

Marcin Jaskulski, Aleksander Szmidt

OCENA PRZYDATNOŚCI AUTOMATYCZNEGO WYZNACZANIA LINII SZKIELETOWYCH TERENU DO ANALIZ GEOMORFOMETRYCZNYCH

Celem artykułu jest przedstawienie i ocena możliwości automatycznego wyznaczania linii szkieletowych powierzchni terenu za pomocą oprogramowania komputerowego na podstawie cyfrowego modelu wysokościowego. Autorzy przedstawili przykłady analiz morfometrycznych w geomorfologii i trudność oraz czasochłonność przeprowadzania tego rodzaju badań przy zastosowaniu ręcznych, tradycyjnych metod pomiarowych. Testowym badaniom poddano mapę ukształtowania powierzchni podłoża czwartorzędu regionu łódzkiego. Wyznaczono na niej linie szkieletowe powierzchni terenu metodą tradycyjną, a następnie poddano ją obróbce za pomocą oprogramowania ArcGIS z rozszerzeniami ArcHydro i SpatialAnalyst. Uzyskane w ten sposób mapy porównano i oceniono wyniki.

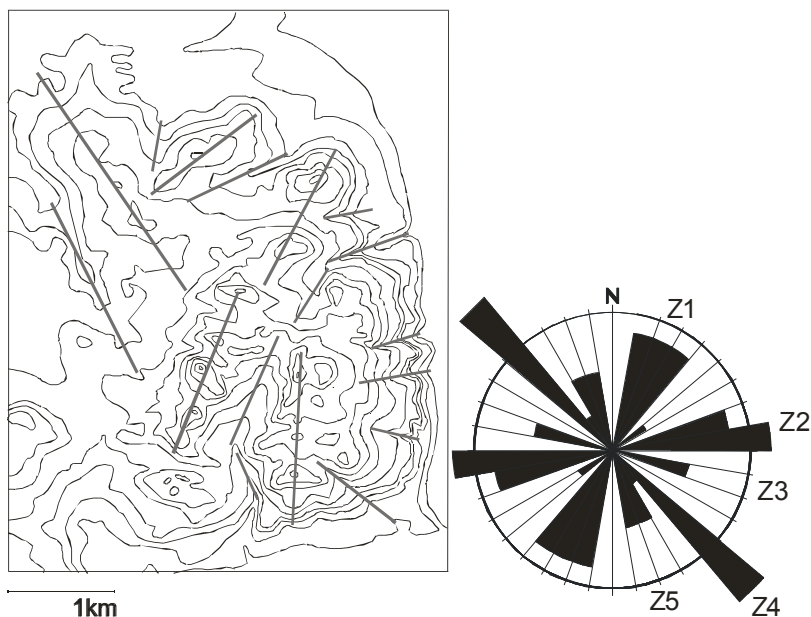
Słowa kluczowe: *linie szkieletowe terenu, GIS*

1. Wstęp

Powszechne wykorzystanie metod geoinformacyjnych jako narzędzi analitycznych w naukach o Ziemi obserwuje się od końca lat 80. XX w. Z punktu widzenia przedmiotu badań nauk geograficznych, dostępne obecnie metody oraz programy geoinformacyjne w głównej mierze stanowią gotowe narzędzia badawcze. Na gruncie nauk geograficznych na ogół nie tworzy się nowych algorytmów, natomiast wskazuje się szereg nowych możliwości ich wykorzystania. W opracowaniu przedstawiono możliwość wykorzystania narzędzi służących głównie do badań hydrologicznych i do analiz geomorfologicznych. Autorzy starają się wykazać, że rozszerzenie ArcHydro do oprogramowania ArcGIS może stanowić jedną z alternatywnych metod automatycznego generowania linii szkieletowych powierzchni terenu, dając jednocześnie wyniki w miarę zbliżone do tych uzyskanych technikami tradycyjnymi. Stanowi to główny cel tego opracowania.

2. Analizy danych kierunkowych metodami tradycyjnymi

Do najczęściej stosowanych metod geoinformacyjnych w badaniach geomorfologicznych można zaliczyć operacje na rastrach, gdzie na podstawie cyfrowego modelu wysokościowego (DEM) wyznacza się podstawowe atrybuty topograficzne, takie jak: nachylenie stoków, ich ekspozycję czy też krzywiznę (Placek 2008, Urbański 2008, Tomczyk, Ewertowski 2009). Mapy pochodne DEM, oprócz przeznaczenia podstawowego, mają również szerokie zastosowania aplikacyjne, m.in. w prognozowaniu współczesnych procesów geomorfologicznych, takich jak np. osuwiska (Długosz, Gębica 2008, Tyszkowski 2008). Inną metodą badawczą stosowaną w naukach geologicznych i geomorfologicznych jest wyznaczenie lineamentów różnych obiektów, elementów czy też całych form terenu. Na przykład w geomorfologii i geologii czwartorzędu próbuje się szukać różnego rodzaju prawidłowości pomiędzy rozmieszczeniem i przebiegiem form terenu powierzchni kopalnych i współczesnych (rys. 1).



Rys. 1. Szkic hipsometryczny oraz lineamenty topograficzno-morfologiczne Pagórków Warciańskich

Źródło: M. Jaskulski (2008)

W tym celu na podstawie zdjęć satelitarnych i lotniczych lub na podstawie cyfrowych modeli wysokościowych dokonuje się wyznaczanie linii określających przebieg np. form tektonicznych lub form powierzchni terenu. Nakładając na siebie mapy lineamentów dla różnych powierzchni kopalnych wraz z siecią

uskoków, bardzo często można zaobserwować ich wzajemną korelację, będącą podstawą do wysuwania wielu wniosków. Badania takie są typowe zarówno w światowych pracach geologicznych (Allen 1975, Campbell 1976, Jacobi 2002), jak i w polskich opracowaniach geomorfologicznych (Molewski 2007, Jaksa, Szmidt 2008, Jaskulski 2008).

Metodą tradycyjną dokonywano głównie wyznaczania lineamentów niektórych form terenu, takich jak: wydmy, kemy czy ozy, gdzie ich kierunek wskazywał na przebieg procesów geomorfologicznych. Do podstawowych wad tej metody należała pracochłonność oraz duża subiektywność pomiarów w przypadku form złożonych o nieregularnych kształtach (rys. 1).

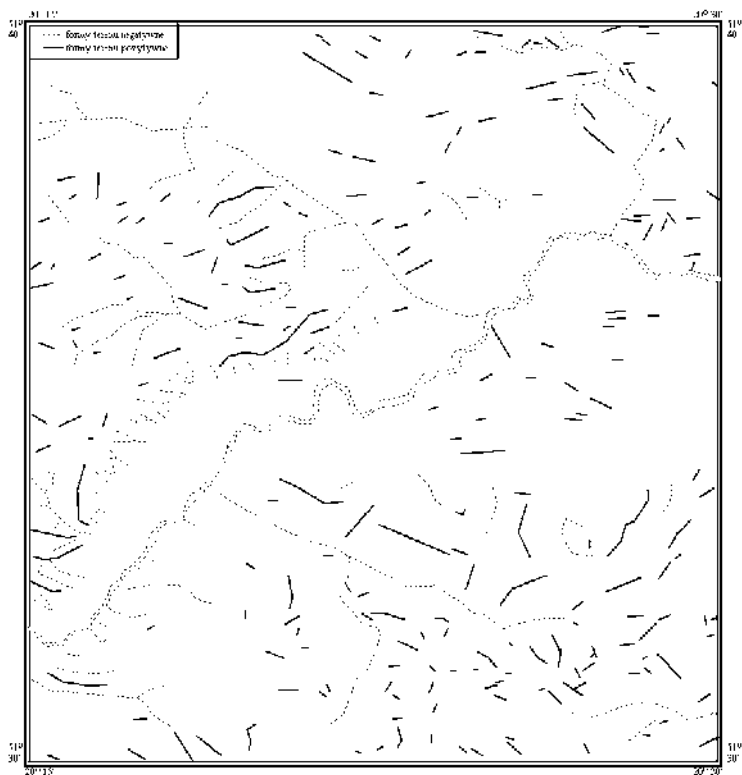
Z reguły po wyznaczeniu na kalce technicznej liniijką oraz kątomierzem poszukiwanych linii, autorzy dokonywali pomiarów, które następnie były poddawane obróbce statystycznej. W wyniku tego otrzymywano wykresy kierunkowe na siatkach stereograficznych, które dostarczały ważnych informacji mogących służyć poszukiwaniom korelacji z innymi badanymi strukturami geologicznymi (Rutkowski 1995).

W momencie osiągnięcia przez komputery odpowiedniej wydajności, możliwe stało się wczytywanie map o dużej rozdzielczości do pamięci komputera, a następnie dokonania dalej jeszcze ręcznego pomiaru, jednak już nie za pomocą kątomierza, lecz przy użyciu funkcji pomiarów kątów (np. program graficzny GIMP, ImageJ).

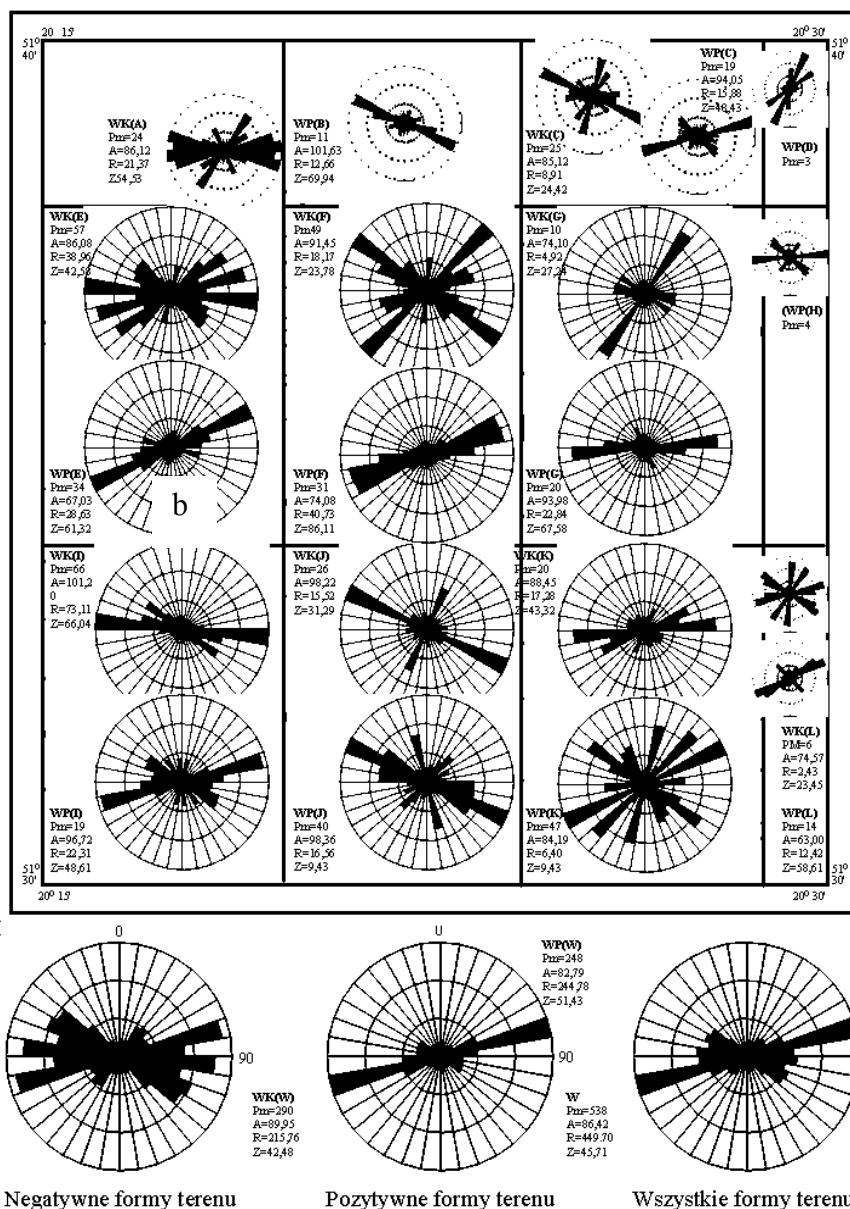
Rzadziej stosowaną metodą w badaniach geomorfologicznych, za to częściej w dydaktyce, jest wyznaczanie linii szkieletowych terenu (rys. 2). Termin ten jest różnie rozumiany przez kartografię tradycyjną oraz systemy informacji geograficznej. W pierwszym przypadku, w podręcznikach linie te opisuje się jako osie dolin (linie ściekowe lub ciekowe) oraz grzbiety form (linie grzbietowe). W drugim przypadku za linie szkieletowe uważa się dodatkową informację morfometryczną poprawiającą jakość numerycznego modelu terenu (Urbański 2008). Do tego typu obiektów powierzchni terenu można zaliczyć np. skarpy i bardzo strome zbocza, których nie można przedstawić za pomocą rysunku poziomicowego, a tym bardziej za pomocą numerycznego modelu terenu.

Od strony analizy geometrycznej linie szkieletowe przecinają się z poziomiami prostopadle, w miejscach ich największego wygięcia. Jeżeli wygięte poziomic skierowane są wypukłością w stronę spadku – to przedstawiają grzbiet i tam, prostopadle do miejsc największego wygięcia poziomic rysujemy linię grzbietową. Jeżeli wygięte poziomic skierowane są wypukłością przeciwnie do spadku terenu, to obrazują dolinę. Tam, prostopadle do miejsc największego wygięcia poziomic, rysujemy oś dolinną z zaznaczonym kierunkiem spływu wody. W wyniku tego otrzymujemy linie grzbietowe (rys. 3b), będące jednocześnie linią działu wodnego, oraz linie dolinne (rys. 3a), będące najczęściej miejscem koncentracji odpływu.

W rzeczywistości jednak wyznaczanie lineamentów na podstawie rysunku poziomicowego jest dość skomplikowane ze względu na nieregularność, nierówność, nierównoległość poziomic. Rzeźba powierzchni terenu przedstawiana za pomocą rysunku poziomicowego najczęściej daleka jest od takiego wyidealizowanego wzoru jak na rysunku 3. Dodatkowo należy stwierdzić, że metoda wyznaczania linii szkieletowych jest dość subiektywna i narażona na liczne błędy podczas oceny i pomiarów dokonywanych przez człowieka. Należy uwzględnić również to, że prace takie wykonuje się na rysunku poziomicowym, będącym uproszczeniem obrazu ukształtowania powierzchni terenu, zniekształconym dodatkowo podczas procesu interpolacji. Na przykład w trakcie prac prowadzonych techniką tradycyjną wygładza się poziomicę i prowadzi zgodnie z zasadą współkształtności (Piątkowski i in. 1961). W wyniku tego przebieg wielu linii szkieletowych terenu może być nieco odmienny niż jest to w rzeczywistości w terenie.

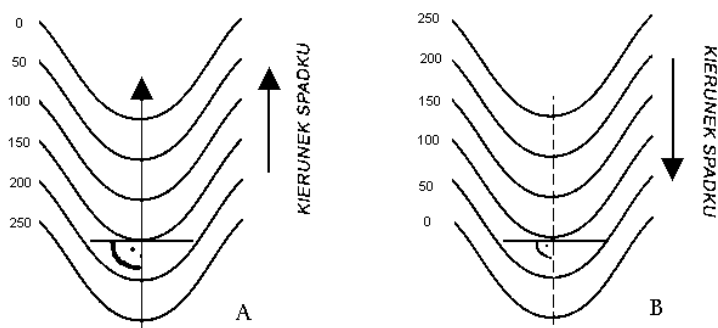


Rys. 2a. Osie dłuższe głównych form podłoża czwartorzędowego w rejonie pomiędzy Inowłódzem a Nowym Miastem nad Pilicą według A. Szmidta (2004) na podstawie Szkicu odkrytego załączonego do Objasnień do arkusza SMGP Rzeczyca
Źródło: P. Kłoda (1993)



Rys. 2b. Osie dłuższe głównych form podłoża czwartorzędu (diagramy kierunkowe) w rejonie pomiędzy Inowłodzem a Nowym Miastem nad Pilicą według A. Szmida (2004) na podstawie Szkicu odkrytego załączonego do Objśnień do arkusza SMGP Rzeczyca

Źródło: P. Kłoda (1993)



Rys. 3. Interpretacja rysunku poziomicowego przy tradycyjnym sposobie wyznaczania linii szkieletowych terenu

Źródło: opracowanie własne

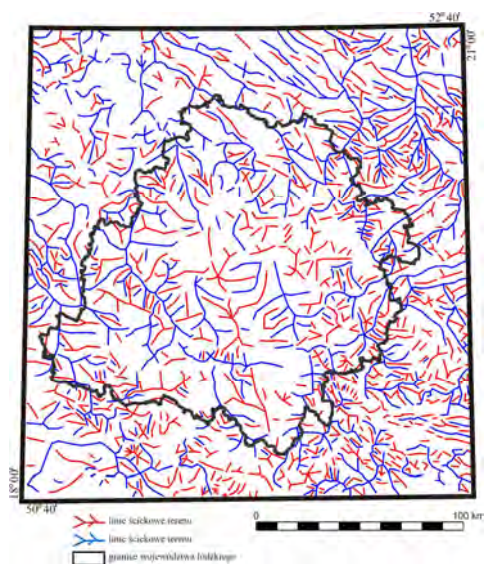
Zamieszczony powyżej krótki opis problemu obrazuje pracochłonność prowadzonych tego typu pomiarów. Wskazuje to potrzebę poszukiwań metod automatycznego wyznaczania linii szkieletowych terenu. Oprócz przyspieszenia prac metody takie powinny zmniejszyć subiektywność pomiarów wykonywanych przez człowieka oraz zapewnić ich powtarzalność. Za przykład takich propozycji można wskazać badania Y.C. Changa i in. (1998) i F. Gülgena i T. Gökgöza (2004). Autorzy ci testowali możliwość wykorzystania algorytmów, napisanych pod kątem wykrywania omawianych linii w zapisie obrazu powierzchni terenu. Badania te, wykonane na podstawie DEM, powstały na bazie map topograficznych w skali 1:5000 i w ocenie autorów niniejszego opracowania metody te mogą stanowić jedno z rozwiązań omawianego problemu.

Jak wcześniej zasygnalizowano, rolą geografów jest także wskazywanie nowych możliwości wykorzystania już istniejących algorytmów komputerowych lub znajdowanie innych ścieżek rozwiązania problemu badawczego. W przypadku tego opracowania autorzy zdecydowali się przetestować możliwość wykorzystania popularnych i łatwo dostępnych narzędzi GIS do wyznaczania linii szkieletowych terenów.

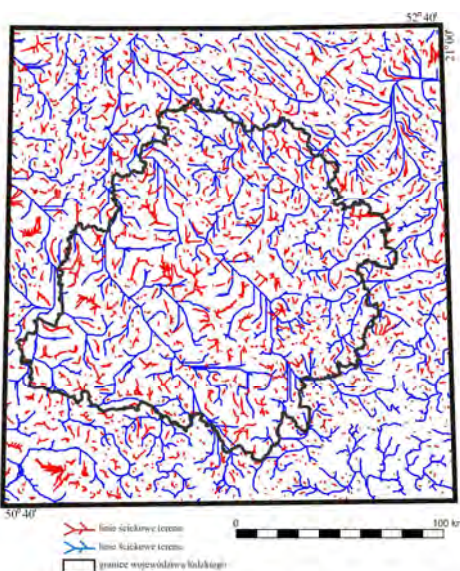
3. Metody automatyczne

W celu porównania tradycyjnej metody wyznaczania linii szkieletowych terenu (rys. 4) z metodą automatyczną (rys. 5) testowi poddano mapę ukształtowania powierzchni czwartorzędu, wygenerowaną przez A. Szmidt (2012) na podstawie rysunku poziomicowego, zamieszczonego na Mapach geologicznych Polski bez utworów czwartorzędowych w skali 1:200000, Arkusz Konin (Ciuk 1979), Arkusz Płock (Baraniecka, Skompski 1978), Arkusz Warszawa-Zachód (Słowański i in. 1995), Arkusz Kalisz (Baranowski, Mańkowska 1972), Arkusz

Łódź (Piwocki 1980), Arkusz Skierniewice (Makowska 1973), Arkusz Kluczbork (Haisig i in. 1979), Arkusz Częstochowa (Haisig, Bierut 1980), Arkusz Kielce (Filonowicz 1978). Dane do analizowanej warstwy tematycznej pozyskano za pomocą ręcznej digitalizacji poziomic ze skanów map geologicznych w programie Surfer 8. Ze względu na to, że w programie Surfer 8 georeferencja została oparta tylko na dwóch punktach referencyjnych, w kolejnym kroku dokonano korekty georeferencji już zdigitalizowanych poziomic w programie ESRI ArcGIS 9.1. Interpolację tak pozyskanych i przetworzonych punktów opisujących poziomicę ponownie dokonano w programie Surfer 8, metodą naturalnych sąsiadów. Porównanie rysunków poziomicowych na mapach źródłowych z rastrami wynikowymi wykazało, że w przypadku tego typu danych metoda naturalnych sąsiadów daje obraz rastrowy najbardziej zbliżony do rysunku poziomicowego, wykreślonego techniką tradycyjną.



Rys. 4. Linie szkieletowe terenu
wyznaczone techniką tradycyjną
Źródło: opracowanie własne



Rys. 5. Linie szkieletowe terenu
wyznaczone w programie ArcGIS 9
za pomocą rozszerzenia ArcHydro
Źródło: opracowanie własne

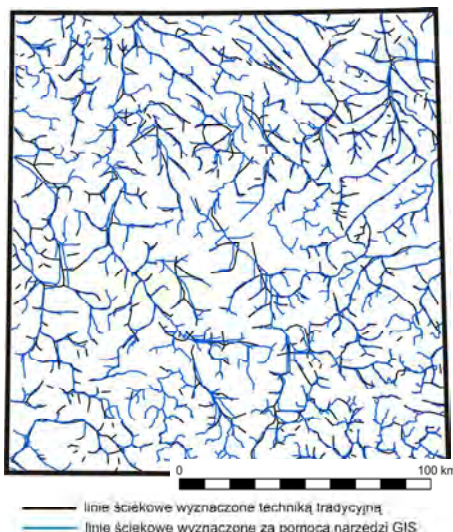
W kolejnym kroku raster po dostosowaniu formatu zapisu danych poddano analizom za pomocą oprogramowania komputerowego. Próby wyznaczenia linii grzbietowych w oprogramowaniu MicroDem nie przyniosły satysfakcjonujących wyników. Obraz linii szkieletowych wygenerowany w tym programie w dużej mierze nie pokrywał się z tym, uzyskanym techniką tradycyjną. W tym celu dokonano próby wykorzystania narzędzi związanych z modelowaniem hydro-

logicznym, służących m.in. do wyznaczania obszarów zlewni. Poniższe przekształcenia wykonano metodą wyznaczania zlewni elementarnych zaproponowaną przez D.R. Maidment (2002) (Urbański 2008, Gudowicz, Zwoliński 2009):

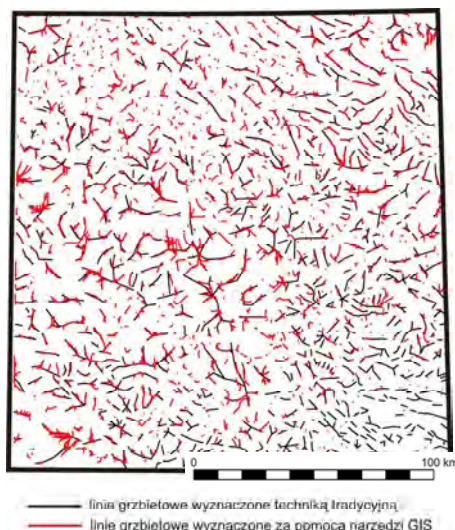
1. Wypalanie sieci rzecznej (*dem reconditioning*),
2. Wypełnienie zagłębień (*fill sinks*) likwidujące miejsca zagłębień bezodpływowych, których obraz może powstać podczas procesu interpolacji.
3. Tworzenie mapy kierunku spływu (*flow direction*).
4. Tworzenie mapy akumulacji spływu (*flow accumulation*).
5. Definiowanie cieków wodnych.
6. Segmentacja cieków wodnych.

Z uwagi na to, że analizowana powierzchnia była reliefem kopalnym, pominięto etap pierwszy, uwzględniający w cyfrowym modelu wysokościowym przebieg faktycznych cieków wodnych. W przypadku wykrywania linii szkieletowych na powierzchni współczesnej, warto również rozpatrzyć pominięcie tego kroku, ponieważ głównym celem obliczeń nie są wydzielania i analizy hydrologiczne realnych zjawisk, lecz wychwycenie wszelkich miejsc, którymi teoretycznie mógłby zachodzić spływ wody. Proces wypełniania zagłębień w danych rastrowych, tworzenie map kierunku spływu oraz akumulacji spływu wykonane zostało w module ArcHydro automatycznie. Problem natomiast może się pojawić na etapie definiowania cieków wodnych na podstawie warstw wygenerowanych wcześniej. W prognozowaniu hydrologicznym na odpowiednich modelach należy ustalić wartość, od której nastąpi koncentracja wody w zlewniach elementarnych, mogąca przekształcić się w spływ liniowy. W przypadku tego opracowania, aby ustalić linie ciekowe terenu, należało przyjąć, że wszystkimi liniami ciekowymi powinna płynąć woda. Warunkowało to wskazanie oprogramowaniu najniższych wartości przy określaniu parametrów funkcji definiowania cieków oraz skonfrontowanie wyników z mapą poziomową. Po uzyskaniu satysfakcjonującego wyniku dane z rastra wynikowego zostały wyeksportowane do formy wektorowej jako obiekty liniowe (rys. 5–6).

Trudniejsze do realizacji tą metodą jest wyznaczenie linii grzbietowych terenu. Teoretycznie może się wydawać, że ich obrazem powinien być negatyw mapy akumulacji spływu. Niestety, metoda obliczania kierunku spływu oraz akumulacji spływu generuje duże obszary, gdzie spływ nie powinien zachodzić, co nie daje podstaw do wyznaczenia obiektów liniowych. Częściowym rozwiązaniem tego problemu może być stworzenie negatywu rastra wejściowego za pomocą funkcji *negate* w rozszerzeniu *Spatial Analyst* programu ArcGIS. Użytkany w ten sposób negatyw odwraca formy terenu, czyli doliny stają się grzbietami, grzbiety zaś strefami spływu.



Rys. 6. Zestawienie linii ciekowych terenu wyznaczonych techniką tradycyjną oraz za pomocą rozszerzenia ArcHydro
Źródło: opracowanie własne



Rys. 7. Zestawienie linii grzbietowych terenu wyznaczonych techniką tradycyjną oraz za pomocą rozszerzenia ArcHydro
Źródło: opracowanie własne

Należy jednak uwzględnić, że tak uzyskany obraz stanowi nietypowy zespół form z punktu widzenia geomorfologii i hydrologii, ponieważ w miejscach faktycznie istniejących wzniesień generowane są obszary bezodpływowe (rys. 5–7). Rodzi się wówczas pytanie, czy ma wówczas sens użycie funkcji wypełnienia zagłębień (*fill sinks*). Obrazy map wynikowych pokazują, że lepsze rezultaty daje zastosowanie tej funkcji jeszcze na rastrze źródłowym, a dopiero w kolejnym kroku wykonanie jego negatywu. Nałożenie na siebie linii grzbietowych wyznaczonych techniką tradycyjną oraz komputerową wskazuje na mniejszą zgodność uzyskanych wyników niż w przypadku linii ściekowych (rys. 6–7).

4. Podsumowanie

Przeprowadzone próby wykazały, że moduł ArcHydro oraz zaimplementowane w niego funkcje mają również przydatność do analiz geomorfometrycznych. Wygenerowane za pomocą tego oprogramowania linie szkieletowe terenu są zgodne z oczekiwaniami, szczególnie w przypadku linii ciekowych terenu. Zestawienie obrazów linii ciekowych wyznaczonych techniką tradycyjną z obrazem linii wyznaczonych za pomocą modułu ArcHydro wykazują duże podobieństwo, zarówno jeśli chodzi o długość obiektów, jak i ich kształt (rys. 6). Niewielkie różnice występują tylko w ilości wydzieleni małych cieków, co może

wynikać głównie z dużej subiektywności odbioru mapy przez człowieka i większej możliwości popełniania przez niego błędów podczas pomiarów. Zdaniem autorów, przedstawiona tutaj automatyczna metoda wyznaczania linii ciekowych terenu posiada przewagę nad metodą tradycyjną przy analizie względnie dużych obszarów, charakteryzujących się małymi deniwelacjami terenu. Algorytm komputerowy z reguły potrafi precyzyjniej wyliczyć środek danej formy, człowiekowi zaś trudno jest dokonać właściwej interpretacji przebiegu szukanej osi. Omawiany problem dobrze jest uwidoczniiony w NW części analizowanego obszaru (rys. 6), który na mapach ukształtowania powierzchni podczwartorzędowej charakteryzuje się małymi deniwelacjami powierzchni. W strefie tej zaznacza się wyraźna dysproporcja w ilości i jakości wydzielen lineamentów na korzyść metody automatycznej.

Algorytm wyznaczania zlewni elementarnych, zawarty w module ArcHydro, daje natomiast gorsze rezultaty niż metoda tradycyjna w przypadku wyznaczania linii grzbietowych. Bazowanie na sumowaniu wartości z kolejnych komórek rastra powoduje, że w miejscach grzbietów, przekształconych wcześniej za pomocą narzędzia *negate* na strefy obniżień, wyliczane są duże obszary koncentracji linii ciekowych (rys. 7). Ponadto generowana jest dużo większa ilość samych wydzielen niż przy metodzie tradycyjnej. Poza tymi miejscami, kierunku, ilość oraz długość wydzielonych elementów jest podobna dla obu metod pomiarowych.

Zdaniem autorów, przedstawiony powyżej zestaw narzędzi zawarty w module ArcHydro może stanowić jedną z alternatywnych metod automatycznego generowania linii szkieletowych powierzchni terenu, przyspieszając znacząco czas wykonywania pomiarów oraz zwiększając ich precyzję i porównywalność.

Literatura

- Allen C.R., 1975, *Geological criteria for evaluating seismicity*, „Geological Society of America Bulletin”, 5, s. 86.
- Baraniecka M.D., Skompski S., 1978, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Płock, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Baranowski J., Mańkowska A., 1972, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Kalisz, wyd. B, Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Campbell R.H., 1976, *Structural features related to earthquakes in Managua, Nicaragua and Cordoba. Mexico*, „Geological Survey Professional Paper”, 929.
- Chang, Y.C., Hsu, S.K., Song, G.S., 1998, *Automatic extraction of ridge and valley axes Using the profile recognition and polygon breaking algorithm*, „Computers & Geosciences”, 24 (1), s. 83–93.

- Ciuk E., 1979, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Konin*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Długosz M., Gębica P., 2008, *Geomorfologiczne skutki oraz rola lokalnych ulew i powodzi w kształtowaniu rzeźby progu Pogórza Karpackiego (na przykładzie ulewy z marca 2006 r. w rejonie Sędziszowa Młp.)*, [w:] Florek W., *Rola procesów ekstremalnych w kształtowaniu rzeźby*, Landform Analysis, t. 8, Poznań, s. 13–20.
- Filonowicz P., 1978, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Kielce*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Gülgen F., Gökgoz T., 2004, *Automatic extraction of terrain skeleton lines from digital elevation models*, 20th ISPRS Congress, 12–23 July 2004, Instambul.
- Gudowicz J., Zwoliński Z., 2009, *Geoinformacyjne modelowanie hydrologiczne*, [w:] Zwoliński Z. (red.), *GIS platforma integracyjna geografii*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 101–114.
- Haisig J., Biernat S., 1980, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Częstochowa*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Haisig J., Wilanowski J., Biernat S., Kaziuk H., Kotlicki S., 1979, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Kluczbork*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Jacobi R.D., 2002, *Basement faults and seismicity in the Appalachian Basin of New York State*, [w:] Fakundiy R.H., Jacobi R.D., Lewis C.F.M. (red.), *Tectonophysics, Neotectonics and Seismicity in the Eastern Great Lakes Basin*, t. 353, s. 75–113.
- Jaksa A., Szmidt A., 2008, *Wpływ tektoniki dysjunktywnej na rozmieszczenie kemów na obszarze województwa łódzkiego w świetle analizy kartograficznej*, [w:] Florek W., Kaczmarzyk J. (red.), *Współczesne problemy geomorfologii*, Landform Analysis, t. 9, Poznań, s. 146–191.
- Jaskulski M., 2008, *Zaburzenia dysjunktywne w kemach regionu łódzkiego*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Łódź.
- Kłoda P., 1993, *Objaśnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50000, ark. Rzeczyca*, PIG, Warszawa.
- Maidment D.R., 2002, *Arc Hydro. GIS for Water Resources*, ESRI Press, Redlands.
- Makowska A., 1973, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Skierniewice*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Molewski P., 2007, *Geotektoniczne i glacydynamiczne uwarunkowania wykształcenia plejstocenu Wysoczyzny Kujawskiej*, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń.
- Piątkowski F., Rokocki J., Dmochowski J., Słupczyński B., 1961, *Atlas kartowania form terenu Polski*, PPWK, Warszawa.
- Piwocki M., 1980, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Łódź*, wyd. B, *Mapa geologiczna odkryta, bez utworów czwartorzędowych*, PIG, Warszawa.
- Placek A., 2008, *Zastosowanie numerycznego modelu terenu w geomorfologii strukturalnej na przykładach z obszaru Sudetów*, [w:] Florek W., Kaczmarzyk J. (red.), *Współczesne problemy geomorfologii*, Landform Analysis, t. 9, Poznań, s. 364–368.
- Rutkowski J., 1995, *O strukturach kierunkowych i sposobach ich przedstawiania*, [w:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), *Badania osadów czwartorzędowych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, s. 204–220.

- Słowański W., Piechulska-Słowańska B., Gogołek W., 1995, *Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000 ark. Warszawa-Zachód*, Polska Agencja Ekologiczna, Warszawa.
- Szmidt A., 2004, *Wpływ podłoża mezozoicznego na rzeźbę w rejonie doliny Pilicy pomiędzy Inowłodzem a Nowym Miastem nad Pilicą*, [w:] Sołtysik R. (red.), *Czwartorzęd obszaru Polski na tle struktur starszego podłoża*, Prace Instytutu Geografii Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach, nr 13, Kielce, s. 125–139.
- Szmidt A., 2012, *Wpływ podłoża na rzeźbę i osady czwartorzędu na obszarze województwa łódzkiego w świetle wybranych metod GIS*, maszynopis rozprawy doktorskiej, Łódź.
- 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.
- Tyszkowski S., 2008, *Badania rozwoju osuwisk w rejonie Świecia na podstawie materiałów fotogrametrycznych*, [w:] Florek W., Kaczmarzyk J. (red.), *Współczesne problemy geomorfologii*, Landform Analysis, Vol. 9, Poznań, s. 385–389.
- Urbański J., 2008, *GIS w badaniach przyrodniczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk.

EVALUATE THE USEFULNESS OF AUTOMATIC EXTRACTION OF TERRAIN SKELETON LINES IN GEOMORPHOMETRY RESEARCH

The aim of following article is to present and evaluate possibility of automatic extraction of terrain skeleton lines using computational methods from Digital Elevation Model (DEM). Authors describe examples of morphological analysis in geomorphology, difficulty and time-consuming of executing of this kind of research using traditional, manual methods. Topography map of quaternary ground of Lodz Region has been analyzed. Firstly terrain skeleton lines were traced using traditional ways. After that lines were generated and analyzed by using ArcGIS software with ArcHydro and SpatialAnalyst extensions. Both of received maps were compared and evaluated.

Keywords: *terrain skeleton lines, GIS*

Dr Marcin Jaskulski
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Instytut Geografii Miast i Turyzmu, Zakład Geoinformacji
e-mail: jaskul@geo.uni.lodz.pl

Dr Aleksander Szmidt
Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych,
Katedra Geografii Fizycznej
e-mail: olo_mineralny@geo.uni.lodz.pl