

Metody morfometryczne w badaniach geomorfologicznych regionu lubelskiego

Morphometric methods in geomorphological research of the Lublin Region

Teresa Brzezińska-Wójcik*, Leszek Gawrysiak, Łukasz Chabudziński

Instytut Nauk o Ziemi, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Al. Kraśnicka 2c,d, 20-817 Lublin

Zarys treści: W artykule dokonano przeglądu prac, w których zastosowano metody morfometryczne zmierzające do analizy i uwydatnienia cech geomorfologicznych regionu lubelskiego. Szczególną uwagę zwrócono na możliwość wykorzystania wskaźników morfometrycznych do: oceny mobilności neotektonicznej obszaru, zwłaszcza Rostocza i Wyżyny Lubelskiej, analiz zależności pomiędzy orientacją i kształtem głównych form rzeźby a orientacją uskoku lub/i mezostruktur tektonicznych, szacowania rozmiarów erozji wąwozowej na Wyżynie Lubelskiej (zwłaszcza na Płaskowyżu Nałęczowskim) i Rostocz Gorajskim oraz wydzielania regionów geomorfologicznych Wyżyny Lubelskiej w oparciu o wysokości względne i średnie oraz poziomy denudacyjne. Przywołano również próbę zastosowania metod morfometrycznych do szacowania głębokości podłoża i pomiarów miąższości osadów plejstoceno-holoceno, w dolinie Sopotu na Rostocz Tomaszowskim. Duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza w planowaniu przestrzennym, może mieć mapa średnich nachyleń, która dobrze oddaje zróżnicowanie spadków terenu w odniesieniu do budowy geologicznej analizowanego obszaru. Metody morfometryczne pozwalają na prezentowanie przestrzennego rozmieszczenia form, zjawisk i procesów oraz ich ocenę. Oprócz tego umożliwiają interpretację struktury analizowanych obszarów, jak również rozważania natury paleogeograficznej.

Słowa kluczowe: metody morfometryczne, region lubelski

Abstract: The article provides a review of the studies where morphometric methods were used to analyse and highlight the geomorphological settings of the Lublin Region. Special emphasis was given to the possibility of using morphometric coefficients in: the evaluation of the neotectonic mobility of the area, particularly the Lublin Upland and Rostocze, an analysis of the relations between the orientation and shape of main relief forms and the orientation of faults and/or tectonic mesostructures, assessing the extent of gully erosion in the Lublin Upland (particularly in the Nałęczów Plateau) and Goraj Rostocze, and distinguishing the geomorphological regions of the Lublin Upland on the basis of relative and mean altitudes and denudation horizons. An attempt at using morphometric methods to estimate the depth of the basal complex and to measure the thickness of Pleistocene and Holocene deposits in the Sopot Valley in Tomaszów Rostocze has also been discussed. Map of average slope, due to accurate depiction of the diversity of relief inclination with connection to geological structure, can be of large practical importance, especially for spatial planning. Morphometric methods allow for presenting spatial distribution of forms, phenomena and processes, as well as their evaluation. In addition, they allow for interpreting the structure of studied areas and reflexions of paleogeographical nature.

Key words: morphometric methods, Lublin region

* e-mail: tbrzezin@poczta.umcs.lublin.pl

Wprowadzenie

Istotą morfometrii jest matematyczno-geometryczne ujęcie zespołu form terenu oraz pokazanie ich przestrzennego zróżnicowania, jak również interpretacja zachodzących pomiędzy nimi związków. Morfometria rozwinęła się w połowie XIX wieku. W miarę gromadzenia coraz większej ilości danych o rzeźbie Ziemi, zdefiniowano morfometrię oraz określono jej cele i metody badań. Jej rozwój rozpoczął się wraz z pojawieniem się szczegółowych map topograficznych. Wówczas rozpoczęto stosowanie, oprócz prostych miar (wysokości średnie i względne), także wskaźników morfometrycznych, takich jak m. in. krzywe hipsograficzne i klinograficzne. Celem metod morfometrycznych był opis charakterystycznych cech rzeźby oraz określenie genezy i ewolucji niektórych form terenu. Zakres prac morfometrycznych, opartych na kartometrii, jest stosunkowo szeroki i obejmuje charakterystyki obiektów oraz różne wskaźniki absolutne i względne (m. in. Birot, 1955a, b; Clarke, 1966; Pike, 1995; Wilson, Galant, 2000; Evans, 2004; Pike i in., 2008).

W polskiej literaturze ukazało się kilka opracowań, m. in. Zaborskiego (1931), Strady (1931/1932), Malickiego (1955), Szumowskiego (1967), Dobiji i Dynowskiej (1975), Żyszkowskiej (1978) oraz Dobiji (1979), podejmujących próbę podsumowania osiągnięć morfometrii.

Istotnym zagadnieniem w zakresie podstawy porównywalności wyników badań morfometrycznych jest kształt i rozmiar powierzchni odniesienia. Zasady podziałów logicznych wskazywałyby na dobieranie pól o kompleksowej wartości merytorycznej oraz jednakowym kształcie i wielkości. Podstawą porównywalności wyników jest bowiem wykonanie badań w jednakowych polach podstawowych, a uzyskane wartości są podstawą porównywalności zjawisk. W literaturze przedmiotu stosowano zarówno regularne pola wieloboczne (m. in. Gontarska, 1929; Gajda, 1929), jak i pola o kształcie koła (Thauer, 1955) oraz pola naturalne, m. in. zlewnie różnego rzędu (m. in. Zaborski, 1931/1932; Horton, 1945). Zagadnienie pól podstawowych szczegółowo omówił Mościbroda (1981). W regionie lubelskim wykorzystywano różne metody morfometryczne umożliwiające analizę procesów morfogenetycznych oraz zmierzające do określenia cech morfometrycznych zespołów form, różnych pod względem genezy. W dotychczasowych badaniach stosowano metody morfometryczne do: 1) szacowania młodej mobilności tektonicznej obszaru, 2) konstruowania map –

podłoża i miąższości osadów plejstoceno-holoceno, 3) określania zależności pomiędzy orientacją i kształtem głównych form rzeźby a orientacją uskoku lub/i mezostruktur tektonicznych, 4) szacowania rozmiarów erozji, 5) wydzielania regionów krajobrazowych/geomorfologicznych/fizycznych. Niniejsze opracowanie jest próbą przeglądu metod morfometrycznych stosowanych dotychczas w regionie lubelskim.

Charakterystyka regionu lubelskiego

Region lubelski, zwany także Lubelszczyzną obejmuje, w ogólnych zarysach, środkową i południową część międzyrzecza Wisły i Bugu. Podstawowe rysy ukształtowania powierzchni analizowanego obszaru wiążą się głównie z fazami młodoalpejskimi orogenezy laramijskiej, zaś jej drugorzędne cechy uwarunkowane są ułożeniem i własnościami odsłaniających się na powierzchni skał górnokredowych, paleogeneńskich (eocen) i wczesnoneogeneńskich (miocen) oraz osadów czwartorzędowych (Maruszczak, 1972; Harasimiuk, 1980; Świeca, Brzezińska-Wójcik, 2009). W regionie lubelskim można wyróżnić trzy części, wchodzące w skład równoleżnikowo rozciągających się pasów krajobrazowych Polski. Należą do nich: na północy – niziny środkowopolskie, w części środkowej – wyżyny południowopolskie, na południu – obniżenia przedgórskie (Maruszczak, 1972).

Północny pas nizinny obejmuje tereny Niziny Mazowieckiej oraz Niziny Polesia: Zachodniego i Południowego (Kondracki, Richling, 1994). W części mazowieckiej wysokości bezwzględne mieszczą się przeważnie w przedziale 160-200 m, a deniwelacje nie przekraczają 30 m. W części poleskiej duży udział mają równiny akumulacji rzecznej i jeziornej. W granicach równin jeziornych wzniesionych 155-165 m n.p.m. o deniwelacjach do 10 m, występują rozległe powierzchnie torfowiskowe z osadami organogenicznymi (gytie, torfy) o miąższości do kilkunastu metrów (Buračzyński, Wojtanowicz, 1982; 1988; 1990; Gardziel, Nowak, 1994; 1996; Dobrowolski, 1998; Dobrowolski, Harasimiuk, 2002). Pas ten wyróżnia się dużą gęstością sieci rzecznej, przy niewielkiej zasobności wód podziemnych (Wilgat, 1968; Michalczyk, 1986).

Część środkowa obszaru obejmuje makroregiony o rzeźbie typowo wyżynnej: Wyżynę Lubelską, Wyżynę Wołyńską i Roztocze oraz niewielką część Kotliny Pobuża (Kondracki, Richling, 1994). Tę część charakteryzują większe i bardziej zróżni-

cowane wysokości bezwzględne. Najwyżej wyniesionym makroregionem jest tu Rostocze, w znacznej części sięgające powyżej 300 m n.p.m. W makroregionie Wyżyny Lubelskiej przeważają powierzchnie położone powyżej 200 m n.p.m. W dwóch pozostałych makroregionach pasa wyżynnego – na Wyżynie Wołyńskiej i w Kotlinie Pobuża, których tylko niewielkie części położone są w granicach Polski – warunki orograficzne są podobne jak na Wyżynie Lubelskiej. W wielu miejscach odsłaniają się na powierzchni skały górnokredowe, wykształcone jako opoki z wkładkami margli i wapieni (Świeca, Brzezińska-Wójcik, 2009). Na Rostoczu są one lokalnie przykryte przez zerodowany kompleks skał mioceńskich – głównie wapieni detrytycznych z przeławiczeniami piasków i piaskowców (Brzezińska-Wójcik, Harasimiuk, 2006). W północno-wschodniej części regionu w podłożu przeważają górnokredowe margle i kreda piaszka (Dobrowolski, 2006). Na wyniosłościach środkowej części regionu lubelskiego utwory pokrywowe stanowią lessy, a obniżenia dolinne są wypełnione osadami mineralno-organicznymi (Maruszczak, 1972; Harasimiuk, 1980; Świeca, 1998; Buraczyński, 2002; Świeca, Brzezińska-Wójcik, 2009). Na obszarach lessowych, znaczne wysokości względne (od 30-40 do 100-120 m) oraz duża podatność lessu na erozję, decydują o intensywnym rozwoju form wązowowych (Kęsik, 1961, Buraczyński, 1964; 1975; Maruszczak, 1973; Maruszczak i in., 1992). Pas wyżynny cechuje się rzadką siecią rzeczną, ale znacznymi zasobami wód podziemnych. Rozległe tereny wierzchwinowe są niemal całkowicie pozbawione wód powierzchniowych, najgęstsza sieć hydrograficzna występuje w rozległych obniżeniach, szczególnie w Kotlinach – Chodelskiej, Zamojskiej i Hrubieszowskiej (Wilgat, 1968; Michalczyk 1986).

Południowa część Lubelszczyzny należy do makroregionu Kotliny Sandomierskiej (Kondracki, Richling, 1994) i obejmuje tereny równinne i wysoczyznowe, o deniwelacjach 10-40 m (Świeca, Brzezińska-Wójcik w druku). Równiny obniżają się od 240-250 m n.p.m. przy krawędzi Rostocza do 150 m n.p.m. w dolinie Wisły i Sanu oraz 180-190 m n.p.m. w dolinie Tanwi (Starkel, 1972; Wojtanowicz, 1992). Są zbudowane głównie z piasków zwydmionych, z obszernymi płytkami i zabagnionymi zagłębieniami (Wojtanowicz, 1972; Buraczyński, 1993). Obszary wysoczyznowe, zbudowane z utworów mioceńskich z pokrywą utworów czwartorzędowych, wznoszą się od 195 do 250 m n.p.m. (Starkel, 1972; Wojtanowicz, 1992). Podobnie jak w północnym pasie nizinnym, także

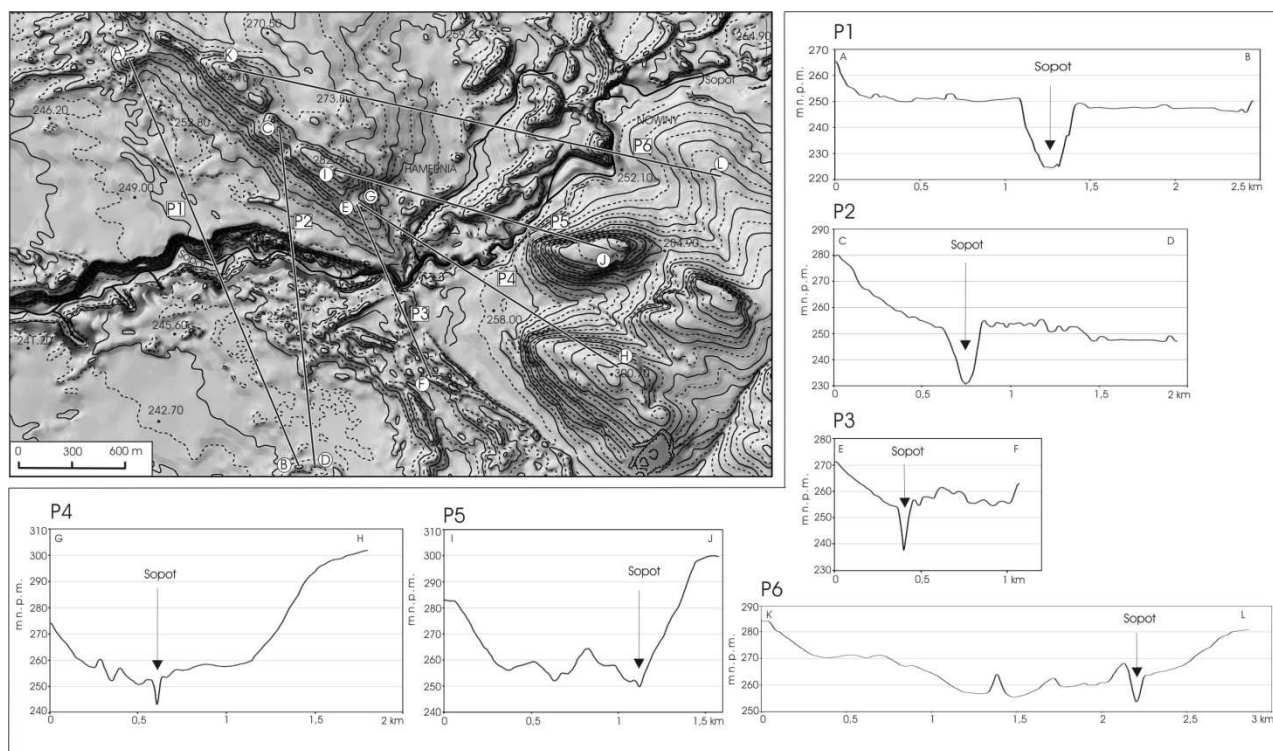
tutaj charakterystyczna jest duża gęstość sieci rzecznej, przy niewielkiej zasobności wód podziemnych (Wilgat, 1968; Michalczyk, 1986).

Wskaźniki morfometryczne zastosowane do szacowania młodej mobilności tektonicznej obszaru

Parametrami, które dość dobrze ilustrują zależność systemu rzeczego od skali pionowych ruchów wypiętrzających są współczynniki geometryczne i morfometryczne charakteryzujące zlewnie oraz morfometryczne wskaźniki liniowe charakteryzujące skarpy uskokowe – w strefie krawędzi obszaru oraz w niektórych dolinach rozcinających te krawędzie. Nie przypisując waloru ścisłości wymienionym metodom, można na ich podstawie uzyskać przybliżoną orientację co do zróżnicowania dynamicznego w obrębie jednego, dość jednorodnego geologicznie.

Do szacowania młodej mobilności tektonicznej zwłaszcza obszaru Rostocza – stosowano wskaźniki: 1) powierzchniowe dotyczące geometrycznych oraz morfometrycznych parametrów i wskaźników zlewni, 2) morfometryczne współczynniki liniowe, charakteryzujące zwykle skarpy uskokowe.

Początkowo zastosowano wskaźniki powierzchniowe określające geometryczne parametry i wskaźniki zlewni – maksymalną długość L , powierzchnię zlewni A , wskaźnik wydłużenia zlewni R_e , głównie na Rostoczu (m. in.: Brzezińska-Wójcik, 1993; Brzezińska-Wójcik, 1995; 1998b; 2002; Brzezińska-Wójcik, Hołub, 2007) oraz dla południowo-zachodniej części Wyżyny Lubelskiej (Warowna, 1993). W pierwszych pracach wskaźniki te obliczano na mapach topograficznych w skali 1:10 000 w układzie „1942” przy użyciu planimetru. Z czasem, z map topograficznych, w wyżej wymienionej skali, wygenerowano cyfrowy model terenu (Digital Terrain Model – DTM). W celu weryfikacji uzyskanych wyników, rozszerzono ilość współczynników o geometryczne wskaźniki: obwodu zlewni P , średniej szerokości zlewni W , wskaźnika kolistości zlewni R_k , wskaźnika kształtu zlewni R_p , wskaźnika lemniskaty k oraz o morfometryczne parametry i wskaźniki – wysokości maksymalnej H_{max} , wysokości minimalnej H_{min} , wysokości średniej H_{sr} , maksymalnej deniwelacji H , wskaźnika rzeźby/urzeźbienia Rh (C_F) i wskaźnika wysokości względnych Rhp charakteryzujących wydzielone zlewnie (Brzezińska-Wójcik i in.,



Ryc. 1. Poprzeczne przekroje przez przełomowy segment doliny Sopotu wraz z lokalizacją – P1, P2...P6 (numer przekroju) na podstawie Mapy Topograficznej 1:10 000, arkusz 156.432.Hamernia. Opracowały Brzezińska-Wójcik, Hołub (2007)

Fig. 1. Transverse cross-section of the water gap segment of the Sopot Valley with localisation – P1, P2...P6 (profile number) based on the Topographic Map 1:10 000, sheet 156.432.Hamernia. Compiled by Brzezińska-Wójcik, Hołub (2007)

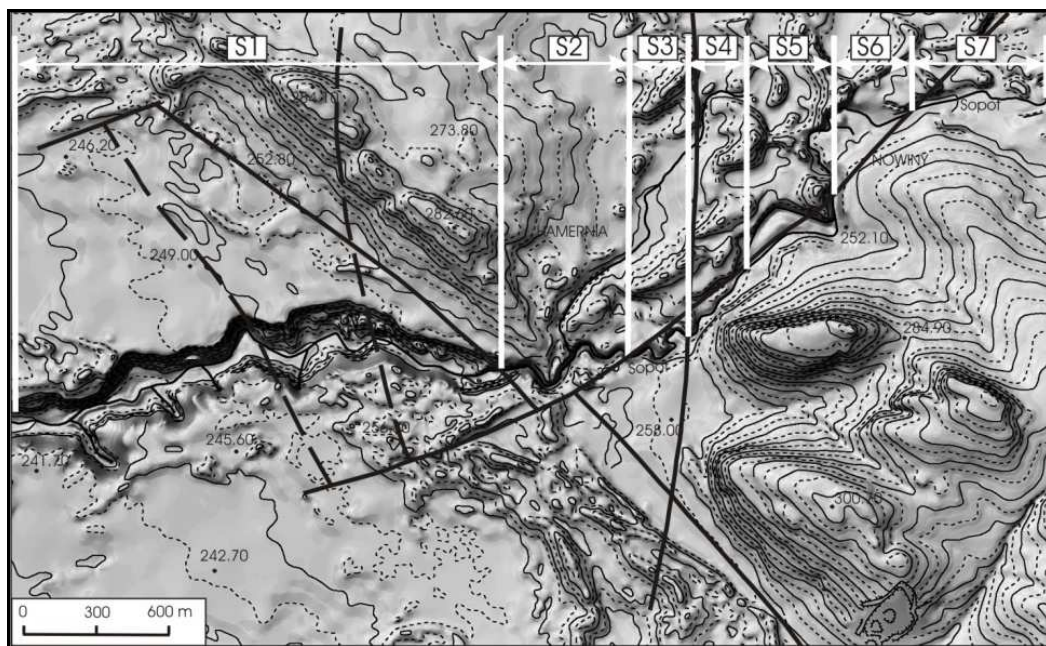
2010).

Ponadto obliczono morfometryczne współczynniki liniowe: krętości krawędzi – Smf , kształtu doliny V_f (szerokości dna-wysokości zboczy, ryc. 1) charakteryzujące skarpy uskokowe oraz wskaźnik krętości koryta rzeki S (ryc. 2, 3) (m. in. Brzezińska-Wójcik, 1995; 1998b; 2002; Brzezińska-Wójcik, Hołub, 2007; Brzezińska-Wójcik i in., 2010).

Ostatnio, wykorzystując cyfrowy model terenu (Digital Terrain Model – DTM), wygenerowany na podstawie dostępnych map topograficznych w skali 1:50 000 opracowano morfometryczne charakterystyki ukraińskiej części Rostocza (Brzezińska-Wójcik i in., 2010). Mapy zarejestrowano w układzie „1942”, a następnie zdigitalizowano sieć rzeczną oraz warstwicę i punkty wysokościowe nadając im atrybut wysokości. Wykorzystując narzędzie Topo_to_Raster (ArcGIS) utworzono cyfrowy model terenu o rozdzielczości 20 m. Na jego podstawie, posilując się rysunkiem poziomocowym, wyznaczono i zdigitalizowano zlewnie, klasyfikując je zgodnie z klasycznym modelem hydrograficznym. Następnie obliczono geometryczne oraz morfometryczne parametry i wskaź-

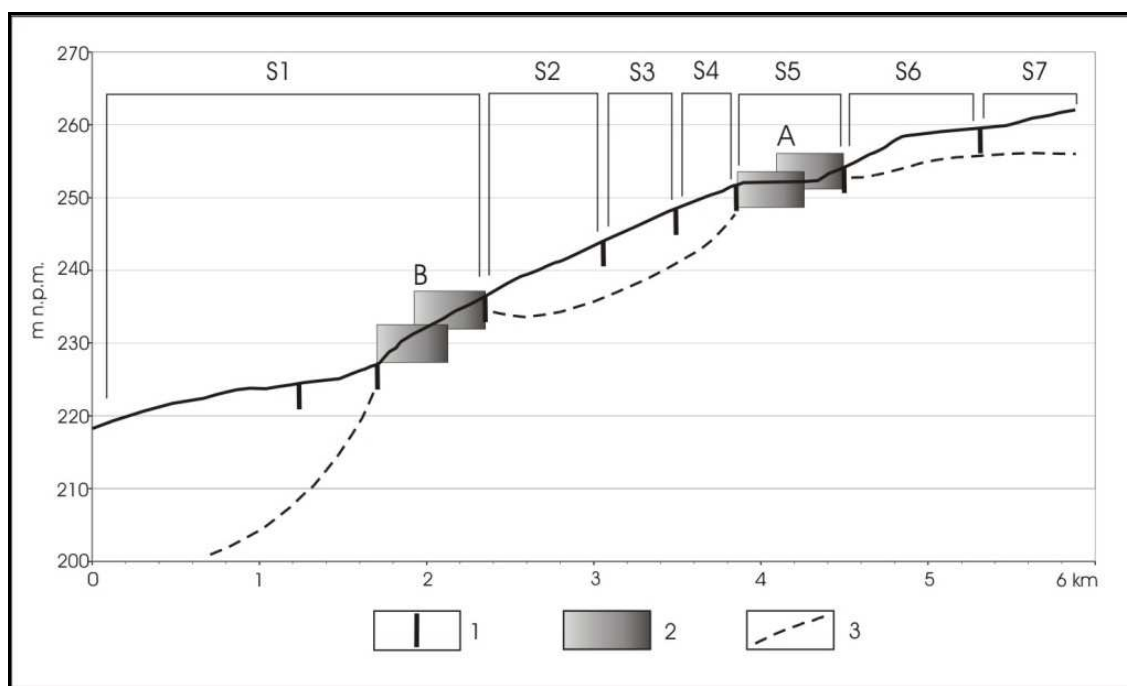
niki zlewni, jak również morfometryczne współczynniki liniowe.

Z analizy przestrzennego zróżnicowania wartości powierzchniowych indykatorów geometrycznych Re , Rf i Rk obliczonych dla roztoczańskich zlewni 3-6 rzędu wynika, że dobrze korelują się wskaźniki wydłużenia zlewni Re i kształtu zlewni Rf , słabiej – wartości współczynnika kolistości zlewni Rk (Brzezińska-Wójcik i in., 2010). Ogólnie rzecz ujmując, wartości wskaźników zbliżone do 1,0 ($>0,75$) charakteryzują zlewnie słabo rozczłonkowane/rozcięte i względnie nieaktywne tektonicznie, wartości 0,50-0,75 – obszary słabo aktywne, a wartości 0,00-0,50 są typowe dla zlewni o stromych stokach i zróżnicowanej topografii, w obszarach mobilnych tektonicznie (Strahler, 1954; Eagleson, 1970; Gregory, Walling, 1973; Bull, McFadden, 1977). W świetle przyjętych przedziałów wartości dla wskaźników Re , Rf i Rk , względnie aktywne tektonicznie są obszary zlewni w południowo-zachodniej strefie krawędziowej Rostocza oraz zlewnie w północno-wschodniej części regionu. Względnie nieaktywne są obszary małych zlewni 3-6-rzędu zlokalizowane w strefie głównego działu wodnego Rostocza.



Ryc. 2. Lokalizacja odcinków liczonej krętości koryta rzeki (S1,S2...S7 – numer odcinka) na tle mapy rzeźby terenu (DTM). Opracowały Brzezińska-Wójcik, Hołub (2007). Rozdzielczość 3 m, na podstawie Mapy Topograficznej 1:10 000, arkusz 156.432.Hamernia

Fig. 2. Location of the sections of calculated riverbed sinuosity (S1,S2...S7 – section number) against the land relief map (DTM). Compiled by Brzezińska-Wójcik, Hołub (2007). Resolution 3 m, based on the Topographic Map 1:10 000, sheet 156.432.Hamernia



Ryc. 3. Profil podłużny koryta rzeki Sopot w odcinku przełomowym. Opracowały T. Brzezińska-Wójcik, B. Hołub (2007)

1 – uskoki pewne i przypuszczalne (według W. Jaroszewskiego 1977), 2 – progi w korycie zbudowane z: A – geiz kampanu, B – wapieni detrytycznych badenu, 3 – hipotetyczne podłoże osadów plejstocen i holocen. Lokalizacja odcinków liczonej krętości koryta rzeki (S1,S2...S7 – numer odcinka)

Fig. 3. Longitudinal profile of the Sopot riverbed in the water gap part. Compiled by T. Brzezińska-Wójcik, B. Hołub (2007)

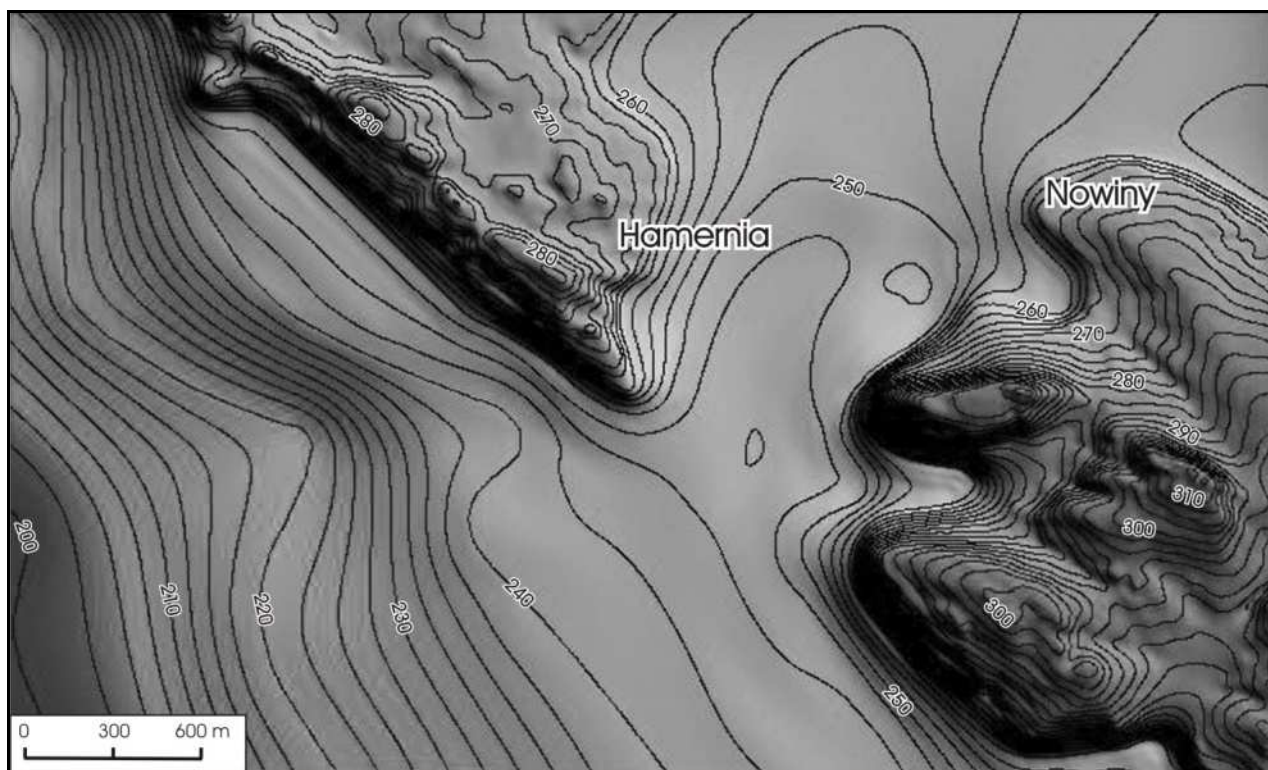
1 – actual and presumed faults (after Jaroszewski 1977), 2 – rapids in the riverbed built from: A – Campanian gaizes, B – Badenian detrital limestone, 3 – hypothetical substratum of Pleistocene and Holocene deposits. Location of the sections of calculated riverbed sinuosity (S1,S2...S7 – section number)

Liniowy wskaźnik Smf osiąga wartości 1,0-1,6 dla krawędzi prostoliniowych, aktywnych tektonicznie. Obszary o słabej, względnie znikomej aktywności tektonicznej ujawniają wartości rzędu, odpowiednio: 1,4-3,0 oraz od 1,8 do $> 5,0$ (Bull 1978). Z zestawienia wartości liniowego wskaźnika Smf wynika, że generalnie względnie wysoką aktywnością charakteryzuje się brzeżna krawędź oddzielająca inwersyjny zrąb Roztocza od zapadliśka przedkarpackiego. Wskaźnik Vf pozwala na rozróżnienie dolin szerokodennych o wysokich wartościach Vf oraz wąskich kanionów o niewyównanym spadku i niskich wartościach Vf . Anomalnie niskie wartości wskaźnika wskazują zazwyczaj na obszary aktywnie wypiętrzane. W świetle uzyskanych wartości tego współczynnika, najniższe wartości uzyskano dla dolin rozcinających poprzecznie południowo-zachodnią krawędź pomiędzy Józefowem i Suścem (Roztocze Tomaszowskie) oraz na południe od Horyńca (Roztocze Rawskie).

Zastosowanie metod morfometrycznych do konstruowania mapy głębokości podłoża i pomiarów miąższości osadów plejstoceno-holoceno

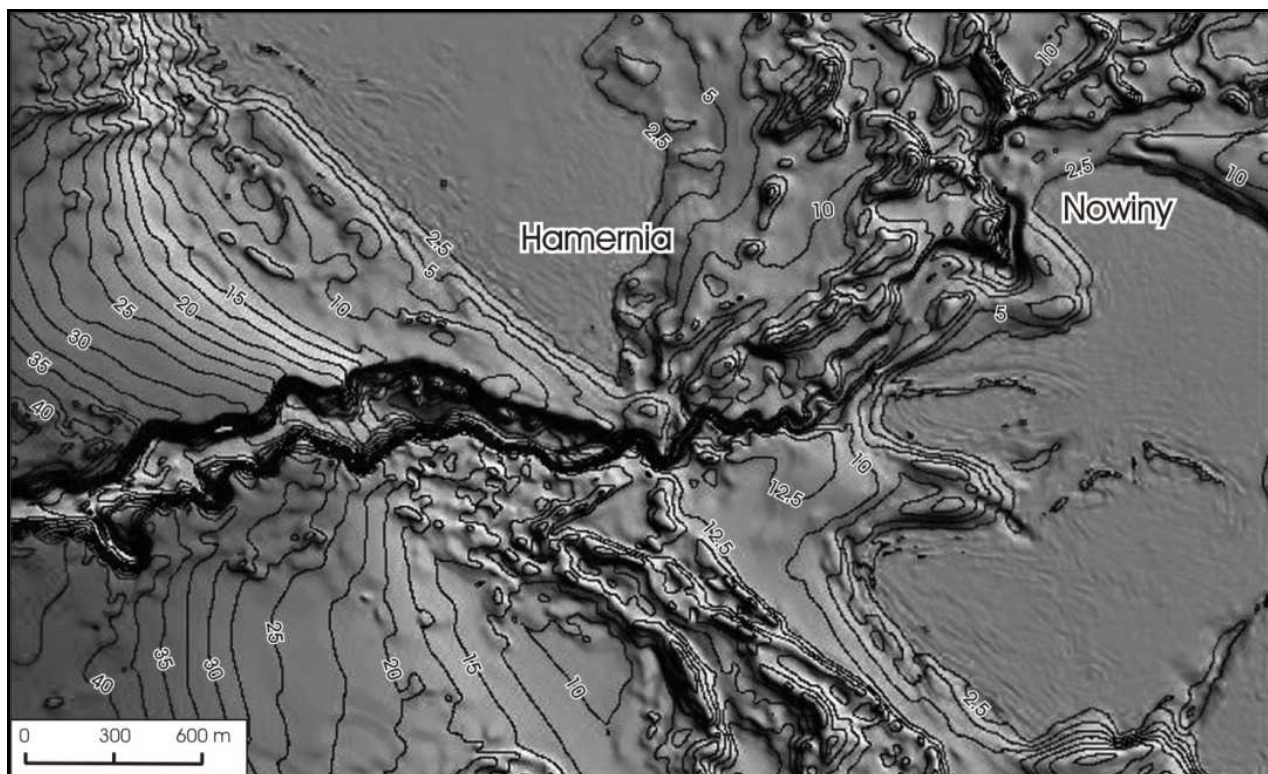
W oparciu o cyfrowy model terenu (DTM), wygenerowany z map topograficznych w skali 1:10 000 w układzie „1942”, oraz dane z otworów wiertniczych, przygotowano model ukształtowania podłoża (bez utworów plejstoceno i holoceno) doliny Sopotu (ryc. 4).

Z uzyskanego obrazu ukształtowania powierzchni podłoża podplejstoceno wynika, że kopalna dolina Sopotu w strefie krawędziowej Roztocza Tomaszowskiego ma szerokość około 1,0 km i łączy się w zapadlisku przedkarpackim z kopalną doliną Edwardowa, wykartowaną przez S. Kurkowskiego (1998a, b). Dla tej samej doliny,



Ryc. 4. Ukształtowanie podłoża (bez utworów plejstoceno i holoceno). Opracowały T. Brzezińska-Wójcik, B. Hołub (2007) według Kurkowskiego (1998a, b), uszczegółowione w oparciu o dane z otworów wiertniczych 18, 19, 23, wysokości podane w m n.p.m.

Fig. 4. Layout of the bedrock (without Pleistocene and Holocene deposits). Compiled by T. Brzezińska-Wójcik, B. Hołub (2007) after Kurkowski (1998a, b), supplemented with data from boreholes 18, 19, 23, altitude in meters above sea level



Ryc. 5. Mapa miąższości osadów plejstoceni i holoceni. Opracowały T. Brzezińska-Wójcik, B. Hołub (2007) według Kurkowskiego (1998a, b), uszczegółowione w oparciu o dane z otworów wiertniczych 18, 19, 23, wartości podane w metrach

Fig. 5. Map of Pleistocene and Holocene deposits thickness. Compiled by T. Brzezińska-Wójcik, B. Hołub (2007) after Kurkowski (1998a, b), supplemented with data from boreholes 18, 19, 23, expressed in meters

także w oparciu o dane z otworów wiertniczych, wykonano mapę miąższości osadów plejstoceni i holoceni (ryc. 5). Miąższość szacunkowa osadów plejstoceni i holoceni zmienia się od ponad 40,0 m w zapadlisku przedkarpaccim, przez około 12,5 m w strefie krawędzi Roztocza do około 20,0 m na północny-wschód od Nowin (Brzezińska-Wójcik, Hołub, 2007). Obie mapy dają możliwość odtwarzania warunków sedymentacji osadów w dolinie poprzez dalsze modelowanie warunków paleogeograficznych.

Wskaźniki morfometryczne zastosowane do analizowania zależności pomiędzy orientacją i kształtem głównych form rzeźby a orientacją uskoku lub/ i mezostruktur tektonicznych

Do określania zależności pomiędzy orientacją i kształtem głównych form rzeźby a orientacją uskoku lub/ i mezostruktur tektonicznych – stosowano pomiary: gęstości sieci rzecznej/dolinnej na międzyrzeczu Wisły i Bugu (Szalkiewicz,

1947), azymutów sieci dolinnej i azymutów spękań w skałach wieku kredowego Wyżyny Lubelskiej (Jahn, 1956), Muchowski (1977) i Roztocza (Buraczyński, 1969; 1976), kierunków dolin w regionach geomorfologicznych Wyżyny Lubelskiej i Roztocza (Harasimiuk, 1980), toplineamentów, wyrażających orientację i długości głównych elementów rzeźby oraz orientacji głównych dyslokacji i/lub spękań skał podłoża na Roztoczu (m. in. Harasimiuk, 1980; Brzezińska-Wójcik, Skowronek, 1993; Brzezińska-Wójcik, 1994; 1998a; 2002), profili podłużnych den i teras rzecznych wybranych dolin na Roztoczu (m. in. Buraczyński, 1984; 1997; 2002; Brzezińska-Wójcik, Superson, 2004; Brzezińska-Wójcik, 2005).

Analiza gęstości sieci rzecznej międzyrzecza Wisły i Bugu, przeprowadzona dwiema metodami (Neumanna i Malickiego) pokazała podobne zależności pomiędzy rozmieszczeniem obszarów bezrecznych i najwyższych wartości wysokości bezwzględnych oraz cechami budowy geologicznej obszaru (Szalkiewicz, 1947). Próbę podsumowania zagadnień metodycznych, odnoszących się do konstrukcji map gęstości sieci wodnej, podjął w odniesieniu do obszaru Lubelszczyzny Sirko (1971).

Analiza azymutów sieci dolinnej i azymutów spękań w skałach wieku kredowego Wyżyny Lu-

belskiej wskazuje na korelację biegu dolin z kierunkami spękań ciosowych. Bardzo czytelne są zwłaszcza kierunki: WNW-ESE – lubelski i NW-SE – roztoczański (Jahn, 1956).

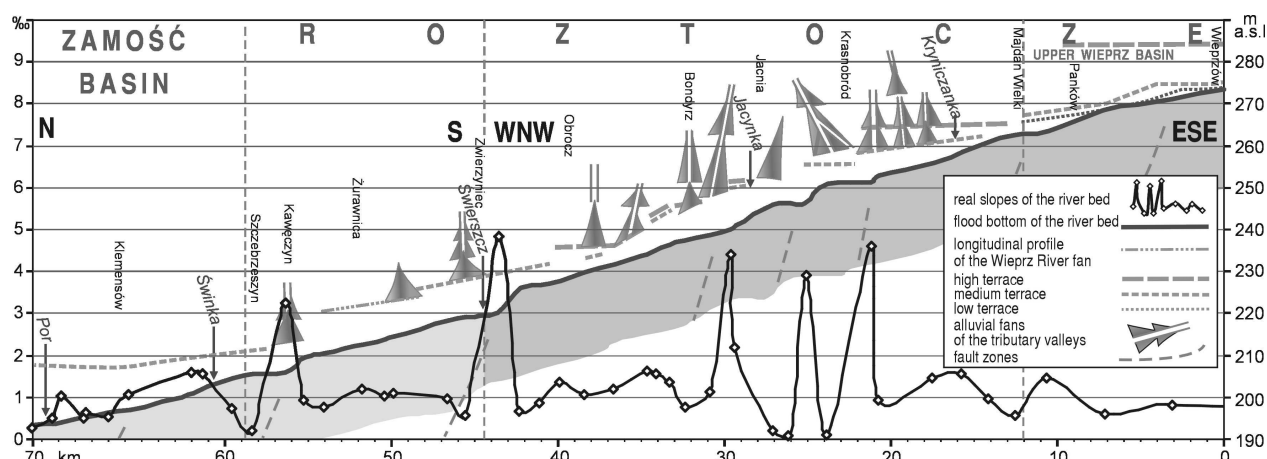
Na zagadnienie kierunkowości sieci dolinnej Rostocza w odniesieniu do kierunków spękań zwracali uwagę Buraczyński (1969, 1976), Maruszczak (1972) oraz Maruszczak, Wilgat (1956), nie ujmując jednak zagadnienia w sposób ilościowo-przestrzenny. Pierwszą próbę takiego ujęcia dali Harasimiuk, Henkiel, Pękala (1971) dla niewielkiego obszaru w okolicach Frampola na Rostoczu Gorajskim. Ilościowe zestawienie kierunków dolin w subregionach geomorfologicznych Wyżyny Lubelskiej i Rostocza zaprezentował Harasimiuk (1980). Autor ten wykonał diagramy kierunków dolin dla wszystkich subregionów wydzielonych wcześniej przez Maruszczaka (1972) w obszarze wyżynnym między Wisłą a Bugiem. Zmierzył azymuty osi dolin (bez względu na kierunek odwodnienia) o długości ponad 2 km na podkładach wykonanych w oparciu o mapy 1:100 000. Pomiary zestawiał na diagramach kierunkowych dla każdego subregionu oddzielnie. Pozwoliło to na wychwycenie przestrzennego zróżnicowania w tym zakresie. Okazało się, że uprzywilejowane są azymuty osi dolin, mieszczące się w sektorach WNW i ENE.

Zagadnienia terminologiczne związane z lineamentami zostały szeroko opisane w publikacjach zagranicznych (m. in. Kac i in., 1986), a także w polskiej literaturze (m. in. Ostaficzuk, 1975; Bażyński, Graniczny, 1978; Bażyński i in., 1980; Bażyński, 1982). Próbę porównania sieci krótkich

lineamentów satelitarnych i radarowych ze strukturą i morfotektoniką brzeżnej strefy zapadliska przedkarpackiego w granicach Rostocza przeprowadzili Jaroszewski i Piątkowska (1988). Z analizy wynika, że lineamenty mają płytkie założenia: linie satelitarne czytelne są głównie w sieci uskóków przypowierzchniowych, radarowe – w sieci spękań ciosowych i rozmieszczeniu drobnych zagłębień erozyjnych. Jednocześnie zaobserwowano zależność gęstości lineamentów satelitarnych od przebiegu stref tektonicznych, co może wskazywać na współczesną aktywność tektoniczną tych stref.

Metodę zagęszczonych poziomicy – toplineamentów – stosowano w granicach Wyżyny Lubelskiej (Henkiel, 1984) i Rostocza (m. in. Harasimiuk, 1980; Brzezińska-Wójcik, 1992; 1994; 1998a; 2002; Brzezińska-Wójcik, Skowronek, 1993) w celu uzyskania zgeneralizowanego obrazu zróżnicowania rzeźby oraz kompleksowej analizy zależności pomiędzy cechami ukształtowania powierzchni i cechami strukturalnymi (głównie tektoniki). Wyniki badań pokazały, że w regonie lubelskim istnieją duże zbieżności pomiędzy orientacją toplineamentów, kierunkami dolin o długościach powyżej 2 km oraz przebiegiem struktur tektonicznych.

Badania profili podłużnych den wybranych dolin rozcinających poprzecznie południowo-zachodnią strefę krawędziową Rostocza pozwoliły na stwierdzenie niezgodności profili podłużnych z układem teras akumulacyjnych oraz teras erozyjnych (Buraczyński, 1984). Szczegółowa analiza profilu podłużnego dna roztoczańskiej doliny Wieprza wykazała, że charakteryzuje się ona licznymi



Ryc. 6. Profil podłużny teras nadzalewowych i dna środkowego odcinka doliny górnego Wieprza oraz stożki napływowe bocznych dolin. Opracowali T. Brzezińska-Wójcik, J. Superson (2004)

1 – stożki napływowe, 2 – terasa wysoka, 3 – terasa średnia, 4 – zalewowe dno doliny, 5 – profil podłużny stożka napływowego Wieprza, 6 – strefy uskókowe

Fig. 6. Longitudinal profile of raised terraces and the floor of the middle section of the Upper Wieprz valley and alluvial fans of tributary valleys. Compiled by T. Brzezińska-Wójcik, J. Superson (2004)

1 – alluvial fans, 2 – raised terrace, 3 – middle terrace, 4 – floodplain/ valley floor, 5- longitudinal profile of the Wieprz alluvial fan, 6 – fault zones

załamaniami spadku profilu podłużnego oraz różnym położeniem teras nadzalewowych względem holoceniowego dna doliny (ryc. 6). Nakładanie się załamów spadku ze strefami tektonicznymi, które przecinają poprzecznie dno doliny pozwoliło postawić wniosek, że załamania spadku dna doliny powstały w wyniku młodych ruchów tektonicznych. Położenie zawieszonych suchych dolin i stożków napływowych tylko pod prawym zboczem doliny Wieprza, dowodzi antytetycznego wypiętrzania krawędzi uskoku Wieprza (Brzezińska-Wójcik, Superson, 2004).

Wskaźniki morfometryczne zastosowane do szacowania rozmiarów erozji wąwozowej obszaru

Do szacowania rozmiarów erozji stosowano wskaźniki: gęstości sieci dolin o odpływie epizodycznym (m.in.: Kęsik, 1961), gęstości sieci wąwozów i natężenia erozji wąwozowej (m.in.: Buraczyński, 1964; 1975; 1977; 1989/1990, Gawrysiak, Harasimiuk w druku), gęstości sieci wąwozów na Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu (Maruszczak, 1973), gęstości sieci wąwozowej w krainach fizjograficznych (Józefaciuk, Józefaciuk, 1992), średniego nachylenia stoków jako wskaźnika zagrożeń erozyjnych (Kociuba, Gawrysiak, 1997).

Jedną z pierwszych prób oszacowania natężenia erozji wąwozowej w zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego podjął Kęsik (1961). Autor ten skonstruował mapę gęstości młodych rozcięć erozyjnych stosując kwadratowe pole pomiarowe $1,0 \text{ km}^2$. Z tej mapy wynika, że gęstość wąwozów zmienia się od $0,5 \text{ km/km}^2$ w południowej części Płaskowyżu do $5,0 \text{ km/km}^2$ pomiędzy Kazimierzem Dolnym i Puławami w północno-zachodniej części tego regionu.

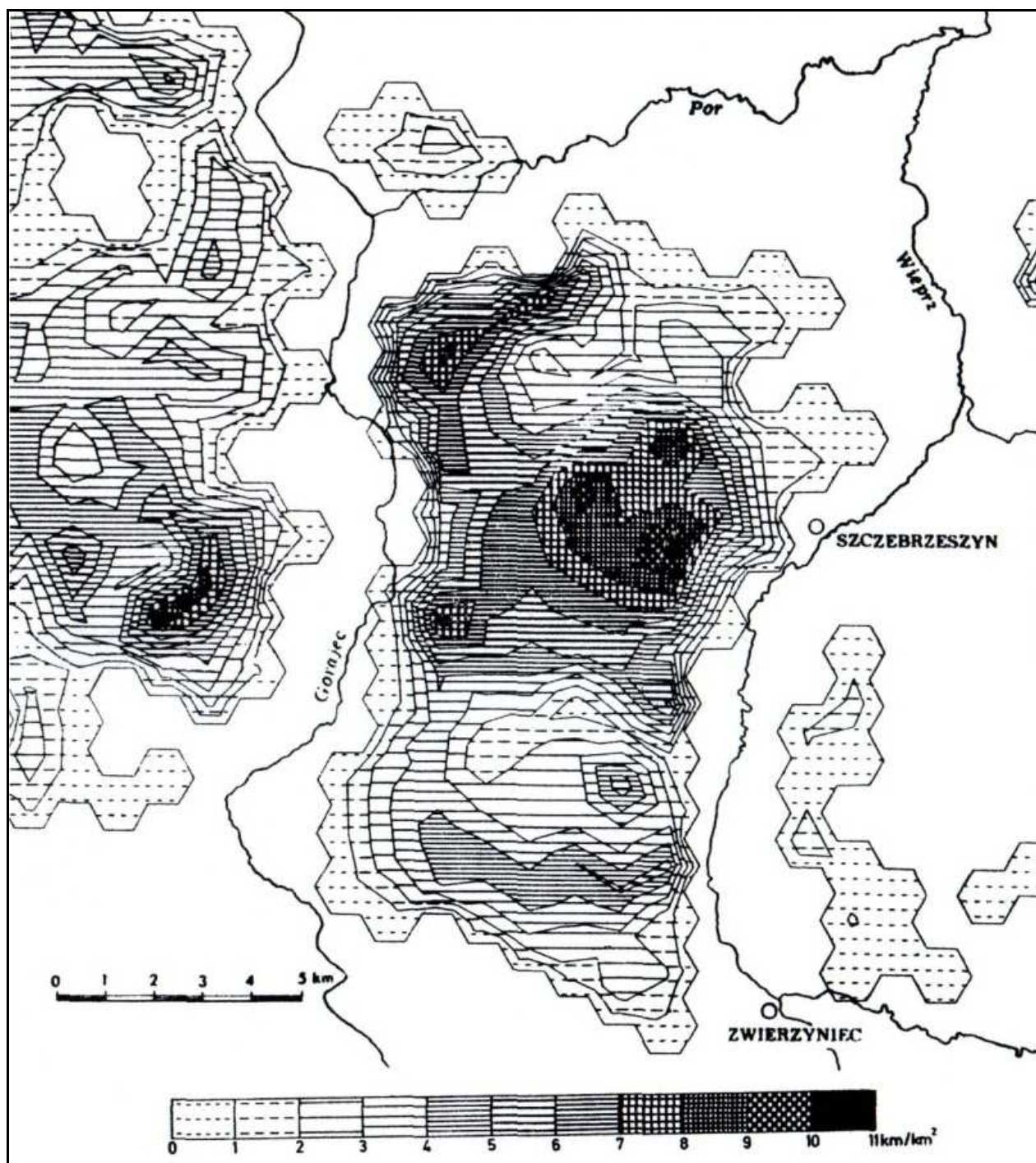
Ogólną objętość młodych rozcięć erozyjnych na Roztoczu Gorajskim, oszacował Buraczyński, (1964; 1989/1990) przyjmując w obliczeniach przeciętne wymiary przekroju poprzecznego wąwozu na podstawie badań terenowych: szerokość dna – 3 m, rozwartość krawędzi (odległość pomiędzy zboczami wąwozu) – 20 m, głębokość – 7 m, powierzchnię przekroju $80,5 \text{ m}^2$. Przy takich założeniach, Buraczyński (1975, 1977) obliczył objętość materiału usuniętego z wąwozów w wyniku erozji. Autor obliczył także wskaźnik natężenia erozji biorąc pod uwagę wysokości względne oraz gęstość sieci wąwozów. Średnią gęstość sieci wąwozów (ryc. 7) oraz długość wąwozów autor ten

obliczył na podstawie mapy topograficznej w skali 1:25 000, w odniesieniu do pól sześciobocznych o powierzchni $1,0 \text{ km}^2$. Wskaźnik erozji obliczył autor metodą Uhorcza (1972). Według niej poszczególne czynniki przeliczono na liczby niemiarowane przyjmując wartość 1 dla warunków optymalnych, gdy erozja nie zachodzi. I tak przyjęto jako 1: wysokość względną 10 m/km^2 , gęstość dolin $0,5 \text{ km/km}^2$ i oraz gęstość wąwozów $0,1 \text{ km/km}^2$. Średnią arytmetyczną uzyskanych wartości przyjęto jako wskaźnik natężenia erozji i odniesiono do poszczególnych pól podstawowych. Autor zestawiał otrzymane wartości w tabeli oraz na mapie (ryc. 8). W świetle uzyskanych wyników okazało się, że średni wskaźnik natężenia erozji na Roztoczu Gorajskim wynosi 16,6, a 36% powierzchni charakteryzuje się bardzo silną erozją (wskaźnik powyżej 20). Najwyższy wskaźnik erozji (38,7) jest charakterystyczny dla okolic Szczepieszyna (ryc. 8). Na wartości wskaźnika wpływają głównie gęstość sieci wąwozów oraz duże wysokości względne obszaru.

Próbie opracowania mapy zagrożeń erozją wodną w granicach całej polskiej części Roztocza podjęli Kociuba i Gawrysiak (1997). Jako materiał podstawowy, wykorzystali oni mapy topograficzne w skali 1:50 000. Materiał kartograficzny – wysokość punktów w terenie – zestawili w odniesieniu do środków kwadratowych pól podstawowych o powierzchni $0,0625 \text{ km}^2$. Następnie, wykorzystując jedną z funkcji programu Idrisi, wykonali mapę średnich spadków dla analizowanego obszaru. W celu interpretacji danych dla potrzeb zagrożenia erozją, autorzy pogrupowali pola podstawowe w sześć klas według wielkości spadków. Wykorzystali w tym celu przedziały klasowe zastosowane wcześniej dla obszaru Płaskowyżu Nałęczowskiego (Józefaciuk, Józefaciuk, 1993).

Pierwszą analizę rozmiarów erozji wąwozowej we wschodniej części pasa Wyżyn Południowopolskich podjął Maruszczak (1973) w oparciu o pomiary kartometryczne na mapach topograficznych w skali 1:100 000. Autor zastosował pola podstawowe o powierzchni 10 km^2 w kształcie geometrycznych sześcioboków, w układzie identycznym jak w opracowaniu wysokości względnych dla województwa lubelskiego (Strojna, 1951).

Aktualnie próbę obliczenia gęstości sieci wąwozów naturalnych na Wyżynie Lubelskiej i Roztoczu, przy użyciu technik GIS, w oparciu o mapy topograficzne w skali 1:10 000, podjęli Gawrysiak i Harasimiuk (2010). Zastosowano pola podstawowe identyczne jak w opracowaniach Maruszczaka (1973) i Strojny (1951).



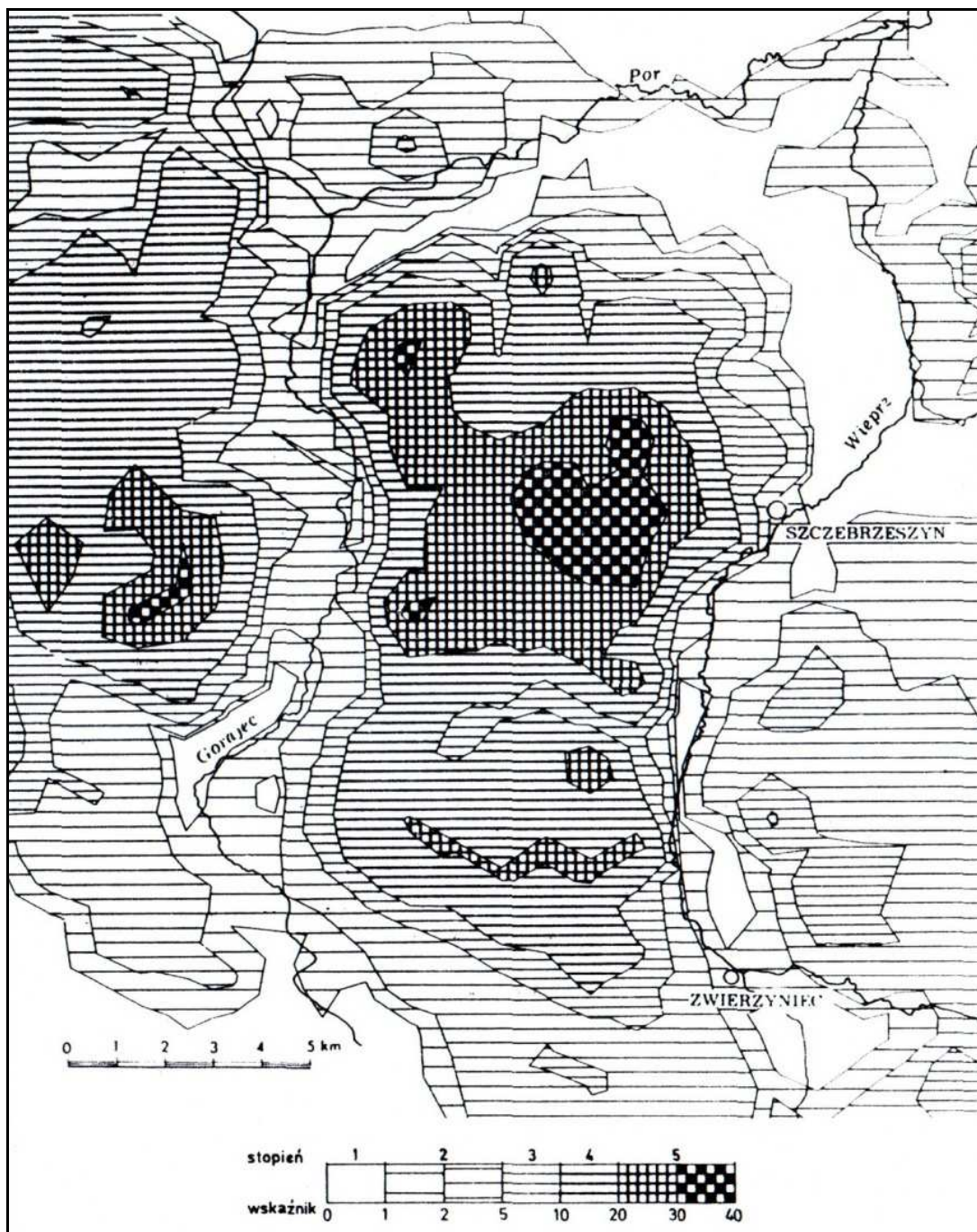
Ryc. 7. Gęstość sieci wąwozów na międzyrzeczu Gorajca i Wieprza na Rostoczu. Opracował J. Buraczyński (1975)

Fig. 7. Density of the gully system in the Gorajec and Wieprz interfluvium in Roztocze. Compiled by J. Buraczyński (1975)

Wskaźniki morfometryczne zastosowane w regionalizacji

Do wydzielania regionów krajobrzynnych/gomorfologicznych/fizycznych stosowano wskaźniki: wysokości względnych, wysokości średnich, górnych poziomów denudacyjnych i dolnych pozio-

mów denudacyjnych dla Wyżyny Lubelskiej (Rosiecka, 1947), wysokości względnych dla województwa lubelskiego (Strojna, 1951; Uhorczak, Strojna, 1972), urzeźbienia i wysokości względnej dla województwa lubelskiego (Chałubińska, Przesmycka, 1963), średniego nachylenia powierzchni dla Zamojszczyzny (Kardaszewska, 1975).



Ryc. 8. Morfologiczny wskaźnik natężenia erozji na międzyrzeczu Gorajca i Wieprza na Roztoczu. Opracował J. Buraczyński (1975). Stopień natężenia erozji

I – brak erozji, wskaźnik morfologiczny 0-1, II – słaba erozja, wskaźnik 1-5, III – średnia erozja, wskaźnik 5-10, IV – silna erozja, wskaźnik 10-20, V – bardzo silna erozja, wskaźnik 20-40

Fig. 8. Morphological index of erosion intensity in the Gorajec and Wieprz interfluvium in Roztocze. Compiled by J. Buraczyński (1975). Degree of erosion rate

I – no erosion, morphological index 0-1, II – weak erosion, index 1-5, III – medium erosion, index 5-10, IV – intense erosion, index 10-20, V – very intense erosion, index 20-40

Analiza mapy wysokości względnych, zastosowana do oceny cech krajobrazu Polski (Ochocka, 1929; 1931), należała do metod morfometrycznych najwcześniej stosowanych na Lubelszczyźnie. Pierwszą rękopiśmienną mapę wysokości względnych dla województwa lubelskiego opracowała

Dembowska pod kierunkiem Uhorcza według metody Janiszewskiego (horyzonty o wielkości promienia 5 km nakładające się na siebie) (Uhorcza, Strojna, 1972). Drugą mapę wysokości względnych, w podziałce 1:300 000, w oparciu o przedwojenną mapę WIG w skali 1:100 000 dla

pól sześciobocznych o powierzchni 10 km², skonstruowała Strojna (1951). W celu wykonania pierwszej regionalizacji morfologicznej Wyżyny Lubelskiej, Rosiecka (1947) oprócz wysokości względnych zastosowała także wysokości średnie oraz wysokości poziomów denudacyjnych. Próbę zastąpienia wysokości względnych tzw. wskaźnikiem urzeźbienia województwa lubelskiego podjęły Chałubińska, Przesmycka (1963). Okazuje się, że mapa wskaźnika urzeźbienia może stanowić ujęcie uzupełniające w stosunku do map wysokości względnych. Z przeglądu stosowanych wskaźników i map uzyskanych w oparciu o nie wynika, że współczynniki te mogą być brane pod uwagę przy regionalizacji.

Duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza w planowaniu przestrzennym – przy projektowaniu linii komunikacyjnych i osadnictwa oraz przy określaniu właściwego sposobu użytkowania terenu – ma mapa średnich nachyleń. Dla obszaru Zamojszczyzny metodę tę zastosowała Kardaszewska (1975) wykorzystując mapę w skali 1:25 000 i przyjmując sześcioboczne pola podstawowe o powierzchni 1 km². Mapa średnich nachyleń daje dobry obraz zróżnicowania budowy geologicznej i rzeźby analizowanego obszaru. Nachylenia małe, do 1°, są związane z dnami dużych dolin wyciętych w marglach i wapieniach górnokredowych i wypełnionych holocenijskimi osadami rzecznyymi. Średnie spadki w przedziale 1-2° są charakterystyczne dla plejstocenijskich teras nadzalewowych w dużych dolinach. Nachylenia 2-4° występują w Kotlinie Zamojskiej, na garbach zbudowanych ze skał górnokredowych, przykrytych miększą pokrywą lessu. Nachylenia duże, 4-10°, przeważają na obszarach zbudowanych z opok i gez przykrytych lessiem, charakteryzujących się deniwelacjami w granicach 80-100m. Powierzchnie o bardzo dużych spadkach – powyżej 10° związane są z obszarami o największych wysokościach względnych – 100-120 m i największej gęstości sieci dolinnej i wąwozowej.

Zakończenie

Do szacowania młodej mobilności tektonicznej zwłaszcza obszaru Rostocza nadają się wskaźniki powierzchniowe dotyczące geometrycznych oraz morfometrycznych parametrów i wskaźników zlewni, jak również współczynniki morfometryczne liniowe, charakteryzujące skarpy uskoku. Wartości wybranych wskaźników powierzchniowych i liniowych odniesione do zlewni oraz do liniowych elementów rzeźby terenu pozwalają na pokazanie przestrzennego zróżnicowania natężenia

aktywności tektonicznej na Rostoczu. Niskie wartości wskaźników *wydłużenia zlewni*, *kolistości zlewni* i *kształtu zlewni*, *krętości krawędzi*, jak również *szerokości dna-wysokości zboczy* pozwalają na przykład na zaklasyfikowanie południowo-zachodniej części – strefy krawędziowej Rostocza – rozwiniętej wzdłuż uskoku NW-SE, do struktur o I lub II klasie względnej aktywności tektonicznej. Zmienne wartości pozostałych parametrów zlewni (*obwód*, *średnia szerokość*, *wskaźnik lemniskaty* oraz *wskaźniki rzeźby* i *wysokości względnych*) odzwierciedlają zróżnicowanie litologiczne skał podłoża.

Mapy, uzyskane w oparciu o cyfrowy model terenu (DTM), pozwalają na dość precyzyjne, obiektywne i całościowe przedstawienie charakterystyki morfometrycznej analizowanego obszaru. Mapy ukształtowania podłoża oraz miąższości osadów plejstocenijskich i holocenijskich w dolinie Sopotu na Rostoczu, pozwalają na odtwarzanie warunków sedimentacji osadów w dolinie.

Porównanie azymutów sieci dolinnej i azymutów spękań w skałach wieku kredowego Wyżyny Lubelskiej wskazuje na korelację biegu dolin z kierunkami spękań ciosowych, bardzo czytelne są zwłaszcza kierunki WNW-ESE – lubelski i NW-SE – rostoczański. Zaobserwowana na Rostoczu zależność gęstości lineamentów satelitarnych od przebiegu stref tektonicznych, może wskazywać na współczesną aktywność tektoniczną tych stref. Na Wyżynie Lubelskiej i Rostoczu istnieją także duże zbieżności pomiędzy orientacją toplineamentów, kierunkami dolin oraz przebiegiem struktur tektonicznych. Metody morfometryczne są szczególnie przydatne w obszarach o niewystarczającym rozpoznaniu tektoniki kompleksu mezo-kenozoicznego.

Badania profili podłużnych den wybranych dolin, rozcinających poprzecznie południowo-zachodnią strefę krawędziową Rostocza oraz rostoczańskiej doliny Wieprza pozwoliły na stwierdzenie niezgodności profili podłużnych z układem teras akumulacyjnych oraz teras erozyjnych. Duża zgodność przebiegu uskoku, wyznaczonych na podstawie analizy morfometrycznej z orientacją dyslokacji udokumentowanych innymi metodami świadczy o celowości prowadzenia tego typu analiz.

Wskaźniki gęstości sieci wąwozów i natężenia erozji wąwozowej oraz średniego nachylenia stoków są przydatne do szacowania rozmiarów erozji lub wyznaczania stref zagrożonych erozją, zwłaszcza na obszarach lessowych (Płaskowyż Nałęczowski, Rostocze Gorajskie). Gęsta sieć młodych rozcięć erozyjnych udokumentowana przez Kęsika

(1961) w zachodniej części Płaskowyżu Nałęczowskiego decyduje o jego specyfice i odrębności morfologicznej w porównaniu z innymi obszarami lessowymi Wyżyny Lubelskiej. W świetle wyników badań przeprowadzonych na Roztoczu przez Buraczyńskiego (1975, 1977) okazuje się, że objętość materiału usuniętego z wąwozów w wyniku erozji, po równomiernym rozłożeniu na powierzchni wschodniej części Roztocza Gorajskiego (Roztocze Szczepreszyńskie) utworzyłoby warstwę o miąższości 30,4 cm, zaś na powierzchni zachodniej części Roztocza Gorajskiego – 16,9 cm. Z takiego porównania wynika, że natężenie procesu erozji wąwozowej na międzyrzeczu Gorajca i Wieprza jest dwukrotnie większe niż w zachodniej części Roztocza Gorajskiego.

Mapa średnich nachyleń, skonstruowana przez Kardaszewską (1975) dla stosunkowo niewielkiego obszaru, dobrze pokazuje zróżnicowanie spadków terenu w odniesieniu do budowy geologicznej analizowanego obszaru. Mapa taka może mieć duże znaczenie praktyczne, zwłaszcza w planowaniu przestrzennym.

Wskaźniki (wysokości względnych, wysokości średnich, poziomów denudacyjnych), zastosowane dla Wyżyny Lubelskiej i Roztocza przez Rosiecką (1947) i województwa lubelskiego przez Stojną (1951) stały się podstawą podziału, najpierw Wyżyny Lubelskiej na regiony geomorfologiczne, a z czasem – po wprowadzeniu dodatkowych parametrów – także podziału fizjograficznego województwa lubelskiego zaproponowanego przez Chałubińską i Wilgata (1956).

Autorzy składają serdeczne podziękowania Recenzentowi za cenne uwagi oraz wskazówki i sugestie wykorzystane w ostatecznym sformułowaniu artykułu.

Literatura

- Bażyński J., 1982. Metody interpretacji geologicznej zdjęć satelitarnych wybranych obszarów Polski. Instrukcje i metody badań geologicznych. 44, Wyd. Geol., Warszawa.
- Bażyński J., Graniczny M., 1978. Fotolineamenty i ich znaczenie w geologii. Przegląd Geologiczny, 26: 288-296.
- Bażyński J., Daniel-Danielska B., Graniczny M., 1980. Mapa fotolineamentów Roztocza. Archiwum Instytutu Geologicznego, Warszawa.
- Birot P., 1955a. Les Methodes de la Morphologie. Presses Universite de France, Paris.
- Birot P., 1955b. Morphologie structurale. T. 1. Presses Universite de France, Paris.
- Brzezińska-Wójcik T., 1992. Elementy morfostrukturalne okolic Lubyczy Królewskiej, Roztocze Rawskie. Annales UMCS, Lublin, B, 44/45, 6 (1989/1990): 119-130.
- Brzezińska-Wójcik T., 1993. Współczesna aktywność tektoniczna w dorzeczu Olszanki na Roztoczu. [W:] M. Harasimiuk, J. Krawczuk, J. Rzechowski (red.), Tektonika Roztocza i jej aspekty sedimentologiczne, hydrogeologiczne i geomorfologiczno-krajobrazowe. Materiały polsko-ukraińskiej konferencji terenowej, 16-20 czerwca 1993, Lublin-Lwów: 71-78.
- Brzezińska-Wójcik T., 1994. Topolineamenty dolin i krawędzi okolic Narola na Roztoczu. Zeszyty AGH, Geologia, 20, 1: 43-58.
- Brzezińska-Wójcik T., 1995. Czwartorzędowa aktywność tektoniczna w dorzeczu Tanwi na Roztoczu. Annales UMCS, Lublin, B, 48 (1993): 25-43.
- Brzezińska-Wójcik T., 1998a. Topolineamenty w strefie krawędziowej Roztocza Tomaszowskiego i ich związek z planem strukturalnym podłoża. Annales UMCS Lublin, B, 52, 3: 41-56.
- Brzezińska-Wójcik T., 1998b. Aktywność tektoniczna w dorzeczach strefy krawędziowej Roztocza Tomaszowskiego w świetle wskaźników morfometrycznych. Annales UMCS, Lublin, B, 52, 4: 57-75.
- Brzezińska-Wójcik T., 2002. The dependence of relief on tectonic in the South-West Escarpment zone of Tomaszowskie Roztocze (SE Poland). Landform Analysis, 3 (1998): 13-24.
- Brzezińska-Wójcik T., Skowronek E., 1993. Topolineamenty wschodniej części Roztocza Gorajskiego. Annales UMCS, Lublin, B, 48 (1995): 45-57.
- Brzezińska-Wójcik T., Superson J., 2004. Neotectonic conditions of sedimentation and erosion in small fluvial basins of the Roztocze Tomaszowskie (south-eastern Poland). Zeitschrift f. Geomorphologie, 48, 2: 167-184.
- Brzezińska-Wójcik T., Harasimiuk M., 2006. Natural environment of the Roztocze region. [W:] E. Skowronek, W. Wołoszyn, T. Speck, K.M. Born (red.), Cultural Landscapes of the Lublin Upland and Roztocze. Kartpol s.c., Lublin: 59-80.
- Brzezińska-Wójcik T., Hołub B., 2007. Przejawy neogeńskiej tektoniki w przełomowym odcinku doliny Sopotu w strefie krawędziowej Roztocza Tomaszowskiego. [W:] M. Harasimiuk, T. Brze-

- zińska-Wójcik, R. Dobrowolski, P. Mroczek, J. Warowna (red.), Budowa geologiczna regionu lubelskiego i problemy ochrony litosfery. Wyd. UMCS, Lublin: 153-165.
- Brzezińska-Wójcik T., Chabudziński Ł., Gawrysiak L., 2010. An attempt of neotectonic activity evaluation of Ukrainian Roztocze in the light of morphometric coefficients. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 80: 167-183.
- Bull W.B., 1978. Geomorphic tectonic activity classes of the south front of the San Gabriel Mountains, California. U.S. Geological Survey Contract Report 14-08-001-G-394. Office of Earth quakes, Volcanoes and Engineering, Menlo Park, California.
- Bull W.B., Mc Fadden L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. [[W:]] Doehring, D.O. (red.), *Geomorphology in Arid Regions*. Proc. 8th Ann. Geomorph. Symp. State University of New York at Binghampton, 9: 115-138.
- Buraczyński J., 1964. Les entailles d'erosion recentes (ravins) du Roztocze Occidental. *Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego*, D, 3-4 (1963/1964): 23-26.
- Buraczyński J., 1969. Zarys geomorfologii Roztocza Zachodniego. *Annales UMCS, Lublin, B*, 22 (1967): 77-123.
- Buraczyński J., 1975. Erozja wąwozowa na Roztoczu – międzyrzecze Gorajca i Wieprza. *Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego, Geografia*, 17, 1/2: 13-19.
- Buraczyński J., 1976. Zarys geomorfologii Roztocza Rawskiego. *Annales UMCS, Lublin, B*, 29 (1974): 47-76.
- Buraczyński J., 1977. Natężenie erozji wąwozowej i erozji gleb na Roztoczu Gorajskim. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych*, 193, Warszawa: 91-99.
- Buraczyński J., 1984. Wpływ tektoniki na rozwój dolin strefy krawędziowej Roztocza. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, 54, 1/2: 209-225.
- Buraczyński J., 1989/1990. Rozwój wąwozów lessowych na Roztoczu Gorajskim w ostatnim tysiącleciu. *Annales UMCS, Lublin, B*, 44/45: 95-104.
- Buraczyński J., 1993. Rozwój procesów eolicznych piętra Wisły na Roztoczu i w Kotlinie Sandomierskiej. Wyd. UMCS, Lublin.
- Buraczyński J. (red.), 2002. Roztocze. Środowisko przyrodnicze. Wyd. Lubelskie, Lublin.
- Buraczyński J., Wojtanowicz J., 1982. Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000. Arkusz Kołacze (716), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Buraczyński J., Wojtanowicz J., 1988. Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000. Arkusz Sawin (752), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Buraczyński J., Wojtanowicz J., 1990. Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000. Arkusze Świerże (753), Okopy (754), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Chałubińska A., 1956. Gęstość sieci wodnej w Polsce. *Annales UMCS, B*, 9 (1954): 47-97.
- Chałubińska A., Wilgat T., 1954. Podział fizjograficzny województwa lubelskiego. Przewodnik V Ogólnopolskiego Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geograficznego, Lublin: 3-44.
- Chałubińska A., Przesmycka E., 1963. Wskaźnik urzeźbienia województwa lubelskiego. *Annales UMCS, Lublin, B*, 18, 5: 117-125.
- Clarke J.I., 1966. *Morphometry from Maps*. [W:] Dury G.H. (red.), *Essays in Geomorphology*. N.Y. American Elsevier Publ. Company: 235-274.
- Dobija A., 1979. Związki korelacyjne między parametrami morfometrycznymi zlewni. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, 47: 99-108.
- Dobija A., Dynowska I., 1975. Znaczenie parametrów fizjograficznych zlewni dla ustalenia wielkości odpływu rzecznoego. *Folia Geographica, Ser. Geographica Physica*, 9: 77-129.
- Dobrowolski R., 1998. Strukturalne uwarunkowania rozwoju współczesnej rzeźby krasowej na międzyrzeczu środkowego Wieprza i Bugu. Wydawnictwo UMCS, Lublin.
- Dobrowolski R., 2006. Glacialna i peryglacialna transformacja rzeźby krasowej północnego przedpola wyżyn lubelsko-wołyńskich (Polska SE, Ukraina NW). Wyd. UMCS, Lublin.
- Dobrowolski R., Harasimiuk M., 2002. Geologiczne uwarunkowania rozwoju rzeźby Polesia. *Acta Agrophysica*, 66: 7-19.
- Eagleson P.S., 1970. *Dynamic Hydrology*. McGraw-Hill Book Company, New York: 462.
- Evans I.S., 2004. *Geomorphometry*. [W:] Goudie A. (red), *Encyclopedia of Geomorphology*. London, Routledge: 435-439.
- Gajda R., 1929. Wysokości względne w kotlinie Nidy. *Wiadomości Geograficzne, Kraków*, 7, 5: 63-64.
- Gardziel Z., Nowak J., 1994. Współczesne i kopalne osady limniczne w okolicy Sosnowicy (Polesie Lubelskie). *Annales UMCS, Lublin, B*, 49: 33-49.

- Gardziel Z., Nowak J., 1996. Poligeneza rzeźby centralnej części Polesia Lubelskiego na przykładzie okolic Sosnowicy. *Acta Geographica Lodziensia*, 71: 43-53.
- Gawrysiak L., Harasimiuk M., 2009. Analysis of the gorges distribution in Lublin Upland and Roztocze. [W:] W. Zgłobicki, M. Dotterweich, J. Rodzik (red.), *Gully erosion in Lublin Region*. Lublin.
- Gontarka A., 1929. O rozmieszczeniu wysokości względnych po obu brzegach Wisły od Zawichosta do Tczewa. *Pamiętnik II Zjazdu Geografów i Etnografów Słowiańskich w Polsce. T. 1 (1927)*, Kraków: 319-320.
- Gregory K.J., Walling D.E., 1973. *Drainage Basin Form and Process. A Geomorphological Approach*, Edward Arnold Ltd., London.
- Harasimiuk M., 1980. Rzeźba strukturalna Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. *Rozprawa habilitacyjna*, Wyd. BiNoZ UMCS, Lublin.
- Harasimiuk M., Henkiel A., Pękała K., 1971. Rozwój zjawisk krasowych okolic Frampola w pliocenie i czwartorzędzie. *Annales UMCS, Lublin, B*, 24 (1969): 149-193.
- Henkiel A., 1984. Tektonika pokrywy mezozoicznej na północnym skłonie wału meta-karpackiego. *Annales UMCS, Lublin, B*, 39, 2: 15-38.
- Jahn A., 1956. Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd. *Prace Geograficzne IG PAN*, 7: 1-453.
- Józefaciuk Cz., Józefaciuk A., 1992. Gęstość sieci wąwozowej w fizjograficznych krainach Polski. *Pamiętniki Puławskie*, 101: 51-66.
- Józefaciuk A., Józefaciuk Cz., 1993. Próba prognozowania erozji wodnej gleb na podstawie zintegrowanych danych konwencjonalnych i teledetekcyjnych. *P (54)*, IUNG, Puławy.
- Kac J.G., Poletajev A.J., Rumianceva E.F., 1986. *Osnovy lineamietnoj tiektoniki*. Izdatietlstvo Niedra, Moskwa.
- Kardaszewska E., 1975. Zróznicowanie morfograficzne Zamojszczyzny w świetle mapy średnich nachyleń. *Biuletyn Lubelskiego Towarzystwa Naukowego, Geografia*, 17, 1/2: 3-12.
- Kęsik A., 1961. Valleys des terrains loessiques de la partie l'Ouest du Plateau de Nałęczów. *Annales UMCS, Lublin, B*, 15: 123-153.
- Kociuba W., Gawrysiak L., 1997. Średnie nachylenie stoków jako wskaźnik zagrożeń erozyjnych. [W:] Z. Michalczyk (red.), *Kompleksowe badania środowiska przyrodniczego Roztocza*. Wyd. UMCS, Lublin: 78-81.
- Kondracki J., Richling A., 1994. Regiony fizyczno-geograficzne. [W:] J. Kondracki, *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno-geograficzne*. PWN, Warszawa.
- Kurkowski S., 1998a. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski, arkusz Józefów (927), 1:50 000. Wydawnictwa Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.
- Kurkowski S., 1998b. Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski. Arkusz Józefów (927), 1:50 000. Wydawnictwa Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa, 32.
- Malicki A., 1955. Prace Eugeniusza Romera z zakresu kartometrii i morfometrii. *Czasopismo Geograficzne*, 26, 1-2: 66-75.
- Maruszczak H., 1972. Wyżyny lubelsko-wołyńskie. [W:] M. Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski*, 1, PWN, Warszawa: 340-383.
- Maruszczak H., 1973. Erozja wąwozowa we wschodniej części pasa Wyżyn południowopolskich. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 151: 15-30.
- Maruszczak H., Wilgat T., 1956. Rzeźba strefy krawędziowej Roztocza Środkowego. *Annales UMCS, Lublin, B*, 10.
- Maruszczak H., Rodzik J., Świeca A., 1992. Denudacja mechaniczna i chemiczna we wschodniej części pasa wyżyn południowopolskich. *Prace Geograficzne IGiPZ*, 155: 105-131.
- Michalczyk Z., 1986. Warunki występowania i krążenia wód na obszarze Wyżyny Lubelskiej i Roztocza. *Rozprawy habilitacyjne*, 30, Wyd. UMCS, Lublin.
- Mościbroda J., 1981. Problematyka pola podstawowego w badaniach geografów i kartografów polskich. *Polski Przegląd Kartograficzny*, 13, 2: 56-65.
- Muchowski J., 1977. Młode wcięcia erozyjne południowej strefy krawędziowej Wyżyny Lubelskiej, ich geneza wiek i dynamika rozwoju. *Biuletyn Geologiczny Uniwersytetu Warszawskiego*, 22: 118-152.
- Ochocka J., 1929. Mapa wysokości względnych w Polsce. *Pamiętnik II Zjazdu Geografów i Etnografów Słowiańskich w Polsce. T. 1 (1927)*, Kraków: 337-338.
- Ochocka J., 1931. Krajobraz Polski w świetle mapy wysokości względnych. *Prace Geograficzne* wyd. przez E. Romera, XIII, Lwów: 1-41.
- Ostaficzuk S., 1975. Badania młodych ruchów neotektonicznych metodą zageszczonych poziomów. *Materiały I Sympozjum: Współczesne i neotektoniczne ruchy skorupy ziemskiej w Polsce*: 77-87.
- Pike R.J., 1995. Geomorphometry – progress, practice, and prospect. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband*, 101: 221-238.

- Pike R.J., Evans I.S., Hengl T., 2008. Geomorphometry. A Brief Guide. [W:] T. Hengl, H.I. Reuter (red.), *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Development in Soils Science*. Elsevier, 33: 3-30.
- Rosiecka St., 1947. Regiony morfologiczne Wyżyny Lubelskiej w świetle mapy hipsometrycznej, wysokości względnych, wysokości średnich, górnych poziomów denudacyjnych, dolnych poziomów denudacyjnych. [rękopis], Wrocław.
- Sirko M., 1971. Metoda „profilu” jako podstawa konstrukcji map gęstości sieci rzecznej. *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis*, D, 11: 121-127.
- Starkel L., 1972. Karpaty Zewnętrzne. Kotlina Sandomierska. [W:] M. Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski. Polska Południowa*, 1, PWN, Warszawa: 52-115, 138-166.
- Strada L., 1931/1932. O najważniejszych zagadnieniach i potrzebach morfometrii. *Polski Przegląd Kartograficzny*, 5: 213-234.
- Strahler A.N., 1954. Statistical analysis in geomorphic research. *Journal of Geology*, 62: 1-25.
- Strojna H., 1951. Wysokości względne województwa lubelskiego. Maszynopis w Zakładzie Geografii Fizycznej i Paleogeografii UMCS, Lublin.
- Szalkiewicz B., 1947. Gęstość sieci rzecznej międzyrzecza Wisły i Bugu. *Annales UMCS, Lublin*, B, 2, 6: 151-162.
- Szumowski A., 1967. Rozwój głównych kierunków morfometrii. *Czasopismo Geograficzne*, 38, 1: 37-54.
- Świeca A., 1998. Wpływ czynników antropogenicznych na rzeczny odpływ roztworów i zawiesin na międzyrzeczu Wisły i Bugu. *Rozprawy habilitacyjne LXI*, UMCS, Lublin.
- Świeca A., Brzezińska-Wójcik T., 2009. Regionalne zróżnicowanie geosystemów zlewni rzecznych środkowowschodniej Polski w świetle badań odpływu roztworów. *Prace i Studia Geograficzne*, 41, Wydział Geografii i Studiów Regionalnych UW, Warszawa: 205-218.
- Thauer W., 1955. Neue Methoden der Berechnung und Darstellung der Reliefenergie. *Pet. Geographische Mitteilungen*, 1: 8-13.
- Uhorczak F., 1972. Rejonizacja produkcji rolniczej w woj. lubelskim. T. 1, z. 1. Wojewódzka Rada Narodowa, Lublin.
- Uhorczak F., Strojna H., 1972. Mapa wysokości względnych województwa lubelskiego. [W:] K. Miękus, S. Tabin, P. Szewczyk, F. Uhorczak (red.), *Projekt rejonizacji produkcji rolniczej w województwie lubelskim*. Lublin, 2.
- Warowna J., 1993. Współczesna aktywność tektoniczna w strefie południowej krawędzi Wyżyny Lubelskiej. [W:] M. Harasimiuk, J. Krawczuk, J. Rzechowski (red.), *Tektonika Rostocza i jej aspekty sedimentologiczne, hydrogeologiczne i geomorfologiczno-krajobrazowe. Materiały polsko-ukraińskiej konferencji terenowej*. 16-20 czerwca 1993, Lublin-Lwów: 66-70.
- Wilgat T., 1968. Przeglądowa mapa hydrogeograficzna województwa lubelskiego. *Annales UMCS, Lublin*, B, 20 (1965): 223-242.
- Wilson J.P., Gallant J.C., 2000. *Terrain Analysis: Principles and Applications*. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Wojtanowicz J., 1972. Wydmy Niziny Sandomierskiej w świetle badań granulometrycznych. *Annales UMCS, Lublin*, B, 25 (1970): 1-49.
- Wojtanowicz J., 1992. Podział fizycznogeograficzny Kotliny Sandomierskiej. *Annales UMCS, Lublin*, B, 44/45(1989/1990), 3: 67-93.
- Zaborski B., 1931/1932. Analiza morfometryczna rzeźby terenu niżowego. *Wiadomości Służby Geograficznej*, 3: 177-211.
- Żyszkowska W., 1978. Zastosowanie numerycznych modeli terenu do kartometrycznej analizy rzeźby. *Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Inst. Geogr.*, 340, Ser. A.