu małych różnic pomiędzy CMW ocenionych na podstawie kryterium analizy krzyżowej kluczową rolę w ostatecznej ewaluacji CMW odegrały pozostałe dwa kryteria. Ustalono, iż CMW, wykonany przy użyciu metody *Multilevel B-Spline Interpolation*, najlepiej odzwierciedla rzeczywistość powierzchni terenu zlewni. Najlepsze dopasowanie na podstawie wszystkich kryteriów uzyskał model wykonany przy użyciu metody *Ordinary Kriging* z funkcją *Block Kriging*.

6. Podsumowanie i dyskusja

Wykorzystanie programów Quantum GIS i SAGA GIS do budowy CMW o wysokiej rozdzielczości przestrzennej na podstawie wektoryzacji treści map topograficznych daje dobre rezultaty, oczekiwane w modelowaniu procesów hydrologicznych. Za pomocą programu QGIS można sprawnie prowadzić wszelkie operacje związane z wektoryzacją treści map topograficznych i przygotowaniem danych wejściowych do przeprowadzenia interpolacji. Program SAGA GIS ma znacznie większy potencjał do pracy z danymi rastrowymi, umożliwia zastosowanie różnego rodzaju złożonych metod interpolacji, preprocessing uzyskanych danych rastrowych oraz zbiór funkcji służących do modelowania hydrologicznego, pozwalających na weryfikację jakości uzyskanego CMW.

Modele wysokościowe, uzyskane dzięki wykorzystanym metodom interpolacji i preprocessingu w programie SAGA GIS, są zróżnicowanej jakości. Najbardziej różnią się one między sobą w miejscach, w których rysunek poziomicowy jest ubogi. Obszary te są głównym wyznacznikiem jakości wygenerowanych modeli, ponieważ w tych miejscach zaobserwowano największe rozbieżności pomiędzy wygenerowanym a rzeczywistym układem sieci rzecznej oraz największe artefakty interpolacji. Najlepsze rezultaty podczas generowania CMW dają zaawansowane techniki Spline'ów (TPS), co znajduje także potwierdzenie w literaturze przedmiotu (Soycan, Soycan 2009). Zaznaczył się także brak bardziej zaawansowanej metody wypalania sieci rzecznej, dzięki której można by było uzyskać znacznie lepsze rezultaty dopasowania wygenerowanego układu sieci rzecznej do jego rzeczywistego przebiegu niż obecnie.

Zaproponowana metodyka budowy CMW jest czasochłonna, ale pozwala na stworzenie CMW o wystarczającej dokładności do przeprowadzania modelowania procesów przyrodniczych, w tym zjawisk hydrologicznych, zachodzących w małych zlewniach (do 100 km) lub innych niewielkich jednostkach przestrzennych.

Literatura

- Camara G., Onsrud H., 2004, *Open source GIS Software: myths and realities*, Open Access and the Public Domain in Digital Data and Information for Science, The National Academic Press, Washington.
- Grohmann C.H., 2006, *SRTM resample with short distance-low nugget kriging*, Proceedings of International Symposium on Terrain Analysis and Digital Terrain Modelling, Nanjing.
- Gudowicz J., Buchwał A., Ćwiąkała P., 2010, *Zastosowanie wysokorozdzielczych cyfrowych modeli wysokościowych w badaniu zmian mikrorzeźby*, „Landform Analysis”, 12, s. 71–78.

- Jensen J.R., Cowen D.C., 1999, *remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes*, „Photogrammetric Engineering & Remote Sensing”, 65 (5), s. 611–622.
- Kroczyk R., 2010, *Geomorfologiczne i hydrologiczne skutki funkcjonowania dróg polnych na Pogórzu Ciężkowickim*, IGiPZ PAN, Warszawa.
- Kurczyński, Z., Gotlib, D., Olszewski, R., Kaczyński, R., Butowtt, J., 2007, *Numeryczny model terenu – podstawy, budowa i wykorzystanie*, [w:] Kunz M. (red.), *Systemy informacji geograficznej w praktyce (studium zastosowań)*, Wydawnictwo UMK, Toruń.
- Martinez-Wega J., Martin-Isabel R., Romero-Calcerrada R., 2005, *Digital cartography and GIS, decision tools for sustainable development in the Province of Cuenca (Central Spain)*, International Cartographic Conference, La Coruna.
- Nita J., Małolepszy Z., Chybiorz R. 2007, *Zastosowanie numerycznego modelu terenu do wizualizacji rzeźby terenu i interpretacji budowy geologicznej*, „Przegląd Geologiczny”, 55 (6), s. 511–519.
- Ramsey P., 2007, *The state of open source GIS*, Refrations Research, Victoria.
- Saliszczew K.A., 1984, *Kartografia ogólna*, PWN, Warszawa.
- Soycan A., Soycan M., 2009, *Digital elevation model production from scanned topographic contour maps via thin plate spline interpolation*, „The Arabian Journal of Science and Engineering”, 34 (1A), s. 121–134.
- Tomczyk A.M., 2010, *Cyfrowe modele mikroform rzeźby terenu i ich zastosowanie do badania dynamiki przekształceń powierzchni szlaków turystycznych*, „Landform Analysis”, 12, s. 127–136.
- Tomczyk A., Ewertowski M., 2009, *Cyfrowe modele wysokościowe w geomorfologii – wprowadzenie*, [w:] Zwoliński Z. (red.), *GIS – platforma integracyjna geografii*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 67–87.
- Urbański J., 2010, *GIS w badaniach przyrodniczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Sopot.
- Vassilopoulou S., Hurni L., 2001, *The use of digital elevation models in emergency and socio-economic planning: A case study at Kos-Yali-Nisyros-Tilos Islands, Greece*, Proceedings 20th International Cartographic Conference, Beijing, China, s. 3424–3431.
- Zwoliński Z., 2010, *O homologiczności polskiej terminologii geoinformacyjnej*, [w:] Zwoliński Z. (red.), *Woda w badaniach geograficznych*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 21–30.

Strony internetowe

<http://www.codgik.gov.pl/zasob>
www.geoportal.sk

USE OF QUANTUM GIS AND SAGA GIS SOFTWARE TO BUILD DIGITAL ELEVATION MODEL OF GRAJCAREK CATCHMENT

In this paper use of 1:10 000 scale topographic maps and open-source GIS software to build Digital Elevation Model (DEM) with 5-meters resolution was analysed. DEM was built from contour lines vectorised in Quantum GIS using five different interpolation methods available in SAGA GIS: Ordinary Kriging, Ordinary Kriging with Block Kriging, Thin Plate Spline (Local), Thin Plate Spline (TIN), Multilevel B-Spline Interpolation. Special attention was given to the accuracy of DEM's built with those methods. DEM's were analyzed by crossvalidation of their surface with elevation points vectorised from topographic maps, which were not used in DEM interpolations. Correctness of generated drainage network was also investigated. Although construction of DEM in presented way is very time-consuming, it is often the only way to build high-resolution DEM of small catchments or other spatial units, which could be used in large-scale hydrological or geomorphological modeling.

Keywords: *Digital Elevation Model, Grajcarek catchment, Quantum GIS, SAGA GIS*

Mgr Grzegorz Wałek
Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii
e-mail: grzegorz.walek@ujk.edu.pl