

Analiza geomorfologiczna terenu z zastosowaniem systemów informacji geograficznej

Field geomorphological analysis using geographical information systems

Elżbieta WOŁK-MUSIAŁ, Bogdan ZAGAJEWSKI

The aim of the article is to present the scope and methodology of research applied in the geomorphological analysis of a young-glacial area. The research process made use of the integrated instrumentation of teledetection and ground-based studies. The course of the work saw data gathered, processed and transferred to archives in Geographical Information Sys-

tems (GIS). The result has been a series of maps, including a detailed geomorphological map of the study area on the scale of the obtainment of data, i.e. 1:25 000, as well as a simulation of the course of the process of deglaciation following the last glaciation.

Cel i zakres badań

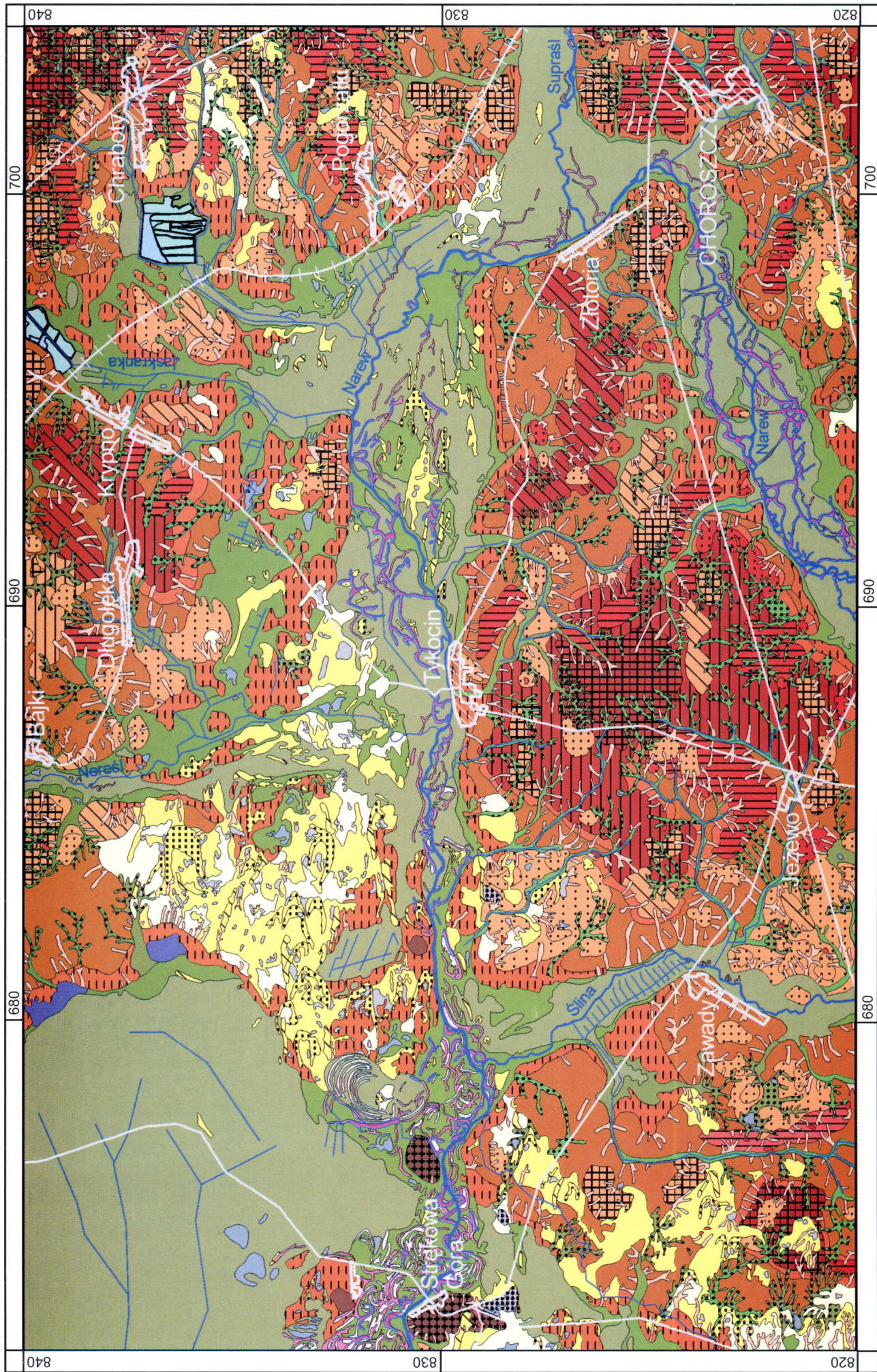
Teledetekcja uzupełniona Systemami Informacji Geograficznej (SIG) umożliwia pozyskiwanie i opracowanie w krótkim czasie kompleksowych danych dotyczących środowiska przyrodniczego, a zatem i form rzeźby. Informatywność obrazów teledetekcyjnych otrzymywanych z różnych poziomów jest tak duża, iż tylko niewielką jej część udaje się wykorzystać. W szybkim przetwarzaniu informacji wspierają teledetekcję metody SIG, zajmując tym samym znaczące miejsce wśród metod badań środowiska.

Systemy Informacji Geograficznej umożliwiają zbieranie, przetwarzanie, gromadzenie i szybkie udostępnianie danych. Zapisane w formie numerycznej mogą być przesyłane za pomocą nośników informacji, np. impulsów elektromagnetycznych lub też utrwalone w postaci analogowej (mapy, wykresy, tabele) zgodnie z zapotrzebowaniem użytkownika. Każdorazowo takie działania wykorzystują istniejące banki danych, z którymi można interaktywnie współpracować. Wszystkie dane są jednoznacznie zorientowane w dowolnie przyjętym układzie współrzędnych. Jedną z większych zalet SIG jest możliwość tworzenia relacji pomiędzy danymi różnego rodzaju, często pochodzącymi z różnych źródeł

i okresów. Użytkownik ma możliwość dokonywania wyboru interesujących go elementów według dowolnie wybranych kryteriów lub warunków logicznych, często bardzo skomplikowanych.

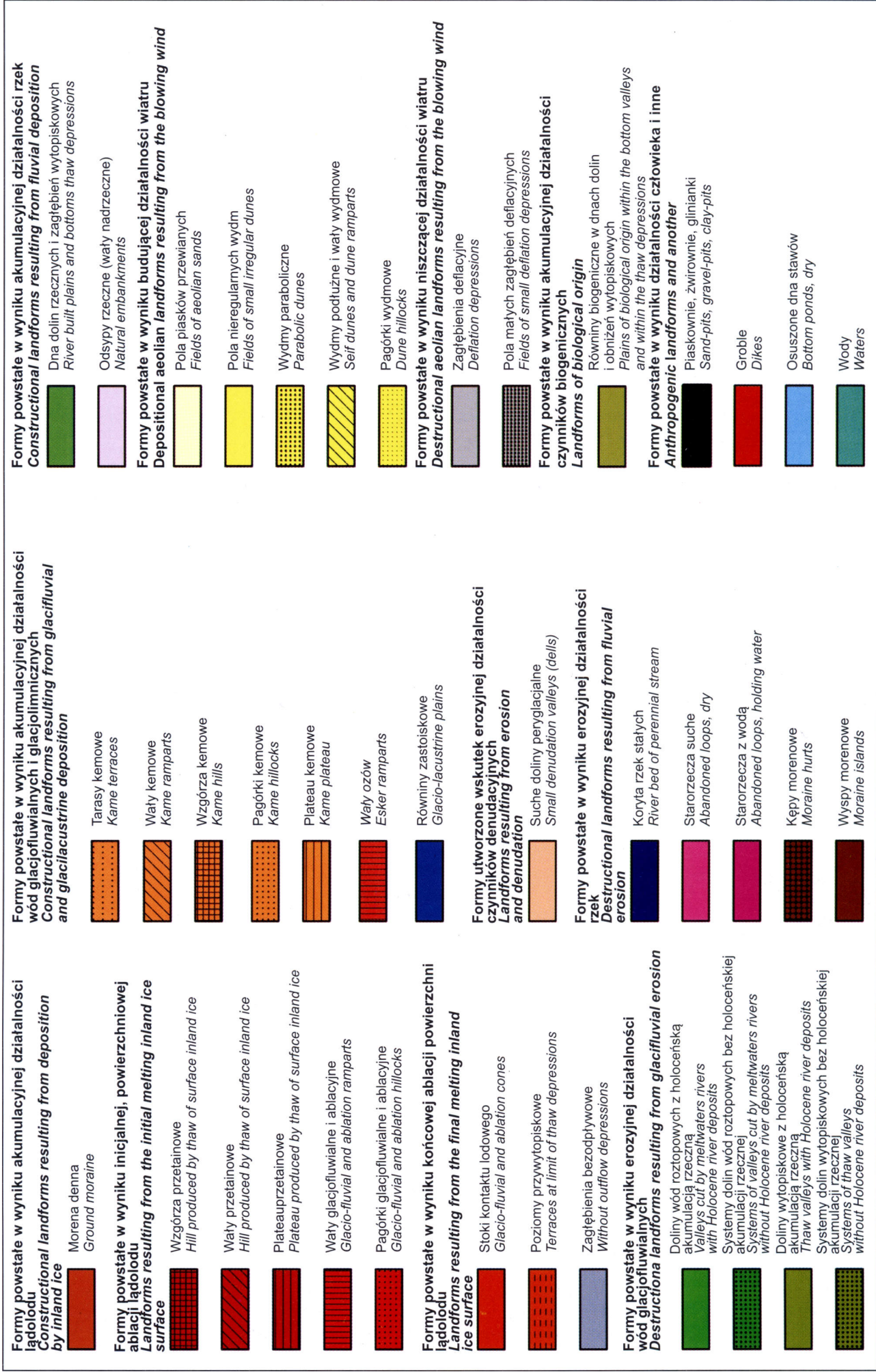
W analizie geomorfologicznej zastosowanie SIG jest na razie sporadyczne (Wołk-Musiał, 1992, 1993, 1994) i ogranicza się najczęściej do końcowej prezentacji wyników w postaci mapy. Włączenie go jako metody badań rzeźby terenu wymaga sprawdzenia, na ile jest on przydatny w rozpoznaniu genezy form lub typów rzeźby. Podstawowym czynnikiem warunkującym prawidłowe rozpoznanie genezy form, obok sytuacji przestrzennej, jest budowa wewnętrzna. Często jest ona trudna do zbadania, ze względu na określoną liczbę odkrywek, dosyć przypadkowo rozmieszczonych w terenie. Dlatego istotne jest rozpoznanie litologiczne obszaru badawczego i jego korelacja z typami rzeźby, będącymi efektem działalności czynników morfotwórczych.

Problem przeanalizowano na obszarze obejmującym przyległe, do doliny dolnej Narwi fragmenty wysoczyzn: Białostockiej, Wysokomazowieckiej i Goniądzkiej, począwszy od ujściowego odcinka rzeki Supraśli na wschodzie po Kotlinę Biebrzańską na zachodzie (Olędzki, 1992). Teren badań objęty jest arkuszem mapy Choroszcz w skali 1:50 000 (układ 65).



Ryc. 1. Mapa geomorfologiczna, arkusz Choroszcz

Fig. 1. The geomorphological map, Choroszcz sheet



Ryc. 2. Legenda mapy geomorfologicznej, arkusz Choroszcz

Fig. 2. Legend of the geomorphological map of the Choroszcz sheet

Etapy prac badawczych

1. Zastosowanie metodyki teledetekcyjnej do pozyskiwania informacji z zakresu podziału obszaru na jednostki fotomorfoliczne oraz morfografii i morfometrii form rzeźby terenu.

2. Opracowanie litologii badanego obszaru i jej wizualizacja w postaci mapy numerycznej dla terenu badań.

3. Utworzenie mapy typów rzeźby na podstawie istniejącej bazy danych numerycznych dla arkusza Choroszcz (skala 1:50 000).

4. Zastosowanie funkcji analizy przestrzennej systemu SIG do ustalenia zależności między morfometrią, litologią a typami rzeźby. Efektem było szczegółowe rozpoznanie geomorfologiczne obszaru badań.

W badaniach rzeźby istotną rolę odgrywa kompletność danych niezbędna do prawidłowego określenia jednostek taksonomicznych. Coraz częściej wykorzystuje się materiały teledetekcyjne w procesie pozyskiwania danych geomorfologicznych. Realizację tego tematu rozpoczęto od przeanalizowania obrazu satelitarne (kompozycja barwna RGB) oraz panchromatycznych zdjęć lotniczych w skali 1:25 000. Na ich podstawie opracowano mapę jednostek fotomorfolicznych, wychodząc z założenia, iż fizjonomia terenu, gdzie rzeźba często jest komponentem przewodnim, powinna znaleźć swoje odbicie w obrazie fotograficznym. Założono, iż zespół form występujący w określonej jednostce powinien być spójny genetycznie. Przeprowadzono klasyfikację morfometryczną rzeźby na podstawie map topograficznych w skali 1:25 000 i zdjęć lotniczych, która została ukierunkowana na systematyzację form w krajobrazach glacialnych (Richling, 1973). W efekcie otrzymano rozkład jednostek typologicznych wyróżnionych na podstawie kryteriów fizjonomicznych i morfometrycznych rzeźby, takich jak: deniwelacja, spadki i wymiar podstawy formy terenu. Morfometryczna klasyfikacja rzeźby opracowana została jako warstwa numeryczna w systemie SIG.

Dla opracowywanego terenu objętego arkuszem mapy Choroszcz w skali 1:50 000 wykonano rozpoznanie litologiczne na podstawie map glebowo-rolniczych w skali 1:25 000. Zasięgi wyróżnień litologicznych zostały zweryfikowane i uzupełnione danymi z panchromatycznych zdjęć lotniczych z 4 X 1987 r. oraz sprawdzone podczas przeglądowego kartowania terenowego. Sporządzone zostały cztery arkusze mapy litologicznej w skali 1:25 000 (Szorce, Długoleka, Tykocin, Choroszcz), które obejmują swoim zasięgiem obszar arkusza Choroszcz w skali 1:50 000).

Kolejnym etapem było przejście z analogowej wersji map cząstkowych na postać numeryczną. Zostały one zeskanowane, a następnie zwektoryzowane w programie SINUS (Wołk-Musiał, 1993). Powstały cztery bazy danych numerycznych, oddzielnie dla każdego arkusza mapy w skali 1:25 000. Kolejny etap to przeniesienie danych do systemu ArcInfo, który umożliwił połączenie cząstkowych baz danych w jedną całość. Każdemu poligonowi przypisane zostały atrybuty zawierające trzy

informacja zakodowane rozdzielnie: utwór powierzchniowy, jego miąższość i utwór podścielający. Zakres informacji litologicznej będącej przedmiotem badań prezentuje tabela 1, która obejmuje dodatkowo powierzchnię sztucznych zbiorników i stawów.

Tabela 1.

Jednostki litologiczne badanego obszaru
The lithological units of research area

Etykieta Label	Utwory powierzchniowe Top-surfaces deposits
1	Żwir Gravel
2	Piasek luźny i słabogliniasty Loose sand
3	Piasek gliniasty i piasek gliniasty mocny Loamy sand
4	Gлина Clay
5	Gлина ciężka Heavy clay
6	Pył Bizarre
7	Ил Silt
8	Torf Peat
9	Mursz Peat earth
10	Woda Water

Oddzielną etykietą zakodowano głębokość zalegającego utworu w przedziale co 0,5 m: > 0,5 m, 0,5–1,0 m, 1,0–1,5 m.

Tak zakodowana komputerowa mapa litologiczna daje szczegółowe rozpoznanie w warstwie do 1,5 m głębokości oraz utwór podścielający, dla obszaru około 600 km². Sposób kodowania umożliwia tworzenie w programie ArcInfo trzech oddzielnych warstw tematycznych obrazujących litologię co 0,5 m głębokości. Na jej podstawie można stwierdzić, że badany teren pokrywają głównie piaski luźne i słabogliniaste i gliniaste na obszarach wysoczyznowych z dużym udziałem terenów zajętych przez torfy w dolinach i obniżeniach wytopiskowych.

Istotną cechą zastosowania SIG, jako narzędzia rozszerzającego metody badawcze rzeźby, jest możliwość dokonywania różnych operacji na zbiorach zgromadzonych w bazie danych. Korzystając z niej wykonano mapę typów rzeźby badanego obszaru, na podstawie wcześniej opracowanych warstw tematycznych: jednostek fotomorfolicznych, typów morfometrycznych rzeźby i litologii. Budowa tej warstwy była możliwa dzięki wykorzystaniu ciągłości funkcji systemu ArcInfo, która pozwala na tworzenie zbiorów o cechach spełniających szczególne warunki. Takim warunkiem łączącym zbiory był tutaj wspólny czynnik morfotwórczy kształtujący określone obszary. W efekcie otrzymano 12 klas typów rzeźby, które prezentuje tabela 2.

Następny etap to uszczegółowienie mapy typów genetycznych rzeźby i wyróżnienie zasięgów poszczególnych form według opracowanej legendy (ryc. 2). Infor-

Tabela 2.

Morfogenetyczne typy rzeźby
The morphogenetic relief types

Etykieta Label	Efekty działalności czynników morfotwórczych Result of the action morphogenetic factors
1	Formy powstałe w wyniku akumulacyjnej działalności lądolodu <i>Constructional landforms resulting from deposition by inland ice</i>
2	Formy powstałe w wyniku inicjalnej, powierzchniowej ablacji lądolodu <i>Landforms resulting from the initial melting inland ice surface</i>
3	Formy powstałe w wyniku końcowej ablacji powierzchni lądolodu <i>Landforms resulting from the final melting inland ice surface</i>
4	Formy powstałe w wyniku erozyjnej działalności wód glacjofluwialnych <i>Destructional land forms resulting from glaci-fluvial erosion</i>
5	Formy powstałe w wyniku akumulacyjnej działalności wód glacjofluwialnych i glacjolimnicznych <i>Constructional landforms resulting from glaci-fluvial and glaci-lacustrine deposition</i>
6	Formy utworzone wskutek erozyjnej działalności czynników denudacyjnych <i>Landforms resulting from erosion and denudation</i>
7	Formy powstałe w wyniku erozyjnej działalności rzek <i>Destructional landforms resulting from fluvial erosion</i>
8	Formy powstałe w wyniku akumulacyjnej działalności rzek <i>Constructional landforms resulting from fluvial deposition</i>
9	Formy powstałe w wyniku budującej działalności wiatru <i>Depositional aeolian landforms resulting from the blowing wind</i>
10	Formy powstałe w wyniku niszczącej działalności wiatru <i>Destructional aeolian landforms resulting from the blowing wind</i>
11	Formy powstałe w wyniku akumulacyjnej działalności czynników biogenicznych <i>Landforms of biological origin</i>
12	Formy powstałe w wyniku działalności człowieka i inne <i>Anthropogenic landforms and another</i>

macja geomorfologiczna zawarta na opracowywanej mapie to katalog form związanych z działalnością akumulacyjną i erozyjno-destrukcyjną lądolodu i wód polodowcowych, rzek, wiatru i człowieka. Proces opracowania szczegółowej mapy geomorfologicznej wspomagany był analizą zdjęć lotniczych i przeglądowym kartowaniem terenowym. Obraz stereoskopowy pozwolił ustalić związki przestrzenne pomiędzy formami, co stanowiło podstawę wnioskowania o ich genezie. Wykonano analogową mapę geomorfologiczną w skali 1:50 000 dla arkusza Choroszcz (układ 65). Następnie poddano ją opracowaniu numerycznemu, które obejmowało: skanowanie i wektoryzację w systemie SINUS, tworzenie topologii, kodowanie, łączenie arkuszy cząstkowych we wspólną bazę danych (transformacje: wektorowa i rastrowa), opracowanie legendy do mapy w programie Erdas Imagine dla 40 wyróżnień geomorfologicznych. W pierwszej kolejności opracowano sekwencję kolorystyczną mapy tak, aby identyfikowała się ona z typami rzeźby. Natomiast szrafem rozpozniomowano formy: wzgórze, wały, pagórki, plateau, poziomy erozyjne, tarasy.

Rzeźba glacjalna analizowanego obszaru (ryc. 1) powstała w czasie recesji lądolodu środkowopolskiego stadiału północnomazowieckiego (Mojski, 1982) lub zlodowacenia Warty (Różycki, 1978). Rozpoznane tu formy rzeźby wskazują, iż sposób deglacjacji pokrywy lodowej uzależniony był od rzeźby podłoża lodowcowego zróżnicowanej hipsometrycznie. Sprzyjało to powstawaniu napięć i naprężeń w lądolodzie i w efekcie tworzeniu się licznych spękań na jego powierzchni. Procesy te przyspieszyły rozpad jednolitej powłoki lodowej. W przetainach, które formowały się najczęściej nad wyniesieniami starszego podłoża pojawiły się „oazy ziemne” (Musiał,

1983). W ich pobliżu intensywnie rozwinęła się sieć szczelin, tuneli i kotłów, zarówno w obrębie martwiejącego lądolodu jak i pod nim. Rozpoczął się arealny zanik pokrywy lodowej na opracowywanych terenach.

W pierwszej kolejności pojawił się typ rzeźby związany z powierzchniową ablacją lądolodu, który obejmuje kulminacje terenowe. Jest on dominujący na obszarze badawczym, a tworzą go formy pochodzenia przetaiowego (wzgórza, wały i plateau) oraz glacjofluwialno-ablacyjnego (wały, pagórki i stożki). W miarę zmniejszania się miąższości lodu odsłaniała się równina moreny dennej będąca wynikiem akumulacyjnej działalności lądolodu. Stanowi ona tło dla dyzjunktywnie występujących form szczelinowych, które pojawiły się wskutek akumulacyjnej działalności wód glacjofluwialnych i glacjolimnicznych, a reprezentowane są przez pagórki, wały i wzgórze. Obszary równin związane z omawianym typem rzeźby reprezentują tarasy kemowe, które tworzyły się w brzeżnej strefie martwiejącego lądolodu wypełniającego Kotlinę Biebrzańską, dolinę Narwi, a także rozległe obniżenie wykorzystywane obecnie przez dolny odcinek rzeki Śliny. W końcowych etapach powierzchniowej ablacji lądolodu, tworzył się typ rzeźby, którego główną formą są płaskie poziomy przywytópiskowe otaczające listwą zmiennej szerokości doliny Narwi i Śliny, zajmując rozległe obszary między miejscowościami: Góra, Knyszyn i Pogorzalki.

Na terenach uwalnianych sukcesywnie od zwartej powłoki lodowej, wody roztopowe modelowały sieć dolinną. Jednocześnie zachodziły tam procesy wytapiania zagrzebanych brył lodu. Formowała się rzeźba związana z erozyjną działalnością wód glacjofluwialnych, tworząc radialną sieć dolin na stokach kulminacji terenowych.

W obrębie typu rzeźby ablacyjno-przetainowego, a także kemowego powszechnym zjawiskiem było spływanie wód do lokalnych obniżen bezodpływowych i wciąganie ich w odpływ. Świadczą o tym występujące powszechnie na badanym terenie wąskie, przełomowe odcinki dolin łączące szerokie obniżenia, np. na zachód od rzeki Śliny.

Prawdopodobnie jako ostatnie wytopiły się fragmenty łądolodu wypełniającego dzisiejszą dolinę Narwi.

W literaturze naukowej pierwsze wzmianki o jeziornym pochodzeniu doliny Narwi datuje się na lata trzydzieste (Zaborski, 1927). J.E. Mojski (1972) również stwierdza istnienie obniżenia, będącego misą końcową łądolodu, w rejonie miejscowości Żółtki. Obniżenie to, wykorzystywane obecnie przez rzekę Supraśl, kontynuuje się w kierunku zachodnim doliną Narwi, aż po przełomowy jej odcinek między miejscowościami Pogorzałki-Siekierki. Autor stwierdza, że charakter rzeźby wysoczyzn i kształty dolin pozwalają przypuszczać, że jeziora były genetycznie związane z misami końcowymi i wytopiskami powstałymi po wewnętrznej stronie ciągów morenowych. E. Falkowski (1971) wiąże genezę doliny Narwi z misami końcowymi i obniżeniami wytopiskowymi powstałymi podczas deglacjacji lodowca stadiała Mławy. Topnienie brył martwego lodu w misach końcowych związanych z recesyjnymi, lokalnymi ciągami moren czołowych oraz zamknięcie odpływu wód roztopowych na północ przez stagnujący tam łądolód, musiało spowodować spiętrzenie wód w kotlinach. Sytuacja taka doprowadziła do utworzenia przepływu wód roztopowych z lodowca i brył martwego lodu w kierunku południowym i dalej południowo-zachodnim w stronę Kotliny Biebrzańskiej.

Podczas zlodowacenia Warty doliny Nereśli i Jasranki stanowiły drogę transportu materiału glacyjfluwalnego do Kotliny Tykocińskiej, odprowadzając wody roztopowe z linii postoju lodowca w okolicach Knyszyna (Banaszuk, 1980).

W holocenie nastąpiło zwydmienie poziomów przywytopiskowych, fragmentów piaszczystej moreny dennej i tarasów kemowych. Dziedzina form eolicznych dominuje w krajobrazie zachodniej części badanego terenu. Zaznaczają się tutaj, obok wydym parabolicznych, również wały wydymowe, których kształt i morfologia wskazują, iż sypane były przez wiatry, głównie z sektora

zachodniego (Grzybowski, 1981). Rozpoznane zostały również pola piasków przewianych i pola nieregularnych wydym z obniżeniami deflacyjnymi.

Cały rozległy obszar doliny Narwi wypełniony został w holocenie osadami akumulacji organogenicznej, tworząc rozległą równinę torfową, porożcinaną systemem koryt rzecznych i starorzeczy, obecnie w większości suchych.

Analizując zdjęcia lotnicze rozpoznano odsypy ciągnące się niewielkimi, wydłużonymi powierzchniami wzdłuż licznych koryt prowadzących wody Narwi na całej szerokości doliny. Zjawisko to jest typowe dla rzek nizinnych, o małym spadku, zmieniających często swój nurt. Odsypom towarzyszy akumulacja piasków eolicznych w postaci wałów wydymowych.

W wyniku intensywnych prac melioracyjnych w dolinie Narwi obniżono znacznie poziom wód gruntowych, co powoduje wysychanie szeregu starorzeczy oraz nasilanie procesów murszenia torfów.

Literatura

- Banaszuk H., 1980: Geomorfologia południowej części Kotliny Biebrzańskiej. *Prace i studia*, WGiSR UW, Warszawa.
- Falkowski E., 1971: Historia i prognoza rozwoju układu koryta wybranych odcinków rzek nizinnych Polski. *Biul. Geol.*, t. 12, UW, Warszawa.
- Grzybowski J., 1981: Rozwój wydym w południowo-wschodniej części Kotliny Biebrzańskiej. *Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN*, z. 4.
- Mojski J.E., 1972: Nizina Podlaska, [w:] *Geomorfologia Polski*, PWN, Warszawa.
- Musiał A., 1992: *Studium rzeźby glacialnej północnego Podlasia*, UW, Warszawa.
- Olędzki J., 1992: *Geograficzne uwarunkowania zróżnicowania obrazu satelitarnego Polski i jego podziału na jednostki geomorficzne*. Wyd. UW, Warszawa.
- Richling A., 1973: O sposobach przedstawiania urzeźbienia w terenach młodoglacjalnych. *Przegląd Geograficzny*, t. 45, z. 1.
- Wołk-Musiał E., 1984: Systeme d'information spatiale SINUS-1 instrument de l'analyse geomorfologique. *Miscellanea Geographica*, WGiSR UW, Warszawa.
- Wołk-Musiał E., 1999: Komplementarność metod badawczych w kartowaniu rzeźby, [w:] *Geografia na przełomie wieków — jedność w różnorodności*, WGiSR UW, Warszawa.
- Wołk-Musiał E., Zagajewski B., 1999: Geoinformation as an effective tool for environmental protection and land use optimisation, [w:] *Operational Remote Sensing for Sustainable Development*. Balkema, Rotterdam.



Bogdan Zagajewski — absolwent Międzywydziałowych Studiów Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego. Od listopada 1995 r. zatrudniony w Zakładzie Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW na stanowisku techniczno-inżynierskim. Od października 1998 doktorant Studium Doktoranckiego WGiSR UW w zakresie geoinformacji. W roku 1999 stypendysta Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, Fun-

dacji im. Nowickiego oraz Deutsche Bundesstiftung Umwelt.



Dr Elżbieta Wołk-Musiał jest absolwentką Instytutu Geografii Wydziału Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Warszawskiego. Stopień naukowy doktora uzyskała w 1975 r. Przez cały czas trwania pracy zawodowej związana jest z Pracownią Teledetekcji, a potem Zakładem Teledetekcji Środowiska Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych UW. Zajmuje się wykorzystaniem zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych w geomorfologii (kartowanie wielkoskalowe z zastosowaniem GIS) i geografii fizycznej.