

Aleksander Szmidt

Katedra Geografii Fizycznej
Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki

Artykuł wpłynął do redakcji 29.11.2013; po recenzjach zaakceptowany 16.12.2013

STREFA KRAWĘDZIOWA WZNIESIEŃ ŁÓDZKICH W ŚWIETLE BADAŃ GIS

THE EDGE ZONE OF THE ŁÓDŹ HEIGHTS IN THE LIGHT OF GIS METHODS

W artykule przedstawiono próby zastosowania wybranych metod GIS do weryfikacji i wizualizacji koncepcji paleogeomorfologicznej H. Klatkowej (1965, 1972, 1996). Przeprowadzone prace potwierdziły istnienie stopni krawędziowych w obrazie morfometrycznym obszaru, a także ukazały dużą precyzję wykonania archiwalnych materiałów kartograficznych. Badania wykazują również, że numeryczny model terenu SRTM3, oprócz zastosowań wizualizacyjnych, może również służyć w pewnym zakresie do analiz geomorfometrycznych.

Słowa kluczowe: *metody GIS, SRTM, mapy spadków, Wzniesienia Łódzkie*

1. WPROWADZENIE

Rozwój technik informatycznych w ostatnich latach otworzył drogę do przeprowadzania szerokich zestawień i analiz kartograficznych dla różnej wielkości obszarów badawczych. Ponadto narzędzia analityczne zaimplementowane w oprogramowanie GIS zapewniają już obecnie względną powtarzalność i niezależność prac, zmniejszając prawdopodobieństwo błędów i subiektywizmu w pomiarach oraz późniejszych obliczeniach. Otworzyło to drogę rewizji wielu poglądów z zakresu nauk geologicznych i geograficznych, gdzie dotąd tradycyjna analiza kartograficzna ze względu na pracochłonność nie mogła stanowić wydajnej metody, zarazem dając odpowiedzi na wiele zagadnień badawczych. Za przykład hipotez dotyczących paleogeomorfologii regionu łódzkiego wskazywanych w literaturze, a które udało się zweryfikować

w oparciu o narzędzia GIS, można podać analizę rozmieszczenia stref wychodni podłoża czwartorzędu w województwie łódzkim (Szmidt 2007) oraz próbę zweryfikowania hipotez dotyczących wpływu tektoniki dysjunktywnej na rozmieszczenie form glacialfluwialnych (Jaksa, Szmidt 2008). Wymienione wyżej badania wykonane zostały w oparciu o zestawienia archiwalnych geologicznych opracowań kartograficznych, potwierdzając przy okazji ich przydatność do badań współczesnych.

Kolejnym ważnym wątkiem, poruszonym zarówno w literaturze naukowej oraz pracy dydaktycznej jest koncepcja paleogeomorfologiczna H. Klatkowej (1965, 1972, 1996), dotycząca rozwoju stopni krawędziowych Wzniesień Łódzkich. Ciekawostką jest to, że chociaż istnieje dość dokładny opis słowny poszczególnych powierzchni (Klatkowa 1972), istnieją szkice (Klatkowa 1965, 1972, 1996) pokazujące i tłumaczące ich genezę, to nie ma dokładnego opracowania kartograficznego weryfikującego i ukazującego położenie i zasięg poszczególnych stopni krawędziowych. Wprawdzie podjęto próby wykonania takiej mapy (Klajnert, Twardy, Jaskulski 2000), jednakże ostatecznie mapa ta nie została opublikowana.

2. CELE OPRACOWANIA

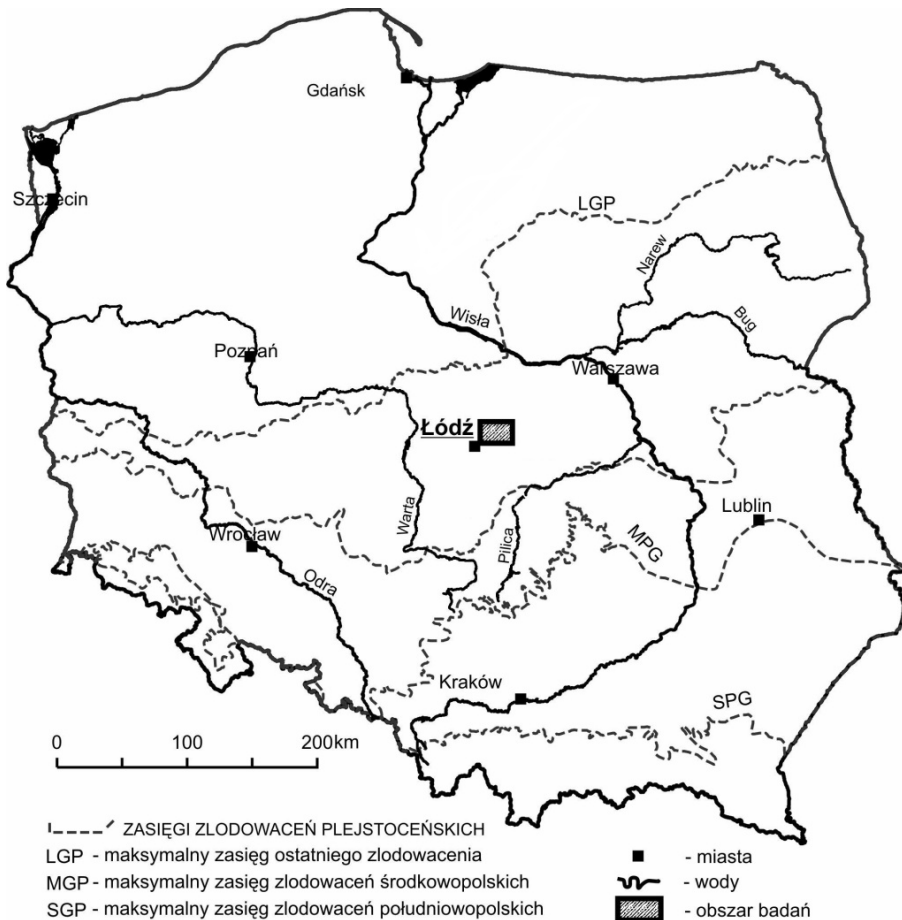
Przegląd dostępnej literatury na temat stopni strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich wskazuje na istnienie tylko szkiców geomorfologicznych mających głównie charakter poglądowy. Zdaniem autora istnieje potrzeba digitalizacji mapy stopni strefy krawędziowej Wzniesień Łódzkich w oparciu o współczesne techniki (GIS) tak, aby możliwe było zestawianie oraz prezentacja tych treści ze współczesnymi opracowaniami kartografii tematycznej, głównie geomorfologicznej.

Do głównych celów tego opracowania można zaliczyć: digitalizację i wizualizację klasycznych opracowań kartograficznych dotyczących stopni krawędziowych Wzniesień Łódzkich (Klatkowa 1965, 1972, 1996) w technikach GIS oraz zestawienie i weryfikacja mapy stopni krawędziowej Wzniesień Łódzkich z nowszym cyfrowym modelem terenu SRTM-3.

3. POŁOŻENIE, MORFOMETRIA I MORFOGENEZA OBSZARU BADAŃ

Wzniesienia Łódzkie położone są w centralnej części Polski, na północny-wschód od Łodzi (rys. 1). W obrazie morfometrycznym stanowią one zakończenie charakterystycznego cypla, stanowiącego jakby przedłużenie w kierunku północnym Wyżyn Polskich. Wg regionalizacji fizycznogeograficznej J. Kondrackiego (1998), Wzniesienia Łódzkie (318.82) graniczą od północy z Równiną Łowicko-Błońską (318.72), od południa z Wysoczyzną Bełcha-

towską (318.81) i Równiną Piotrkowską (318.84), od zachodu z Wysoczyzną Łaską (318.19) i od wschodu z Wysoczyzną Rawską (318.83). Wzniesienia Łódzkie, chociaż położone są w podprovincji Nizin Środkowopolskich, charakteryzują się względnie urozmaiconym ukształtowaniem powierzchni, gdzie deniwelacje terenu dochodzą nawet do 100 m (rys. 2). Duża dynamika rzeźby jak na obszary niżowe, skłoniła H. Klatkową (1972) do nadania omawianemu obszarowi nazwy „Wyżyny Łódzkiej”. Obszar ten jednak nie spełnia kryterium wyżyny, zarówno pod względem hipsometrycznym, jak i strukturalno-litologicznym, stąd nazwa „Wyżyna Łódzka” przez wiele lat była powodem wielu dyskusji w środowisku naukowym.



Rys. 1. Położenie obszaru badań na tle zasięgów zlodowaceń plejstocenijskich wg A. Bera (2006)

Fig. 1. Location of the research area against the background of Pleistocene glaciations

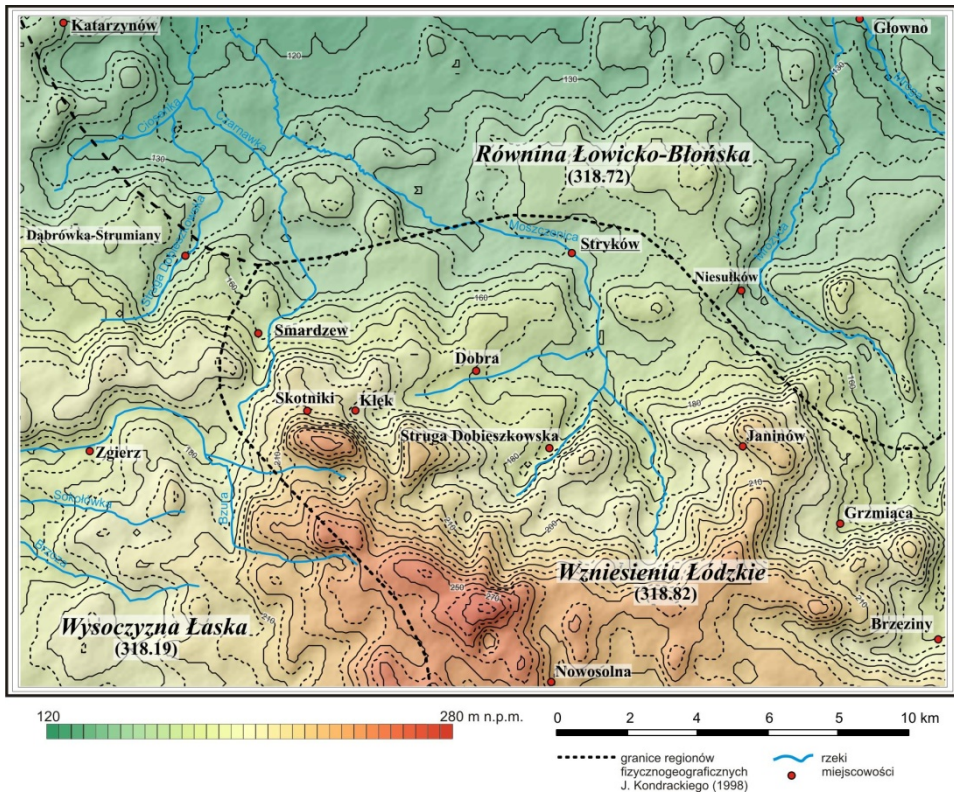
Oprócz dużych deniwelacji terenu cechą charakterystyczną omawianego obszaru jest występująca tam krawędź złożona z kilku stopni opadających na północ, od poziomu 240 m n.p.m. do 80 m n.p.m. w pradolinie warszawsko-berlińskiej. Zdaniem H. Klatkowej (1972, 1996) powstanie stopni krawędziowych powiązane jest z kolejnymi etapami transgresji czoła lądolodu na krawędź Garbu Łódzkiego. Wg autorki kolejne szarże lądolodu powodowały spiętrzenia osadów przed jego czołem i wkraczanie na wyżej położone tereny. Sytuacja ta powtarzała się kilkakrotnie, czego efektem są dzisiejsze stopnie krawędziowe. W sumie wydzielonych zostało pięć stopni krawędzi Wzniesień Łódzkich:

1. poziom najwyższy „Wyżyny Łódzkiej” (210–289 m n.p.m.),
2. poziom smardzewski (185–210 m n.p.m.),
3. poziom strykowski (160–185 m n.p.m.),
4. poziom katarzynowski (135–160 m n.p.m.),
5. poziom Woli Mąkolskiej (117–135 m n.p.m.).

Szkice przedstawiające zasięg poszczególnych stopni krawędziowych wykonane zostały przez H. Klatkową (1965, 1972, 1996) w dużej mierze w oparciu o analizy rysunku poziomicowego na mapach topograficznych. Ze względów technicznych jednak nie została opublikowana mapa przedstawiająca rozmieszczenie stopni krawędziowych na tle ukształtowania powierzchni terenu. Zdaniem autora stanowi to pewne utrudnienie w prezentacji tego zagadnienia, szczególnie dla celów dydaktycznych. Odbiorcy trudno wyodrębnić poszczególne stopnie krawędziowe z rysunku poziomicowego, jeśli jest on w dużej części przykryty pozostałą treścią mapy topograficznej. Dodatkowym utrudnieniem jest scalenie obrazu z poszczególnych arkuszy map topograficznych. Stąd autor dokonał próby wydzielenia i zwizualizowania stopni krawędziowych Wzniesień Łódzkich w oparciu o numeryczny model terenu.

4. ŹRÓDŁA DANYCH

Do analiz wykorzystano dwie podstawowe grupy tradycyjnych opracowań kartograficznych, tj. mapy topograficzne w skali 1:10 000 (Państwowy Układ Współrzędnych Geograficznych 1965) oraz szkice ze stopniami krawędziowymi Wzniesień Łódzkich, załączone do publikacji H. Klatkowej (1965, 1972, 1996). Ze względu na ilość danych oraz morfogenezę badanych form, analizie w systemach GIS poddano poligon obejmujący północo-zachodnią część Wzniesień Łódzkich (rys. 2).



Rys. 2. Ukształtowanie powierzchni terenu badań na podstawie NMT SRTM-3.
Zaznaczone mezoregiony fizyczno-geograficzne wg J. Kondrackiego (1998)

Fig. 2. Terrain surface of the research area generated on the basis of DEM SRTM-3

Pierwotnie autor założył digitalizację rysunku poziomicowego z map topograficznych w skali 1:10 000, jako źródła najlepiej nadającego się do utworzenia cyfrowego modelu geomorfologicznego (Ewertowski, Tomczyk 2007, 2009; Szubert 2008; Magnuszewski 2010). Z uwagi na to, że digitalizacja rysunku poziomicowego dla jednego arkusza mapy topograficznej trwa około 1 miesiąca (Rzeszewski, Jasiewicz 2008), autor zdecydował się na pozyskanie tylko wybranych poziomic potrzebnych do określenia stopni krawędziowych.

Osobny problem stanowiło scalenie szkiców geomorfologicznych H. Klatkowej z innymi danymi kartograficznymi. W przypadku szkiców geomorfologicznych zaistniał problem z określeniem punktów referencyjnych w celu nadania georeferencji. Za najbardziej wiarygodne autor uznał sieć rzeczną.

Ze względu na trudności z pozyskaniem numerycznego modelu terenu z map topograficznych autor zdecydował się na wykorzystanie numerycznego modelu terenu SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Model ten powstał w oparciu o dane pozyskane z Radarowej Misji Topograficznej Promu Kosmicznego

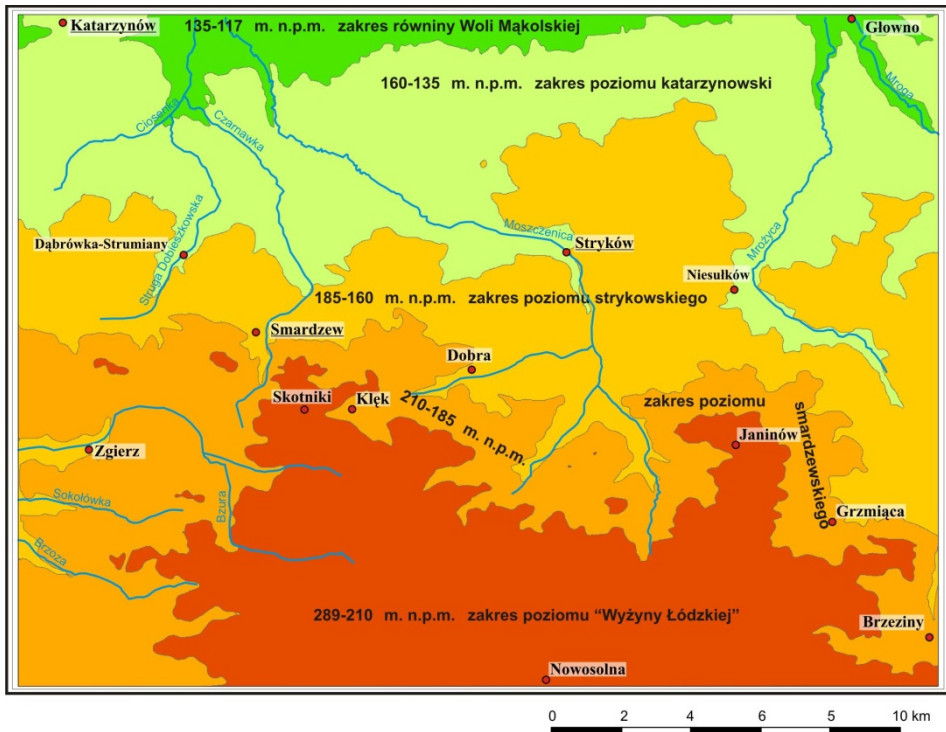
Endavour w 2000 r. (Jarvis i in. 2004, 2008; Kurczyński 2000, 2008). Pomiar wykonywany był w dwóch zakresach długości mikrofal w paśmie X i C, które to pasma promieniowania różnią się m.in. przenikalnością przez szatę roślinną. Na podstawie takich danych wygenerowano numeryczny model terenu (NMT) o znormalizowanych oczkach siatki wg standardu DTED (Digital Terrain Elevation Data). Model ogólnodostępny dystrybuowany jest dla pasma C, charakteryzuje go gorsza przenikalność przez szatę roślinną podczas pomiarów. Poza obszarem Stanów Zjednoczonych model dostępny jest tylko na dwóch poziomach dokładności ITED 0 i 1 (Interferometric Terrain Elevation Data), odpowiadający standardowi DTED 0 i 1. Podstawowy model ITED-1 zapisany jest w rozdzielczości o oczku siatki 3", co w przeliczeniu daje około 90 na 90 m. Dokładność wysokościowa bezwzględna wynosi co najmniej 16 m, zaś względna co najmniej 10 m. Główne błędy występują na obszarach leśnych i o gęstej zabudowie i wynikają z błędów pomiarowych (Jarvis i in. 2004, 2008). SRTM – wg obliczeń Z. Kurczyńskiego (2008) rozdzielczość SRTM jest zgodna z mapami w skali 1:250 000. Na podstawie wygenerowania modeli różnicowych oraz profili terenowych ustalono, że na obszarze odkrytym teren opisywany jest średnio od 3,1 do 3,3 m niżej niż w rzeczywistości, zaś na obszarach zalesionych średnio od 8 do 11 m wyżej. Podobne wartości błędów pomierzono dla obszaru Polski (Karwel i Ewiak 2006). Jednak w przeciwieństwie do modeli powstałych z łączenia danych z różnych źródeł, błędy w SRTM są powtarzalne, a dzięki temu możliwe do poprawienia lub nawet usunięcia.

5. METODY I WYNIKI BADAŃ

Skanowania dokonano na skanerze płaskim formatu A3 z rozdzielczością 300x300dpi. Fragmenty zeskanowanych map połączono w programie GIMP 2.6. Georeferencję mapom nadawano w programie ArcGIS (ArcView 9.1. ER). Po interpretacji, wybrane obiekty z map i szkiców zdigitalizowano za pomocą programu ArcGIS oraz za pomocą programu Quantum GIS w wersji 1.6. Numeryczny Model Terenu przetwarzano i analizowano za pomocą oprogramowania SAGA 2, a także ArcGIS 9.1., zaś analizy przestrzenne wykonano głównie w programie Quantum GIS. Mapy wynikowe wygenerowane w wymienionym powyżej oprogramowaniu, ostatecznie przygotowano do publikacji w oprogramowaniu Corel X4.

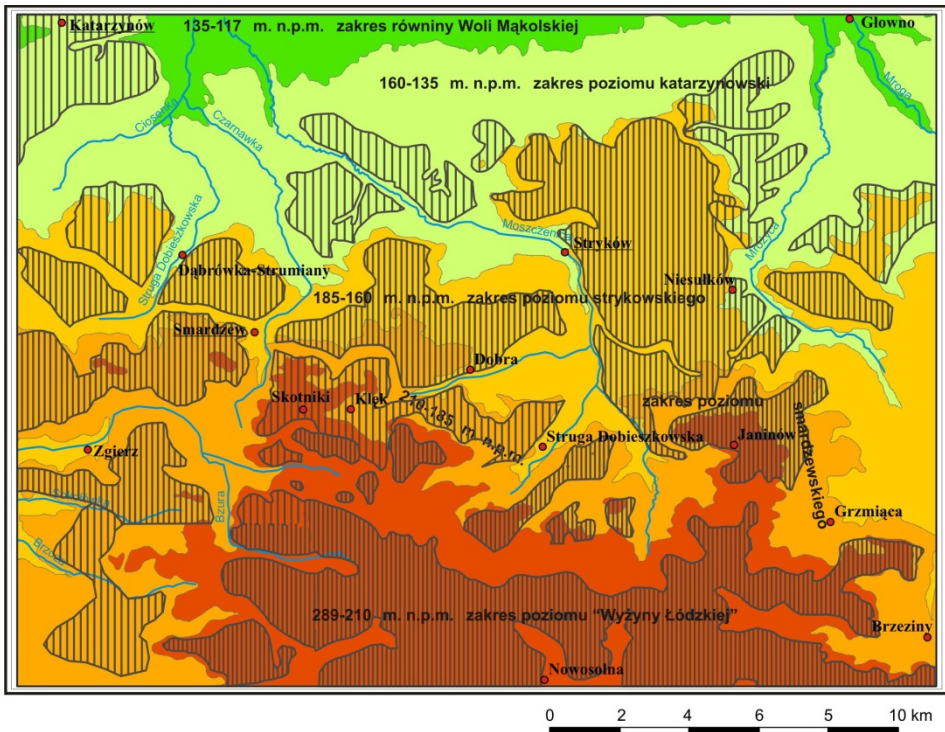
W pierwszym etapie prac zebrano, zeskanowano, scalono oraz nadano georeferencję materiałom kartograficznym wydanym techniką tradycyjną. W przypadku szkiców geomorfologicznych najlepsze wpasowanie miał szkic H. Klatkowej z 1972 r. Z map topograficznych po uprzednim procesie progowania wydzielony został rysunek poziomicowy. Ze względu na powierzchnię badanego obszaru i na budowę rysunku poziomicowego na mapach topograficznych (tzw. poziomicie pomocnicze), autor zdecydował się na digitalizację

poziomic mogących określić zasięgi stopni krawędziowych. Na tej podstawie wyznaczono poligony (rys. 3) zakreślające powierzchnie stopni krawędziowych wg opisu H. Klatkowej (1972). Kolejnym krokiem była próba zestawienia wyznaczonych obszarów na podstawie map topograficznych w skali 1:10 000 ze szkicem stopni krawędziowych H. Klatkowej (1972). Po nałożeniu widoczne są wyraźne niezgodności w położeniu wydzielen, jak i przebiegu sieci rzecznej (rys. 4). Za przyczynę błędów można uznać różne odwzorowania kartograficzne map, na bazie których tworzone były wydzielenia geomorfologiczne, tradycyjną technikę przenoszenia treści kartograficznej, ale również niedostateczną ilość punktów referencyjnych podczas procesu nadawania georeferencji oraz generalizację treści mapy. Za najważniejszą przyczynę tych niezgodności autor uważa różne odwzorowania kartograficzne.



Rys. 3. Poligony przedstawiające przedziały wysokości odpowiadające opisowi stopni krawędziowych (Klatkowa 1965, 1972) wyznaczone na podstawie rysunku poziomicowego map topograficznych w skali 1:10 000

Fig. 3. Polygons of elevation corresponding with descriptions of verge steps (Klatkowa 1965, 1972), delimited on the basis of topographic maps



Rys. 4. Zestawienie szkicu ze stopniami krawędziowymi Wzniesień Łódzkich wg H. Klatkowej (1972) z odpowiadającymi im wydzieleniami uzyskanymi na podstawie map topograficznych w skali 1:10 000

Fig. 4. Comparison of partitions of elevation, delimited on the basis topographic maps with the verge steps (Klatkova 1965, 1972)

Przykładowo na początku działania łódzkiego ośrodka naukowego, geografowie opierali analizy kartograficzne i obliczenia o przedwojenne mapy Wojskowego Instytutu Geograficznego. Mapy te wykonane były w quasi-stereograficznym równokątnym odwzorowaniu M.H. Roussihe'a.

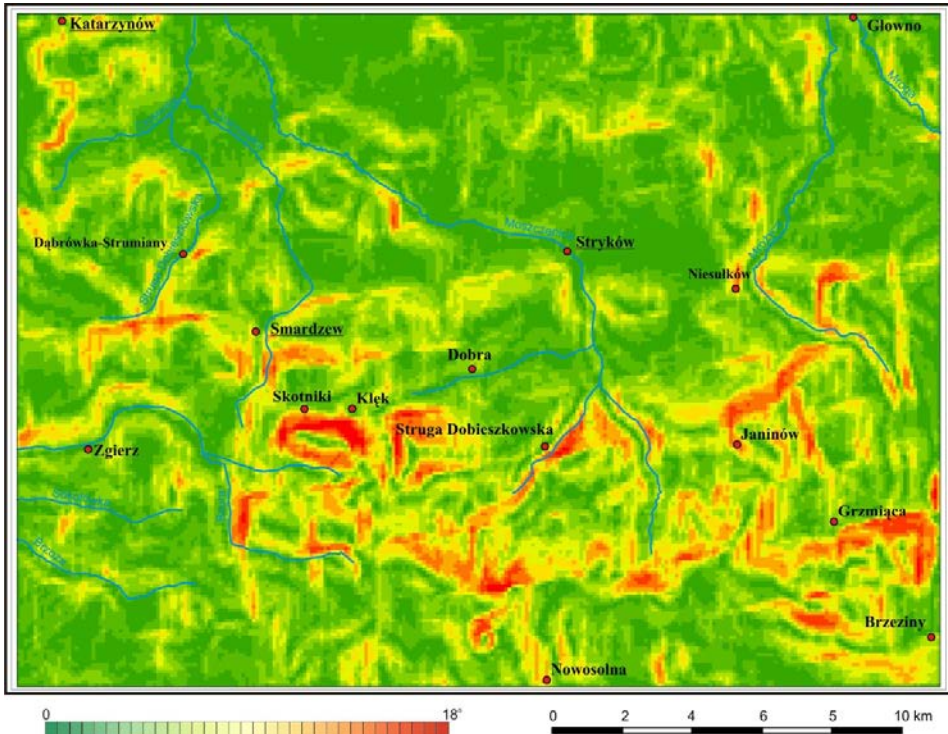
Kolejne przetwarzane materiały, takie jak: Szczegółowe mapy geologiczne Polski, wykonywane były w układzie współrzędnych 1942 (odwzorowanie poprzeczne walcowe Gaussa-Krügera), zaś mapy topograficzne przeznaczone do użytku cywilnego wykonane w układzie 1965, posiadały nie do końca jawną osnowę matematyczną. Przenoszenie i łączenie treści z tak wielu źródeł bez wątplenia utrudniało analizy kartograficzne i mogło spowodować liczne nieścisłości np. w lokalizacji form terenu lub stanowisk badawczych. Dlatego wiele map i szkiców geomorfologicznych dotyczących regionu łódzkiego może mieć głównie charakter poglądowy, mniej zaś kartometryczny.

W kolejnym kroku autor postanowił dokonać wydzielenia stopni krawędziowych Wzniesień Łódzkich w oparciu o numeryczny model terenu SRTM-3.

Model ten w przeciwieństwie do modelu DTED-2 ma zastosowanie głównie dla celów wizualizacji rzeźby (Badura, Przybylski 2005; Nita i in. 2007). Podstawowym jego mankamentem jest występowanie dużych geometrycznych obiektów, będących pozostałościami po odbiciu fali radarowej od dużych skupisk leśnych. Jedną z metod poprawy jego jakości jest ponowna interpolacja danych ze zmianą zapisu wysokości za pomocą liczb zmiennoprzecinkowych. Likwiduje to tzw. schodkowy obraz przedstawianej powierzchni, linie poziomic stają się bardziej zaokrąglone. Nadal jednak pozostają wzniesienia po obrazie lasów. Z uwagi na to, że dla tego opracowania istotne jest wychwycenie krawędzi morfologicznych, nie zaś pojedynczych form terenu, autor postanowił dokonać ponownej interpolacji danych w programie Surfer 8, za pomocą metody lokalnego wielomianu (*local polynomial*). Metoda ta m.in. pomija punkty o skrajnych wartościach (Goldstein, Skrzypek 2004; Kowalczyk 2009). Efektem tego jest wyraźne wygładzenie obrazu powierzchni z niestety zmienionymi wartościami wysokości (rys. 2). Uzyskany w ten sposób obraz uniemożliwia szczegółową analizę morfometryczną, jednakże pozwala na wychwycenie wyraźnych krawędzi morfologicznych z pominięciem form mniejszych.

Na bazie uzyskanego w ten sposób numerycznego modelu terenu, autor w programie ArcGIS 9.1. (ER) przy pomocy narzędzi *spatial analyst* wygenerował mapę spadków (rys. 5). Widoczne są na niej wyraźne łuki o zwiększonych spadkach terenu. Należy jednak tutaj zaznaczyć, iż omawiana mapa spadków ze względu na metodę interpolacji NMT, posiada inne wartości niż wynikałoby to z analizy samego rysunku poziomicowego. Zgodna natomiast z rzeczywistością jest ich lokalizacja wydzieleni.

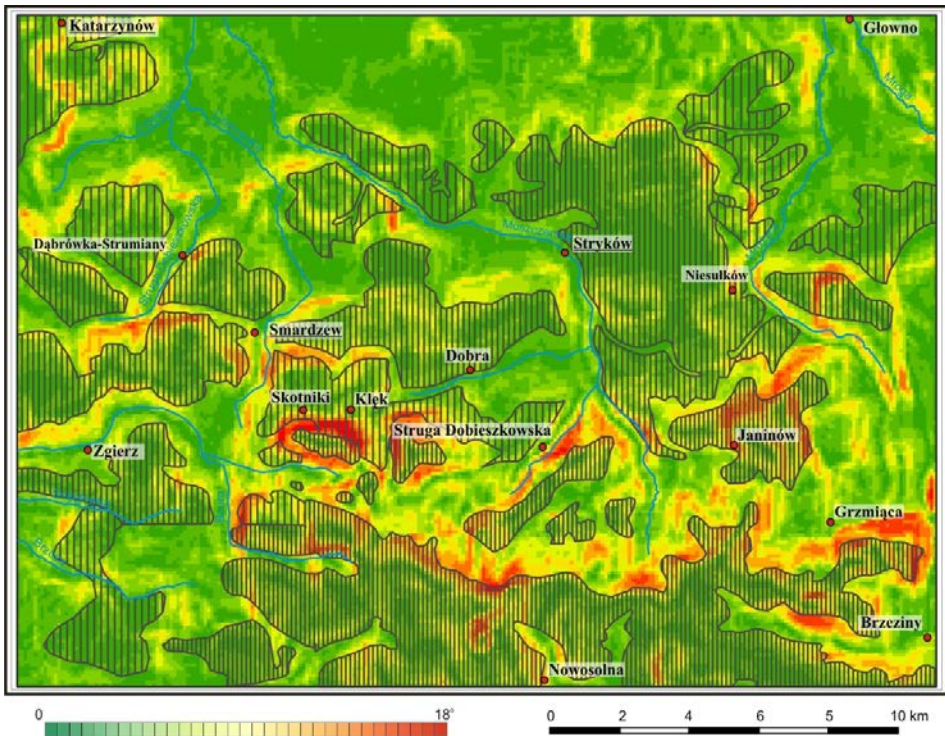
Kolejnym krokiem było nałożenie na mapę spadków, szkicu stopni krawędziowych Wzniesień Łódzkich wg H. Klatkowej (1972). W tym przypadku wpasowanie obydwu źródeł danych wydaje się lepsze niż w przypadku połączenia danych z map topograficznych (rys. 6). Sytuacja ta może wynikać z generalizacji danych zarówno podczas wykreślenia przez H. Klatkową szkiców, jak i podczas interpolacji danych w programie Surfer 8. Rysunek poziomicowy w skali 1:50 000 i większej, jak i dokładniejsze numeryczne modele terenu oparte na pomiarach ze zdjęć lotniczych, czy pomiarach lidarowych, zawierają w sobie informacje o małych, ale stromych formach terenu. W zależności od metody obliczania mapy spadków na rastrach (Urbański 2008), małe formy terenu oraz stoki dolin mogą „zaszumiać” obraz mapy spadków. Rozwiązaniem tego problemu może być generalizacja obrazu rastrowego, jednakże biorąc pod uwagę koszty pozyskania komercyjnego numerycznego modelu terenu oraz cel opracowania, działanie takie może się okazać niepotrzebne.



Rys. 5. Mapa spadków dla obszaru badań wygenerowana w oparciu o NMT SRTM-3

Fig. 5. Slope map for research area generated on the basis of DEM SRTM-3

Podczas analizy rys. 6 ujawnia się wyraźny związek pomiędzy wydzieleniami dokonanyymi przez H. Klatkową (1972) a obrazem powierzchni terenu uzyskanym przy pomocy współczesnych technik pomiarowych, co potwierdza hipotezę dotyczącą rozwoju północnego przedpola Wzniesień Łódzkich. Na uznanie zasługuje jakość archiwalnych opracowań kartograficznych, pomimo tego, że autorzy nie dysponowali wówczas odpowiednimi technologiami do przetwarzania danych kartograficznych.



Rys. 6. Zestawienie mapy spadków na podstawie NMT-SRTM3 ze stopniami krawędziowymi Wzniesień Łódzkich wg H. Klatkowej (1972)

Fig. 6. Comparison of slope map with the verge steps (Klatkova 1965, 1972)

6. WNIOSKI

Przeprowadzone prace wykazały, że dla obszaru Wzniesień Łódzkich, pomimo dobrego rozpoznania geologiczno-geomorfologicznego, udokumentowanego w licznych publikacjach naukowych, brakuje współczesnego opisu kartograficznego wykonanego w technikach GIS. Samo scalanie archiwalnych map i szkiców geomorfologicznych, pomimo prawidłowego ich wykonania przez autorów, ze względu na ówczesne techniki przetwarzania kartograficznego wymaga weryfikacji w oparciu o numeryczny model terenu. Wykonane analizy wykazały, że darmowy numeryczny model terenu SRTM-3, oprócz funkcji dla wizualizacji rzeźby, może po przetworzeniu być w ograniczonym zakresie podstawą analiz geomorfologicznych. Przeprowadzone zestawienia potwierdzają hipotezę paleogeomorfologiczną H. Klatkowej (1965, 1972, 1996) dotyczącą istnienia i wydzielenia stopni krawędziowych Wzniesień Łódzkich.

Zrealizowane do tej pory prace potwierdzają możliwość reinterpretacji i aktualizacji wielu koncepcji z zakresu geomorfologii i geologii czwartorzędu w oparciu o istniejące, opracowane i wydane techniką tradycyjną materiały kartograficzne w połączeniu z danymi pochodzącymi ze współczesnych pomiarów.

LITERATURA

- Badura J., Przybylski B., 2005, *Application of digital elevation models to geological and geomorphological studies – some examples*, „Przegląd Geologiczny”, 53, 10/2, s. 977–983.
- Ber A., 2006, *Mapa glacytektoniczna Polski 1 : 1 000 000*, Państwowy Instytut Geologiczny.
- Ewertowski M., Tomczyk A., 2007, *Numeryczny Model Terenu i jego pochodne dla recesyjnych form młodoglaclalnych na obszarze Wielkopolski* [w:] Smolska E, Giriat D. (red.), *Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady*, Uniwersytet Warszawski, Warszawa, s. 141–150.
- Goldstein P., Skrzypek G., 2004, *Wykorzystanie metod interpolacji do numerycznego kreślenia map geologicznych na podstawie nieregularnie rozmieszczonych danych*, „Przegląd Geologiczny”, 52, s. 233–236.
- Jaksa A., Szmidt A., 2008, *Wpływ tektoniki dysjunktywnej na rozmieszczenie kemów na obszarze województwa łódzkiego w świetle analizy kartograficznej* [w:] Florek W., Kaczmarzyk J., *Współczesne problemy geomorfologii*, „Landform Analysis”, 9, Poznań, s. 146–191.
- Jarvis A., Rubiano J., Nelson A., Farrow A., Mulligan M., 2004, *Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data*, Working Document no. 198, Cali, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), pp. 1–31.
- Jarvis A., Reuter H., Nelson A., Guevara E., 2008, *Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from CGIAR-CSI SRTM 90m Database*, <http://srtm.csi.cgiar.org>.
- Karwel A., Ewiak I., 2006, *Ocena dokładności modelu SRTM na obszarze Polski*, *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, 16, s. 289–295.
- Klajnert Z., Twardy J., Jaskulski M., 2000, *Mapa geomorfologiczna Parku Krajobrazowego Wzniesień Łódzkich*, niepublikowane.
- Klatkova H., 1965, *Niecki i doliny denudacyjne w okolicach Łodzi*, „Acta Geogr. Lodz.”, 19, ŁTN, Ossolineum, ss. 142.
- Klatkova H., 1972, *Paleogeografia Wyżyny Łódzkiej i obszarów sąsiednich podczas lodowacenia warciańskiego*, „Acta Geogr. Lodz.”, 28, ŁTN, ss. 220.
- Klatkova H., 1996, *Elementy glacytektoniczne w budowie geologicznej i rzeźbie podłódzkiej części środkowej Polski*, „Acta Geogr. Lodz.”, ŁTN, 72, s. 7–103.
- Kondracki J. 1998, *Geografia regionalna Polski*, PWN, Warszawa.
- Kowalczyk K., 2009, *Interpolacja ruchów pionowych skorupy ziemskiej z użyciem programu Surfer 8.*, „Geodeta”, 8, 171.
- Kurczyński Z., 2000, *Radarowa misja topograficzna promu kosmicznego Endeavour*, „Geodeta”, 8, 63.

- Kurczyński Z., 2008, *Metodyka oceny dokładności i scalania wieloźródłowych numerycznych modeli terenu*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 18, s. 343–353.
- Magnuszewski A., 2010, *Zastosowanie techniki GIS w ocenie zagrożeń naturalnych – dawnych i przyszłych* [w:] Ciupa T., Suligowski R., *Woda w badaniach geograficznych*, Instytut Geografii, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce, s. 22–33.
- Nita J., Małolepszy Z., Chybiorz R., 2007, *Zastosowanie numerycznego modelu terenu do wizualizacji rzeźby terenu i interpretacji budowy geologicznej*, „Przegląd Geologiczny”, 55, 6, s. 511–518.
- Rzeszewski M., Jasiewicz J., 2008, *Konstrukcja cyfrowych modeli rzeźby na obszarach problemowych w strefie wybrzeża* [w:] Rotnicki K., Jasiewicz J., Woszczyk M. (red.), *Holocenijskie przemiany wybrzeży i wód południowego Bałtyku – przyczyny, uwarunkowania i skutki*, Poznań, s. 113–118.
- Szubert M., 2008, *Geomatyka w badaniach geomorfologicznych*, „Dokumentacja Geograficzna”, 37, s. 7–13.
- Szmidt A., 2007, *Wpływ podłoża mezozoicznego oraz jego wychodni na doliny rzeczne regionu łódzkiego* [w:] Sołtysik R. (red.), *Systemy dolinne i ich funkcjonowanie*, Pr. Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej, 16, s. 117–124.
- Tomczyk A., Ewertowski M., 2009, *Cyfrowe modele wysokościowe w geomorfologii – wprowadzenie. GIS platforma integracyjna geografii*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, s. 67–88.
- Urbański J., 2008, *GIS w badaniach przyrodniczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, s. 1–252.

SUMMARY

In this paper the author presented attempts at applying selected GIS methods for verification and visualization of H. Klatkova's paleogeomorphological concept (1965, 1972, 1996). Conducted research confirmed the existence of verge steps in the morphometric image of the region and also showed a high precision of archival cartographic materials. Studies also show that the SRTM-3 digital elevation model, apart from visualization, can also be used to some extent for geomorphometrical analyses.

Keywords: *GIS methods, SRTM, slope maps, Łódź Heights*