

Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Podlasia, w skali 1:300 000¹

General geomorphological map of Podlasie (Poland) in the scale 1:300 000

Jacek KRZEMIŃSKI

Słowa kluczowe: Podlasie, Mapa Geomorfologiczna, Landsat TM

Key words: Podlasie, geomorphological map, Landsat TM

The general geomorphological map of Podlasie, in the scale 1:300 000 represent distribution, spatial arrangement and origin landforms. The map gives knowledge about the origin and age landforms. It's very important for understanding of the particular development stage forming relief of Podlasie.

To elaborate this map make use cartographic and remote sensing data. Very important was General Geomorphological Map of Poland in the scale 1:500 000, sheet of Warszawa, Geological Map of Poland in the scale 1:200 000, topographic map in the scale 1:100 000 and Landsat TM images in the scale 1:100 000.

Wstęp

Z uwagi na bardzo małą liczbę opracowań geomorfologii Podlasia, autor zdecydował podjąć się zadania wykonania Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Podlasia w skali 1:300 000. Cechą wyróżniającą to opracowanie jest rodzaj użytych materiałów. Wykorzystano dane pochodzące z satelity Landsat-5 ze skanera TM, które posłużyły do uszczegółowienia Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski w skali 1:500 000. Przy opracowywaniu mapy wykorzystane zostały materiały kartograficzne i piśmiennicze, w postaci map topograficznych i geologicznych oraz publikacje odnoszące się do tego obszaru.

Wykonywana mapa jest mapą cyfrową – przestrzenną bazą danych o geomorfologii Podlasia. Daje to szerokie możliwości wykorzystania danych do różnego rodzaju analiz i wizualizacji. Baza ta daje możliwość nakładania

The aim was elaborate of the digital map. Elaborated map is the vector database about landforms of the Podlasie, recorded in ESRI shapefile format (*.shp.).

The map legend is presented in table 1. On the end of this volume is CD with the Map in pdf format.

General Geomorphological Map of Podlasie elaborated after concept and under professor Jan R.. Olędzki care in Department of Geoinformatics and Remote Sensing, Faculty of Geography and Regional Studies Warsaw University.

i porównywania wyników z innymi opracowaniami tego obszaru.

Podlasie należy do regionów słabo rozpoznanych pod względem geomorfologicznym, choć leży on w obrębie zainteresowań geografów od początku XX w. Nadal brakuje kompletnych opracowań z zakresu stratygrafii i rozwoju rzeźby glacialnej, przede wszystkim rozpoznania etapów jej tworzenia. Duży postęp w zrozumieniu przebiegu formowania się dzisiejszej rzeźby tego obszaru, przyniosły lata 70. i 80. ubiegłego wieku. Wykonane w tych latach liczne badania geologiczne i geomorfologiczne dały podstawę do stworzenia nowych koncepcji rozwoju rzeźby plejstocenijskiej Podlasia.

Pierwszą, całościowo opisującą budowę geologiczną i rzeźbę Podlasia była praca J. Siemiradzkiego (1909). Autor ten sformułował wiele cennych i odkrywczych, w tym czasie, teorii na temat sposobu przebiegu deglacjacji Polski północno-wschodniej, funkcji jaką pełniło Podlasie. Opisał także przebieg głównych form glacialnych. Wsunęta przez autora koncepcja frontального zaniku lodolodu przetrwała bardzo długo i wyznaczyła kierunki szczególnych i regionalnych badań tego obszaru.

¹ Opracowanie to wykonano w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego, według pomysłu i pod opieką prof. dr hab. Jana R. Olędzkiego.

Pierwszym całościowym dziełem poświęconym genezie rzeźby Podlasia, jest praca B. Zaborskiego (1927). Praca ta szczegółowo omawia zagadnienia geomorfologii, w większości uznawane za aktualne do dziś. Autor omawia sposób zaniku lodolodu, jego kierunek, a także miejsca jego postoju. Przedstawia także rolę dolin w odprowadzeniu wód roztopowych z tego terenu.

Lata powojenne przynoszą szczegółowe badania stref morenowych postoju lodowca, a przede wszystkim wyznaczenia ich wieku oraz rangi. B. Halicki (1950), uważa, iż rzeźba Podlasia związana jest z działalnością lodolodu pokrywającego ten teren przed zlodowaceniem Wisły, a po zlodowaceniu środkowopolskim.

W pierwszych latach po II wojnie światowej pojawiły się także pierwsze szczegółowe opracowania kartograficzne. Przeglądowa mapa geologiczna Polski 1:300 000 – arkusz Olsztyn (S. Zwierz 1948) i arkusz Białystok (S. Pietkiewicz 1950). Przedstawiają one w sposób całościowy budowę geologiczną Podlasia.

W miarę pogłębiania wiedzy geomorfologicznej badanego obszaru zaczęto wysuwać podglądy na arealną deglacjację lodolodu (M. Bogacki, A. Musiał 1975; A. Musiał 1976).

Opracowaniem charakteryzującym całość środowiska byłego województwa białostockiego jest *Atlas woj. białostockiego*, J. Kostrowickiego (1968). Wykonana przez S. Pietkiewicza mapa form terenu 1:300 000 przedstawia ten teren w ujęciu jedynie typów rzeźby, wyróżniając kilka ich kategorii. Mapa ta jest interesująca dla autora niniejszej pracy ze względu na tę samą skalę opracowania.

Syntezy wiedzy o Nizinie Podlaskiej dokonał także J. Kondracki (1972). W pracy charakteryzującej Polskę północno-wschodnią, zamieścił charakterystykę m.in. Niziny Północnopodlaskiej, dzieląc ją na mniejsze regiony. Opis obszaru nie jest opisem jedynie fizycznym, ponieważ są tam także zagadnienia społeczno-gospodarcze, na temat stanu i historii osadnictwa tego terenu.

Znaczne zasługi w poznaniu rozwoju rzeźby północnego Podlasia miał A. Musiał (1976, 1983a, 1983b, 1984, 1986, 1988). Liczne i szczegółowe prace z terenu Wysoczyzny Kolneńskiej i Doliny Biebrzy pozwoliły na lepsze zrozumienie procesów kształtujących całe Podlasie. Szczególnie interesującą pracą jest *Studium rzeźby glacialnej północnego Podlasia* (A. Musiała, 1992) jako syntetyczna praca poprzedzona wieloma szczegółowymi studiami. Autor charakteryzuje poszczególne części północnego Podlasia, jednocześnie zamieszczając syntezę zebranej wiedzy, szczegółowo opisuje poszczególne etapy formowania się rzeźby tego obszaru. A. Musiał skłania się ku teorii frontального charakteru zaniku lodowca, twierdząc, że formy glacialne związane są z deglacjacją przetaśnową, znacznie rozciągniętą w czasie. Autor wykonał kartowanie znacznej części obszaru, czego efektem jest mapa rzeźby glacialnej północnego Podlasia w skali 1:300 000. Opracowanie to pokazuje przestrzenne zróżnicowanie i charakter rzeźby terenu. Autor opracował bogatą legendę, a mapa odznacza się wysoką szczegółowością, daleko przewyższającą mapę S. Pietkiewicza z 1968 roku.

Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski 1:500 000 (1981) jest nowszym opracowaniem kartograficznym, o nie-

co ogólniejszej treści od mapy w skali 1:200 000 z lat 70. XX wieku. Omawiany obszar opracowany był przez S. Pietkiewicza. Mapa jest syntetycznym opracowaniem kartograficznym tego terenu zawierającym genezę i chronologię powstania poszczególnych form rzeźby.

Zdjęcia lotnicze i satelitarne są od dawna bardzo dobrym źródłem wiedzy na temat kształtowania się rzeźby powierzchni Ziemi. Znajdują one szerokie zastosowanie w sporządzaniu map i szkiców geomorfologicznych w różnych skalach. Pomimo tego wielu badaczy środowiska na co dzień niezwiązanych z teledetekcją, wykazują dużą niechęć do wykorzystania tych materiałów. Coraz lepiej rozwinięte metody pozyskiwania i przetwarzania zobrażeń teledetekcyjnych pozwalają na coraz dokładniejsze analizy badanego terenu.

Badaniem geomorfologii Podlasia za pomocą zdjęć lotniczych zajmowała się E. Wołk-Musiał. Były to badania przede wszystkim na obszarze Wysoczyzny Kolneńskiej. W pracy *Granica zlodowacenia bałtyckiego na obszarze Wysoczyzny Kolneńskiej w świetle analizy zdjęć lotniczych* (1983) znajduje się przykład zastosowania zdjęć w szczegółowym wyznaczaniu form związanych w postojem lodowca.

E. Wołk-Musiał (1985) podjęła również próbę zastosowania zdjęć lotniczych w badaniu geomorfologii okolic Elku. W wyniku interpretacji rzeźby młodoglacjalnej na podstawie zdjęć panchromatycznych w skali 1:16 000 i barwnych w skali 1:9000 oraz dotychczasowej wiedzy o tym terenie, powstały dwie fotointerpretacyjne mapy geomorfologiczne okolic jeziora Zdresno. Autorka określa zdjęcia barwne w większej skali jako bardziej odpowiednie w takich badaniach. Zdjęcia panchromatyczne posłużyły tylko do wyznaczenia mezoform, takich jak zespoły pagórków kemowych, obszary sandrowe. Natomiast zdjęcia barwne pozwoliły wyróżnić drobne dolinki i niewielkie wzniesienia. Autorka wysuwa wnioski o arealnej deglacjacji lodolodu, potwierdza to układ przestrzenny form. Twierdzi, iż zdjęcia lotnicze pozwalają na uszczegółowienie posiadanej wiedzy i wyróżnienie nowych, dotychczas nie rozpoznanych tu form (Wołk-Musiał).

Charakterystyka obszaru badań

Zasięg badanego obszaru został wyznaczony w oparciu o opracowanie J.R. Olędzkiego (2007) *Regiony Geograficzne Polski*. Autor ten dokonał podziału Polski na regiony geograficzne I, II i III rzędu. Regiony I rzędu to makroregiony. Badany obszar jest makroregionem o nazwie Podlasie (6). Teren badań obejmuje 4 jednostki II rzędu: Podlasie Północne z 30 mikroregionami; Podlasie Środkowe z 10 mikroregionami; Podlasie Południowe z 9 mikroregionami i Puszcze Podlaskie z 5 mikroregionami, ryc 1.

Charakterystyka użytych materiałów

Obrazy satelitarne. Do wykonania interpretacji wizualnej wykorzystano kompozycję barwną trzech scen sa-



Ryc. 1. Regiony geograficzne Podlasia. Według J.R.Olędzkiego (2007).
 Fig. 1. Geographical region of Podlasie. After: J.R.Olędzki (2007)

telity Landsat 5 skanera TM, wykonanych na przełomie sierpnia i września 1992 roku. Użyto kompozycji RGB trzech kanałów: 4, 5, 3. Rozdzielczość terenowa obrazu wynosi 30 m, a radiometryczna 8 bitów, ryc. 2.

Dane te posiadają wystarczającą rozdzielczość terenową do interpretacji geomorfologii. Większa rozdzielczość oznaczałaby większe obciążenie komputera, co wiązałoby się z trudnościami w kolejnych etapach pracy.

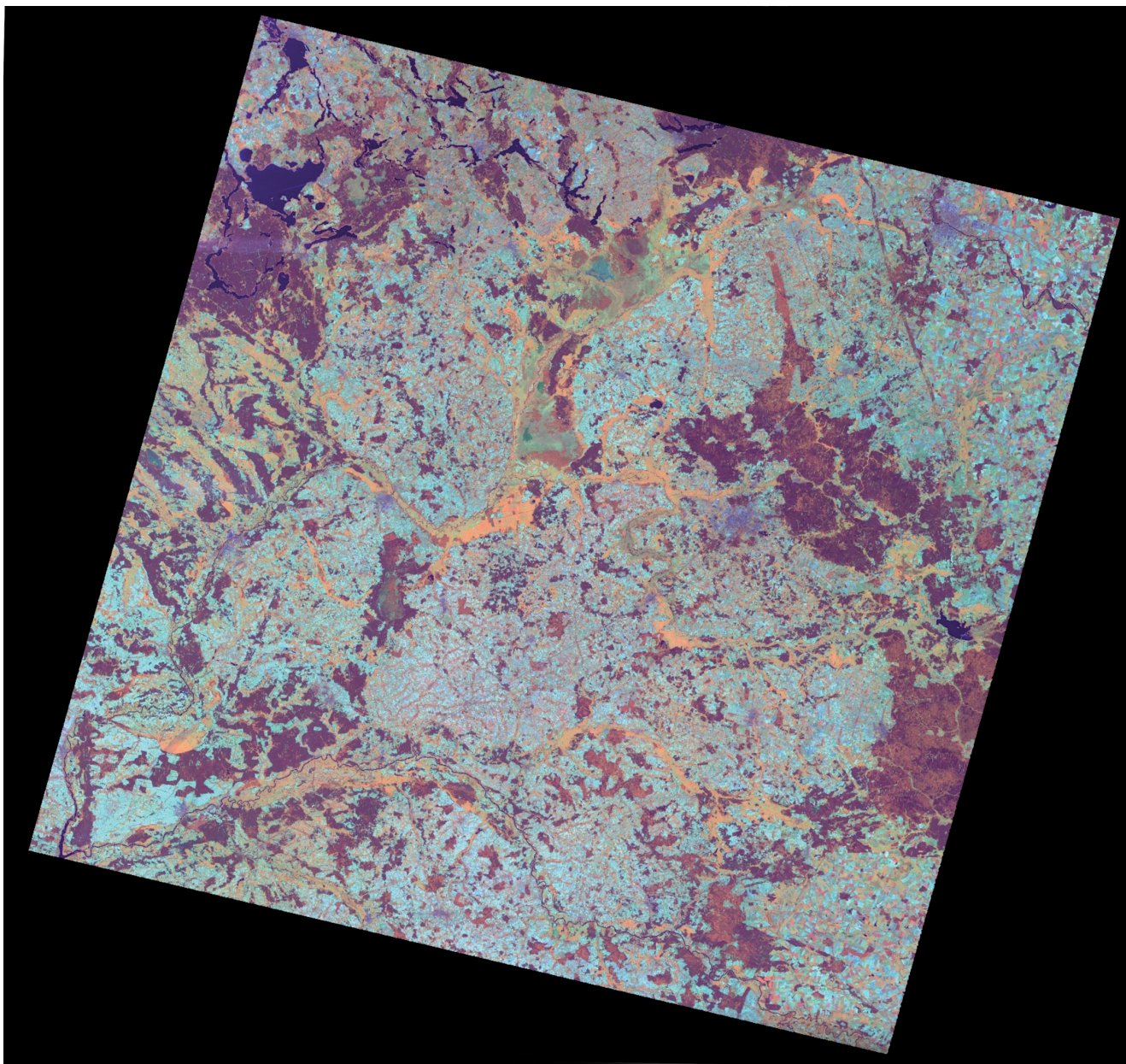
Materiały kartograficzne. Podstawowym materiałem kartograficznym była Przełądowa Mapa Geomorfologiczna w skali 1: 500 000. Wykorzystano arkusz Warszawa autorstwa H. Maruszczaka, J.E. Moiskiego i S. Pietkiewicza wykonany w 1981 r. pod redakcją L. Starkła. Przy wykonaniu nowej mapy zastosowano w całości wyróżnienia zawarte w legendzie Przełądowej Mapie Geomorfologicznej.

Legenda tej mapy ma konstrukcję hierarchiczną. W pierwszym poziomie wyróżniono obszary wynoszone

i obszary obniżane w neogenie i czwartorzędzie. Na drugim poziomie wyróżnione są formy o takiej samej genezie na przykład formy akumulacji rzecznej lub formy erozji rzecznej. Na trzecim poziomie wyróżniono pojedyncze formy o określonej genezie i czasie powstania na przykład równiny tarasowe z okresu zlodowacenia bałtyckiego.

Kartograficzne materiały uzupełniające, to przede wszystkim mapy topograficzne i mapy geologiczne w skali 1:200 000 lub 1:300 000. Wykorzystano Przełądową Mapę Geologiczną Polski 1:300000, arkusz Białystok i arkusz Olsztyn. Mapa ta jest nieco dokładniejszym źródłem informacji o osadach tworzących formy terenu niż mapa geomorfologiczna z racji większej skali i innego charakteru informacji. Mapa ta była szczególnie przydatna podczas interpretacji na terenach o mało wyraźnej rzeźbie, dostarczając informacji na temat zasięgu poszczególnych form.

Szeroko wykorzystywano także mapy topograficzne.



Ryc.2. Obraz satelitarny Landsat TM, kompozycja barwna RGB(4-5-3).
 Fig. 2. Landsat TM image, color composite RGB(4-5-3)

Było to 25 arkuszy Mapy Topograficznej Polski w skali 1: 100 000, wydanej przez Sztab Generalny W.P. z lat 1959-62.

Koncepcja Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej 1 : 300 000

Treść i charakter mapy. Mapa Geomorfologiczna Podlasia w skali 1:300 000 jest mapą przedstawiającą nie tylko typy, rozmieszczenie i układ przestrzenny form powierzchni ziemi, ale także ich genezę. Jest ona bogatsza w treść w porównaniu z mapą typów rzeźby, która zawiera informacje jedynie o rozmieszczeniu poszczególnych form. Mapa geomorfologiczna dostarcza wiedzy o genezie i czasie powstania form, co jest bardzo istotne dla zrozumienia etapów formowania się rzeźby Podlasia. Mapa taka nie tylko pozwala odnaleźć równiny tarasowe w dolinie Narwi czy Bugu, ale dostarcza również informacji o wieku tych form.

W swojej treści uwzględnia także dokładniejsze informacje, takie jak podział wiekowy wałów moren akumulacyjnych.

Do wykonania mapy użyto kilku źródeł kartograficznych i teledetekcyjnych. Najbardziej istotnym materiałem była Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski w skali 1:500 000, arkusz Warszawa oraz zobrazowania z satelity LANDSAT TM. Wykonywana mapa jest niejako uszczegółowieniem Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski w skali 1:500 000, arkusz Warszawa w oparciu o zobrazowania z satelity LANDSAT TM.

Celem było wykonanie możliwie najdokładniejszego opracowania geomorfologii tego terenu, na jakie pozwalały wykorzystane materiały. Interpretacji obrazów satelitarnych dokonywano w skali 1:100 000. Jest to skala trzykrotnie większa od skali wykonanej mapy. Wykonana mapa jest mapą cyfrową więc, jest jednocześnie mapą bez-

skalową, w związku z czym należy mówić o dokładności w skali 1:300 000, a nie skali mapy. Dokładność w skali 1:300 000 osiągnięto poprzez generalizację treści mapy ze skali 1:100 000.

Założeniem było opracowanie mapy w postaci cyfrowej, która mogłaby funkcjonować w takiej formie wśród osób zajmujących się badaną tematyką. Opracowanie to można nazwać przestrzenną bazą danych zawierającą wektorowe dane o geomorfologii Podlasia. By możliwie duża liczba użytkowników miało dostęp do danych, konieczne było wybranie odpowiedniego formatu zapisu. Powszechnie używanym wektorowym formatem jest ESRI Shapefile, w którym to pliki posiadają rozszerzenie *.shp. W 1998 roku został udostępniony opis techniczny tego formatu w dokumencie „*ESRI Shapefile Technical Description*”. Niemal każdy program GIS umożliwia odczytanie tego formatu zapisu. Udostępnienie danych w tej formie umożliwi łączenie i nakładanie ich na inne dane, co podnosi funkcjonalność i przydatność opracowania.

Legenda wykonywanej mapy jest przejęta z Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski w skali 1:500 000. W legendzie Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Podlasia w skali 1:300000 występują jedynie wydzielenia rozpoznane w trakcie opracowywania mapy, tabela 1.

Procedura wykonania cyfrowej przeglądowej mapy geomorfologicznej

Przygotowanie materiałów, wektoryzacja. Początkowo wykorzystano kalki interpretacyjne wykonane metodą wizualnej interpretacji obrazów satelitarnych Landsat TM, ryc. 3. Dane te były przedstawione w cięciu arkuszowym mapy 1:100 000 w układzie „42”. Interpretacje obrazów satelitarnych wspomagano danymi z map topograficznych w skali 1:100000, mapami geologicznymi w skali 1:200 000 i mapą geomorfologiczną w skali 1: 500 000.

Pierwszym etapem przygotowania materiałów było ich skanowanie do formatu TIFF. Następnie zeskanowane kalki poddano procesowi geometryzacji do Państwowego Układu Współrzędnych Geodezyjnych 42. Wykonano to w oparciu o siatkę współrzędnych kilometrowych istniejącą na każdym z arkuszy. Na każdym arkuszu zlokalizowano od 6 do 8 punktów. W związku z tym, iż jest to materiał kartometryczny zastosowano transformację 1-go stopnia. Dzięki temu uzyskano dokładność kilku metrów, która jest wystarczająca dla opracowaniach w tej skali.

Kolejnym etapem była zamiana 32 bitowej rozdzielczości na 1 bitową. Było to konieczne by zastosować automatyczną i półautomatyczną wektoryzację. Podczas zmiany głębi koloru ważne jest ustalenie odpowiedniego progu wartości piksela, od którego wszystkim pikselom o wyższej wartości, przypisana zostanie wartość 1, co w praktyce oznaczało występowanie wektoryzowanej wartości. Wskaźnik ten określany był dla każdego arkusza indywidualnie, gdyż różniły się one od siebie grubością granic i ich jasnością.

Odpowiednia wartość progu jest o tyle ważna, iż gdy będzie on zbyt niski, to linie granic wydzieleni będą zbyt grube. Utrudnia to proces wektoryzacji, ponieważ powsta-

ją linie o bardzo krętym przebiegu, co wymaga poprawek. Gdy próg jest zbyt wysoki powstają przerywane linie, co skutkuje komplikacją przebiegu wektoryzacji automatycznej, gdyż są wówczas wymagane częste poprawki wprowadzane manualnie.

Bardzo ważnym etapem jest wybór odpowiedniej metody wektoryzacji. Zdecydowano się użyć 3 metod: ręcznej, półautomatycznej i automatycznej. Zastosowanie każdej z metod zależało do jakości i charakteru materiału. Najszybszą metodą jest metoda automatyczna, jednak by uzyskać odpowiednie rezultaty, mapa nie może być zbyt skomplikowana, a obraz musi być dobrej jakości. Linie nie mogą być przerywane i muszą mieć jednoznaczny przebieg.

Metoda półautomatyczna polega na podejmowaniu decyzji przez osobę nadzorującą przebieg procesu, którą linię wektoryzować i jednocześnie kontroli jakości pracy i poprawianiu błędów. Najbardziej dokładną metodą jest metoda manualna lecz jej wadą jest praco- i czasochłonność. Polega ona na manualnej lokalizacji punktów załamania linii odwzorowujących przebieg granicy wydzieleni. Odpowiednie zastosowanie tych metod daje najlepszy kompromis między dokładnością a czasem wykonania.

Podczas procesu wektoryzacji napotkano na szereg koniecznych do wyeliminowania błędów w rysunku kalek. Są to przede wszystkim przerywane linie, które uniemożliwiają wektoryzację automatyczną, co przedstawione jest na ryc. 4.

Występują także „kreskowane” jeziora, które również wymagają pracochłonnej, ręcznej wektoryzacji. Przedstawia to ryc. 5.

Weryfikacja kalek interpretacyjnych

Z faktu, iż każda kalka została wykonana przez innego obserwatora, wynika szereg problemów przy ich opracowywaniu.


















Występują dwa rodzaje rozbieżności między arkuszami: brak dopasowania przebiegu granic wydzieleni na granicach arkuszy i różna ich szczegółowość; rozbieżności w rodzaju wydzielonej klasy na granicach arkuszy.







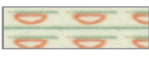



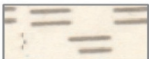
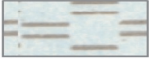
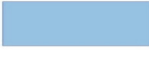

Pierwszy problem powoduje konieczność ponownej interpretacji dostępnych materiałów w celu określenia rzeczywistego przebiegu granicy. Ryc. 6., przedstawia opisywane rozbieżności.

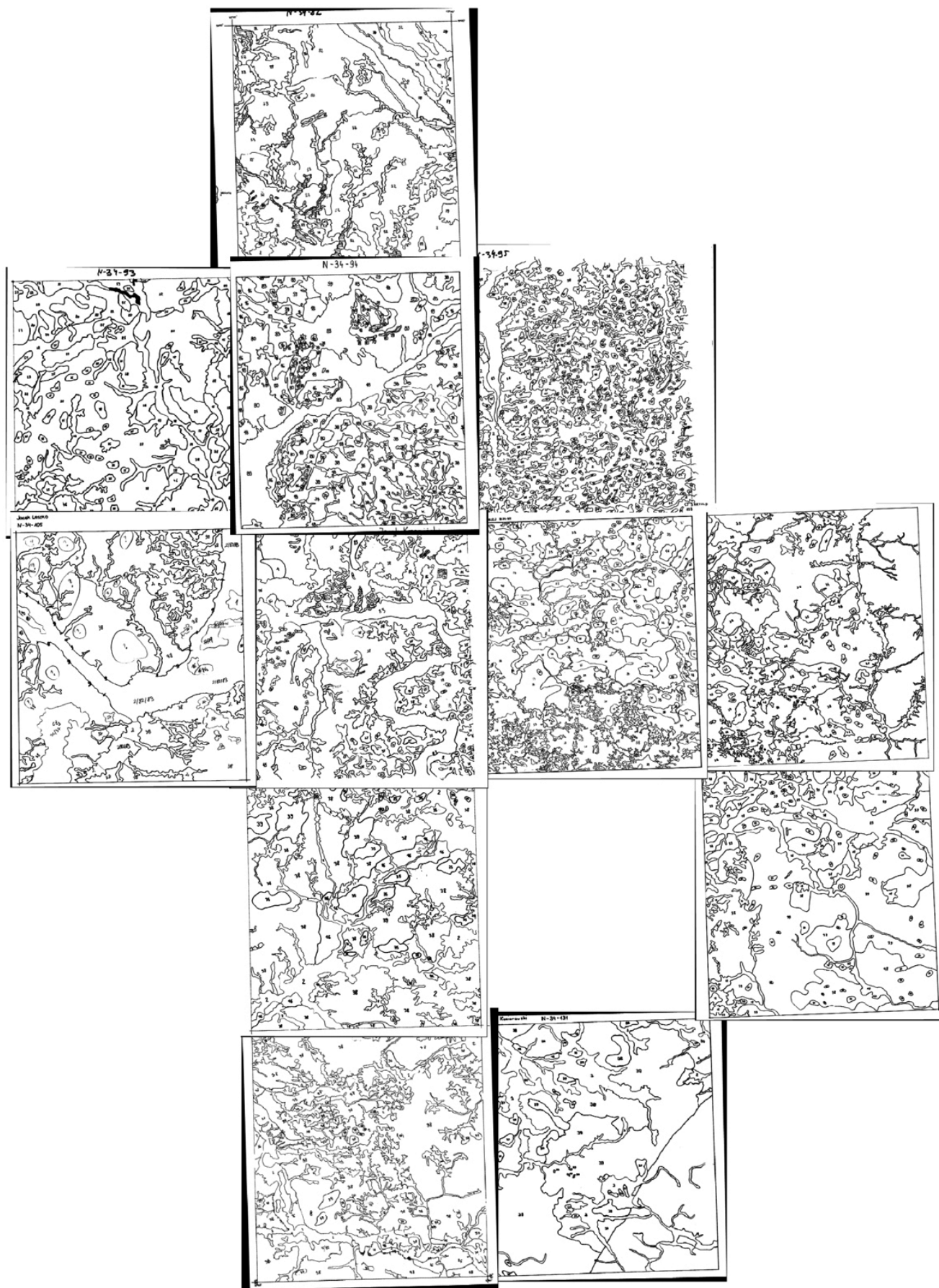
Kolejnym wyeliminowanym błędem była różna szczegółowość kalek nie wynikająca ze zróżnicowania rzeźby. Objawiała się ona zarówno różnicami w szczegółowości przebiegu linii, jak i w wielkości i liczbie poligonów. Pokazuje to ryc. 7.

Problem ten udało się w dużej mierze wyeliminować poprzez automatyczne wygładzenie linii na obszarach zinterpretowanych zbyt szczegółowo. Pomogło także usunięcie najmniejszych poligonów i jednocześnie uszczegółowienie obszarów o zbyt małej dokładności.

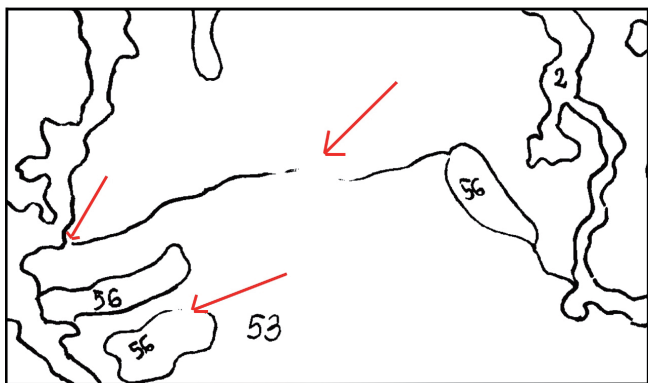
Drugim rodzajem błędów jest rozbieżność w rodzaju wydzielanych obszarów na granicach arkuszy. Jedynym sposobem ich wyeliminowania była weryfikacja wizualna na podstawie materiałów źródłowych. Należy nadmienić, że nie zdarzało się to zbyt często gdyż, granice arkuszy

	<p style="text-align: center;">Formy erozji rzecznej <i>Fluvial erosion landforms</i></p>
	Dna większych dolin płaskodennych z akumulacją plejstoceńską <i>Big plain valley with Pleistocene accumulation</i>
	Dna większych dolin płaskodennych z akumulacją holoceniową <i>Big plain valley with Holocene accumulation</i>
	Duże starorzecza <i>Big old river bed</i>
	Krawędzie erozyjne o wysokości powyżej 20 m. <i>Erosion scarp at height above 20 m</i>
	<p style="text-align: center;">Formy akumulacji rzecznej <i>Fluvial accumulation landforms</i></p>
	Równiny tarasowe plejstoceńskie z okresu zlodowacenia środkowopolskiego <i>Pleistocene terrace plains from Middle Polish (Riss) glaciation period</i>
	Równiny tarasowe plejstoceńskie z okresu zlodowacenia bałtyckiego <i>Pleistocene terrace plains from Baltic (Wurm) glaciation period</i>
	Równiny zalewowe i nadzalewowe z okresu holoceniowego <i>Flood plains and over flood plains from Holocene period</i>
	<p style="text-align: center;">Formy erozji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej <i>Glacial and glacial-fluvial erosion landforms</i></p>
	Rynny subglacjalne z okresu zlodowacenia środkowopolskiego <i>Infraglacial drainage channel from Middle Polish (Riss) glaciation period</i>
	<p style="text-align: center;">Formy akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej - zdenudowane, w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego <i>Glacial and fluvio-glacial accumulation landforms - denuded, in Middle Polish (Riss) glaciation zone</i></p>
	Pagórkowata strefa marginalna <i>Marginall hilly zone</i>
	Wały morenowe i ostańce wzgórz strefy marginalnej moren akumulacyjnych, stadium Odry <i>Moraine ramparts and erosion-denuded hills of the accumulative moraine marginal zone from maximal (Odra) stade Middle Polish Glaciation</i>
	Zdenudowane wysoczyzny morenowe oraz akumulacji rzeczno-lodowcowej <i>Denuded morenic and fluvial-glacial accumulation plateau</i>
	Zdenudowane równiny zandrowe i rozległe tarasy kemowe <i>Denuded outwash plains and wide kame terraces</i>
	Wytopiska pojedyncze i zespoły małych wytopisk <i>Single cave-in lake landforms and set small cave-in lake landforms</i>
	Wytopiska duże, w ich obrębie formy wtórne <i>Single big cave-in lake landforms and secondary landforms</i>
	Pojedyncze małe kemy i tarasy kemowe <i>Single small kames and kame terraces</i>
	Zespoły małych kemów i duże tarasy kemowe <i>Single small sets and big kame terraces</i>
	Pojedyncze kemy i duże stoliwa kemowe <i>Single kames and big tableland kames</i>

	Ozy <i>Esker hillock</i>
	Równiny denudacji peryglacialnej <i>Periglacial denuded plains</i>
	Formy akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej, zdenudowane, w zasięgu zlodowacenia bałtyckiego <i>Glacial and fluvial-glacial accumulation denuded landforms in Baltic glaciation zone</i>
	Wysoczyzna morenowa falista <i>Morenic plateau - undulating</i>
	Wysoczyzna morenowa płaska <i>Morenic plateau - flat</i>
	Wały morenowe strefy marginalnej - wały moren akumulacyjnych <i>Moraine ramparts marginal zone - accumulation moraine ramparts</i>
	Równiny sandrowe <i>Outwash plains</i>
	Formy krasowe - czwartorzędowe <i>Karstic landforms - Quaternary</i>
	Lejki krasowe na kredzie pizacej <i>Karstic funnels on wright chalk</i>
	Formy eoliczne późnoplejstoceńskie i holoceńskie <i>Late Pleistocene and Holocene aeolian landforms</i>
	Utrwalone zwarte zespoły wydmy <i>Stabilized stocked complex dunes</i>
	Pojedyncze wydmy paraboliczne - utrwalone <i>Single parabolic dunes - stabilized</i>
	Pola piasków przewianych <i>Wind-blown sand plains</i>
	Formy organogeniczne - holocen <i>Organogenic landforms - Holocene</i>
	Równiny akumulacji torfowiskowej <i>Peat accumulation plains</i>
	Równiny akumulacji torfowiskowo-jeziornej <i>Lake fen accumulation plains</i>
	Formy limniczne - czwartorzędowe <i>Lacustrine landforms - Quaternary</i>
	Misa jeziorna <i>Basin of lake</i>
	Równiny akumulacji zastoiskowej <i>Plains of marginal lake accumulation</i>



Ryc.3. Zestawienie wykorzystanych kalek interpretacyjnych wykonanych metodą analogową.
Fig. 3. Set of utilized analog interpretation overlays.



Ryc.4. Błędy skanowania kalek interpretacyjnych (brak ciągłości linii) uniemożliwiające automatyczną wektoryzację
Fig. 4. Scanning errors of the analog interpretation overlays, precluding automatic vectoring.

były weryfikowane pod tym względem przez interpretatorów podczas procesu interpretacji.

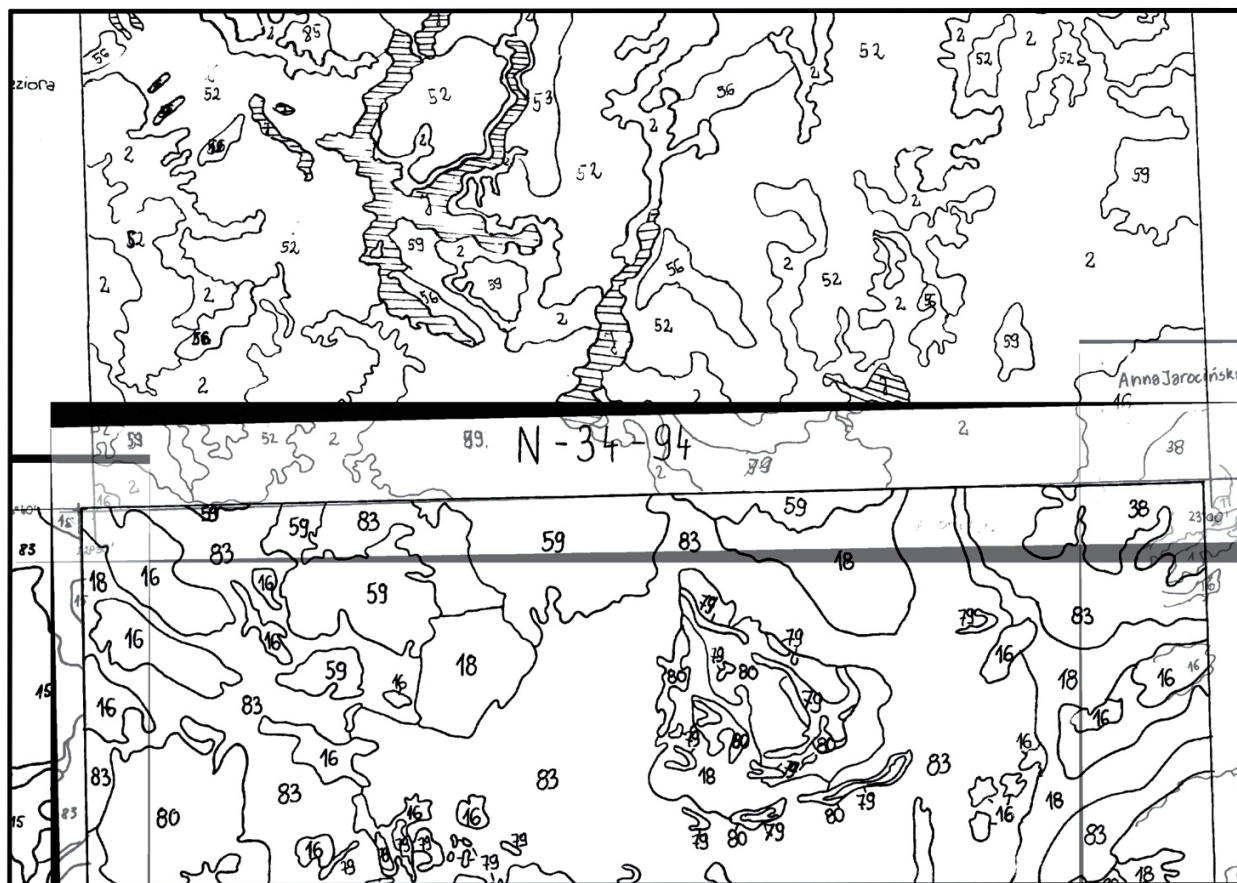
Efektom wektoryzacji kalek i weryfikacji jej wyników była wektorowa warstwa liniowa pokrywająca jedynie około 40% badanego terenu.

Pozostały obszar, który nie został objęty zasięgiem analogowo wykonanych kalek interpretacyjnych, został opracowany poprzez interpretację wizualną na ekranie monitora, ryc. 8. Przy interpretacji użyto takich samych



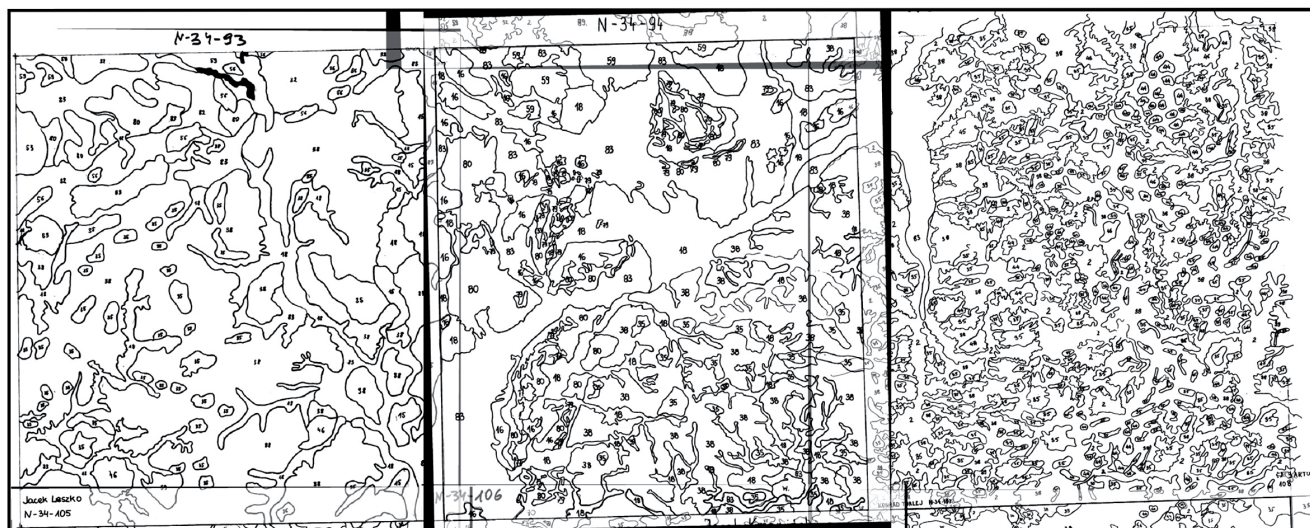
Ryc. 5. Rysunek szrafu na oznaczenie jezior, utrudniający automatyczną wektoryzację.

Fig. 5. Hachure on designating of lakes precluding automatic vectoring.

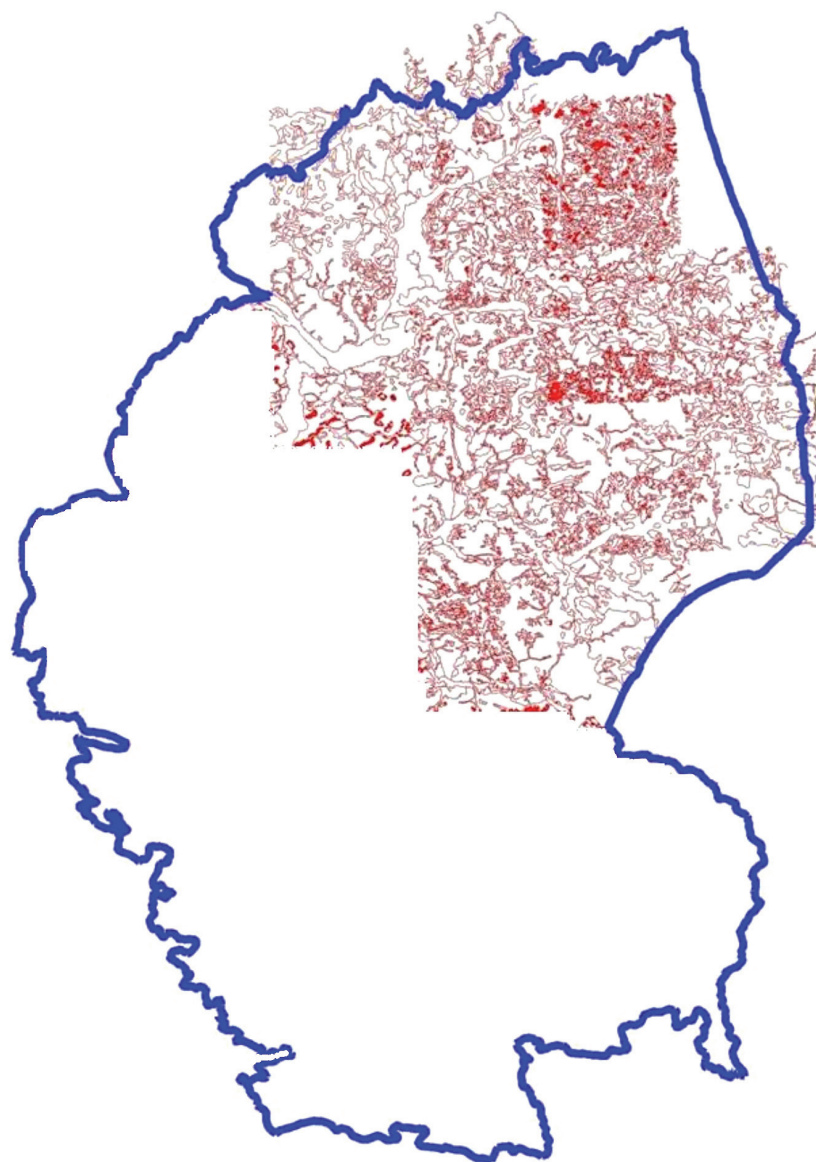


Ryc. 6. Brak dopasowania przebiegu linii na granicach arkuszy kalek interpretacyjnych.

Fig. 6. Weakness matching of the line on border particular analog interpretation overlays.



Ryc. 7. Zmienna szczegółowości kalek interpretacyjnych.
Fig. 7. Diversified minuteness of detail analog interpretation overlays.



Ryc. 8. Efekt wektoryzacji kalek z interpretacją analogową.
Fig. 8. Vectoring effect of the analog interpretation overlays.

materiałów, jak podczas wykonywania kalek interpretacyjnych. Przyjęte zostały takie same zasady interpretacji, jak przy wykonywaniu kalek na zdjęciach. Starano się zachować ten sam stopień generalizacji. Była to zdecydowanie najbardziej pracochłonna część pracy, ponieważ opracowanie obejmowało teren o bardzo dużej powierzchni.

Interpretacja geomorfologii na podstawie zdjęć satelitarnych o stosunkowo niskiej rozdzielczości polega głównie na wychwyceniu różnic w pokryciu terenu różnymi formami rzeźby. Wykorzystano kompozycję RGB trzech kanałów TM: -4, -5, -3. Jest to jedna z najczęściej wykorzystywanych kompozycji w tego typu badaniach. Zapewnia ona wysoki kontrast kolorystyczny między łąkami a polami uprawnymi i lasami. Jednak zmiana form rzeźby nie zawsze towarzyszy zmianie pokrycia terenu. Bardzo pomocne okazały się mapy geologiczne i topograficzne, przede wszystkim przy wyznaczaniu małych form, takich jak wydmy, czy ostańce.

Interpretacja wykonywana była poprzez łączenie informacji pochodzących z kilku materiałów kartograficznych. Wykorzystanie różnych źródeł pozwoliło na dokładne zbadanie geomorfologii tego terenu. Oto kilka przykładów związku treści Mapy Geomorfologicznej 1:500 000 z obrazami Landsat TM i możliwości interpretacji form rzeźby, ryc.9., ryc. 10., ryc. 11.

Najważniejszym etapem po weryfikacji pozyskanych danych było ich zgeneralizowanie. Ponieważ zbiór danych wektorowych liczył sobie kilka tysięcy linii, konieczne było zastosowanie automatycznych metod generalizacji. Dotyczyło to zarówno generalizacji przebiegu linii, jak i usunięcia najmniejszych poligonów. Konieczne okazało się wygładzenie linii przy zastosowaniu funkcji *Smooth Line* pakietu ArcGIS. Wybrano jeden z dwóch algorytmów wygładzania: PAEK, ponieważ daje on możliwość określenia stopnia wygładzenia. Zastosowano 300 metrowe wygładzanie linii. Ryc. 12. przedstawia efekty tej generalizacji.

Wzorem do stworzenia kompozycji wydruku była Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski 1:500 000. System znaków na potrzeby tej mapy jest godnym naśladowania. Zastosowane barwy i desenie współgrają z charakterem przedstawionego zjawiska. Na obszarach o mało zróżnicowanej rzeźbie zastosowane są barwy zielone i jasno-niebieskie sugerujące typy rzeźby. Natomiast na terenach bardziej zróżnicowanych wykorzystano głównie odcienie brązu. Zastosowane desenie zapewniają łatwość łączenia treści z legendą, jak również posiadają intuicyjną formę.

Do podstawowej treści mapy dołączono także warstwy dodatkowe: główne rzeki, warstwice, główne drogi, główne miasta.

Warstwy te mają za zadanie pomóc w lokalizacji form na mapie, w terenie, a także ułatwić interpretację rzeźby tego obszaru.

Warstwice zostały wygenerowane na podstawie danych SRTM o rozdzielczości terenowej 1 km, pochodzących ze skaningu satelitarnego, które następnie zgeneralizowano do skali 1:300 000.

Końcowy efekt opracowania w postaci Mapy Geomorfologicznej Podlasia, w skali 1:300 000 przedstawia ryc. 13.,

wraz z legendą – tabela 1. Mapa ta w postaci cyfrowej jest dołączona na płycie CD do niniejszego tomu.

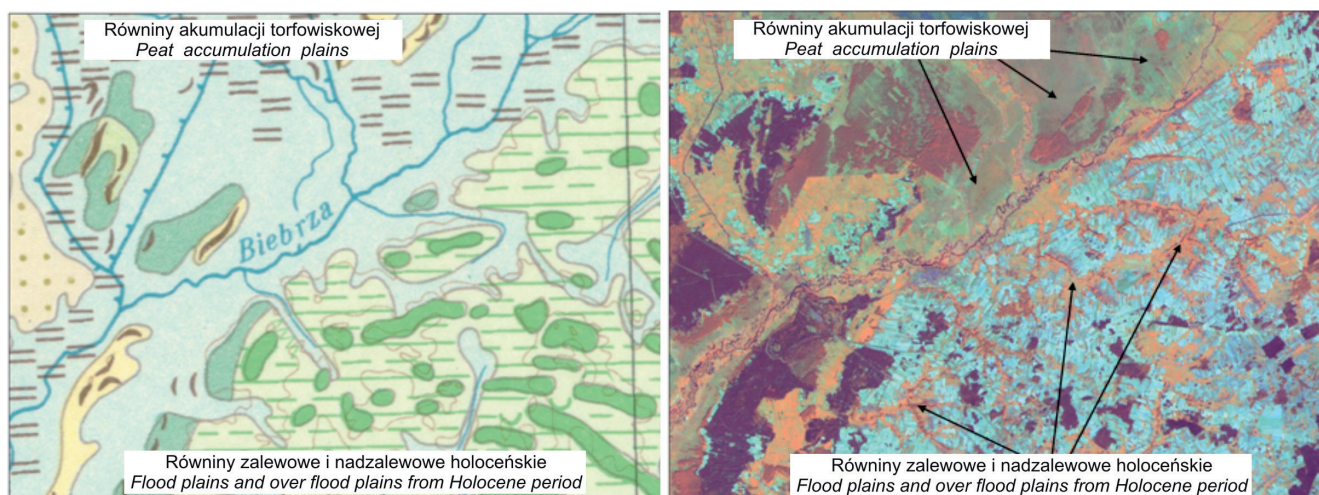
Charakterystyka uzyskanych wyników

Analizując przeglądową mapę geomorfologiczną w skali 1:300 000, zwraca uwagę fakt, że odzwierciedla ona regionalne zróżnicowanie rzeźby odpowiadające zróżnicowaniu tego obszaru na regiony geograficzne według J. R. Ołędzkiego (2007): PODLASIE PÓŁNOCNE (6.1), PODLASIE ŚRODKOWE (6.2), PODLASIE POŁUDNIOWE (6.3), PUSZCZE PODLASKIE (6.4). Można uznać, że wyróżnione regiony geograficzne stanowią jednocześnie mapę typów rzeźby Podlasia, ryc. 14.

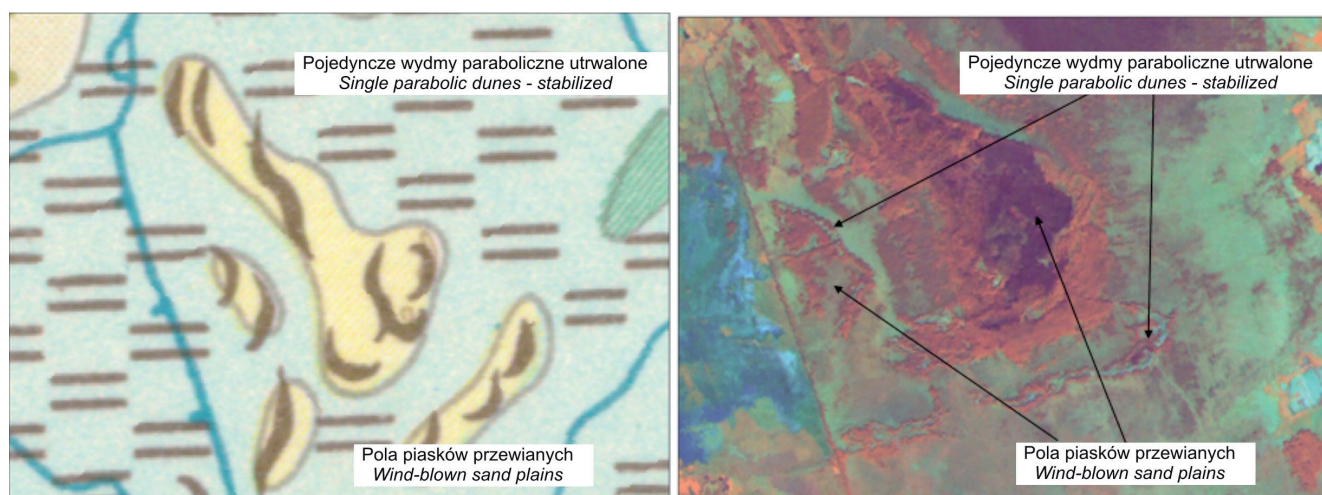
Północna część obszaru czyli mezoregion 6.3. to przede wszystkim formy akumulacji lodowcowej i rzecznołodowcowej, zdenudowane, w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego. Są to głównie zdenudowane wysoczyzny morenowe oraz akumulacji rzecznołodowcowej. Wysoczyzny te porożcinane są formami erozji rzecznej w postaci dolin płaskodennych z akumulacją holoceniową, które tworzą zwartą sieć form erozyjnych. Obszar ten wyróżnia się także szerokim rozprzestrzenieniem form organicznych – holoceniowych, czyli złożonych równin akumulacji torfowiskowo-jeziornej, torfowiskowo-rzecznej oraz równin zalewowych i nadzalewowych holoceniowych. Formy te występują głównie w dolinie Biebrzy. Cechą charakterystyczną jest także występowanie licznych form eolicznych późnoglacialnych i holoceniowych. Występują tam liczne wydmy paraboliczne i pola piasków przewianych. Na prawym brzegu Narwi wykształciły się formy akumulacji rzecznej – równiny terasów akumulacyjnych i erozyjno-denudacyjnych. Są to równiny tarasowe, plejstoceniowe z okresu zlodowacenia bałtyckiego. Punktowo występują także zdenudowane formy akumulacji lodowcowej i rzecznołodowcowej – w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego, w postaci wałów morenowych i ostańców wzgórz strefy marginalnej moren akumulacyjnych (stadium Odry).

Znacznie mniej zróżnicowany jest region Puszczy Podlaskich (6.4). Występują tu przede wszystkim zdenudowane formy akumulacji lodowcowej i rzecznołodowcowej, w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego, czyli zdenudowane równiny i wysoczyzny morenowe oraz akumulacji rzecznołodowcowej. Cechą odróżniającą ten region od poprzedniego jest znaczna przewaga równin nad wysoczyznami, a także mniejsza liczba form erozji rzecznej, w postaci den większych dolin płaskodennych z akumulacją holoceniową.

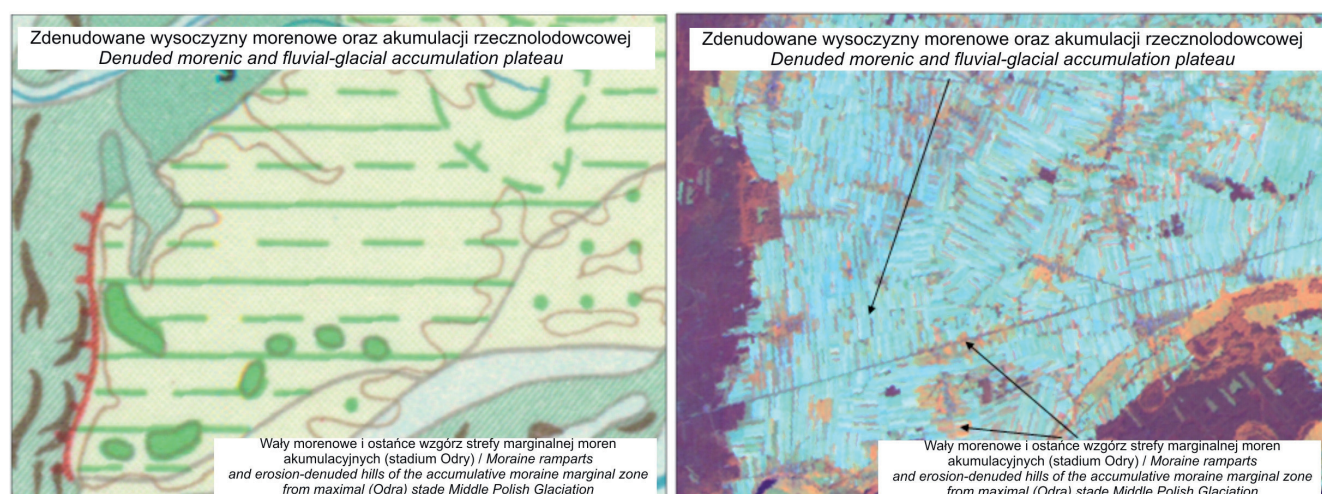
Rozległym obszarem położonym na południe od dwóch poprzednich, jest region Podlasia Środkowego (6.2). Granica między Podlasiem Północnym i Puszciami Podlaskimi przebiega na linii północnej granicy doliny Bugu. Rzeka ta ciągnie się wzdłuż całej północnej i wschodniej granicy regionu. Obszar ten ukształtowany jest głównie przez zdenudowane formy akumulacji lodowcowej i rzecznołodowcowej, w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego. Są to zdenudowane wysoczyzny morenowe oraz akumulacji rzecznołodowcowej. Rozcięte są one dolinami płaskodennymi z akumulacją holoceniową. Występują tu także wały morenowe i ostańców wzgórz strefy marginalnej moren akumulacyjnych



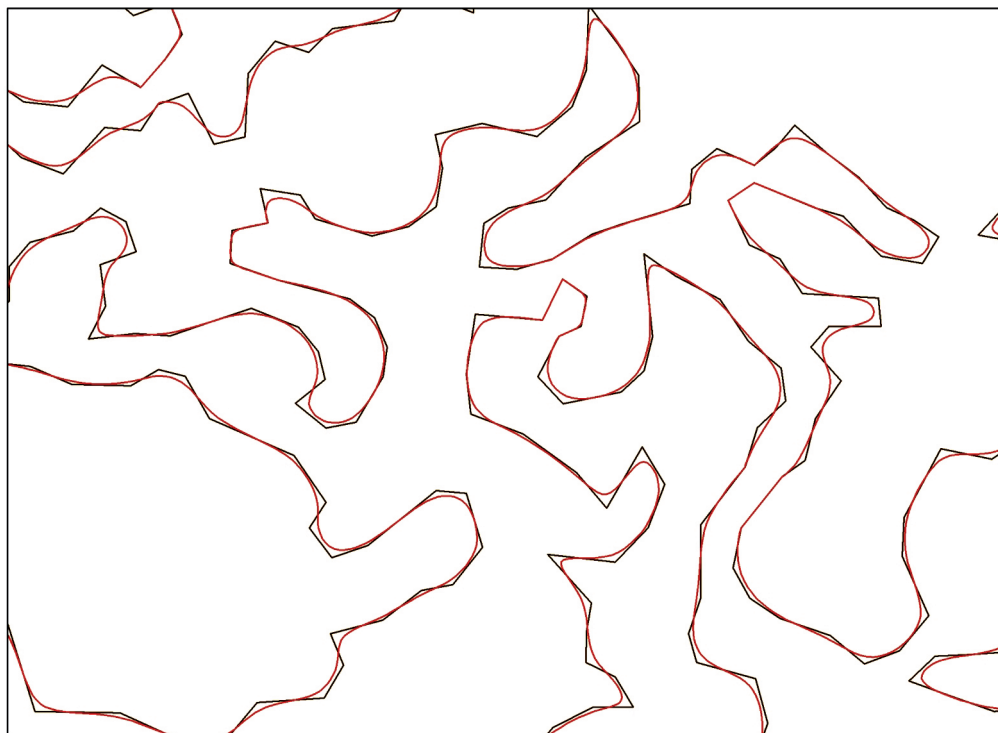
Ryc. 9. Dolina Biebrzy, na mapie geomorfologicznej i obrazie Landsat TM.
 Fig. 9. Biebrza valley on geomorphological map and Landsat TM image.



Ryc. 10. Wydmy w Dolinie Biebrzy, na mapie geomorfologicznej i obrazie Landsat TM.
 Fig. 10. Dunes in Biebrza valley on geomorphological map and Landsat TM image.



Ryc.11. Wysoczyzny i waly morenowe na mapie geomorfologicznej i obrazie Landsat TM.
 Fig.11. Plateau and moraine ramparts on geomorphological map and Landsat TM image.



Ryc. 12. Efekt wygładzenia linii metodą PAEK.

Fig. 12. Smoothing effect of line by method PEAK.

nych (stadium Odry). Charakterystyczną cechą tego regionu jest występowanie form denudacyjnych powstałych z przekształcenia form akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej, w postaci równin denudacji peryglacialnej. Zlokalizowane są tu także bardzo licznie, w dolinie Bugu, równiny tarasów plejstocénskich z okresu zlodowacenia bałtyckiego. Zachodnią granicą tego regionu jest wschodnia krawędź doliny Wisły. Wzdłuż niej występują formy limniczne czwartorzędowe – równiny akumulacji zastoiskowej.

Obszarem najbardziej odróżniającym się od poprzednich jest region Podlasia Południowego. Na obszarze tym ujawniają się formy związane z regionem położonym na południe od Podlasia czyli Ziemią Lubelską. Występują tu więc formy krasowe takie jak lejki krasowe. Bardzo często spotkać można formy eoliczne późnoglacialne i holocénskie. Wykształciły się tam liczne wydmy paraboliczne oraz pola piasków przewianych co jest cechą charakterystyczną tego obszaru. Wschodnia część tego regionu wyróżnia się gęstym występowaniem dolin rzecznych z akumulacją holocénką, w których ulokowane są równiny tarasów plejstocénskich z okresu zlodowacenia bałtyckiego. Tak jak w poprzednich przypadkach, większość obszaru zajmują równiny lub wysoczyzny morenowe rozcinane dolinami rzeczными.

Podsumowując ogólną charakterystykę geomorfologii Podlasia w oparciu o Przełądową Mapę Geomorfologiczną Podlasia w skali 1: 300 000 należy podkreślić, że obszar ten jest względnie zróżnicowany pod względem geomorfologicznym. Wynika to z jego wielkości. Zajmuje on powierzchnię 35483 km². Jest to duży obszar o zmieniających się warunkach geologicznych i hydrologicznych. Na to zróżnicowanie największy wpływ miały zlodowacenia, które w różny sposób i w różnym okresie modelowały rzeźbę Pod-

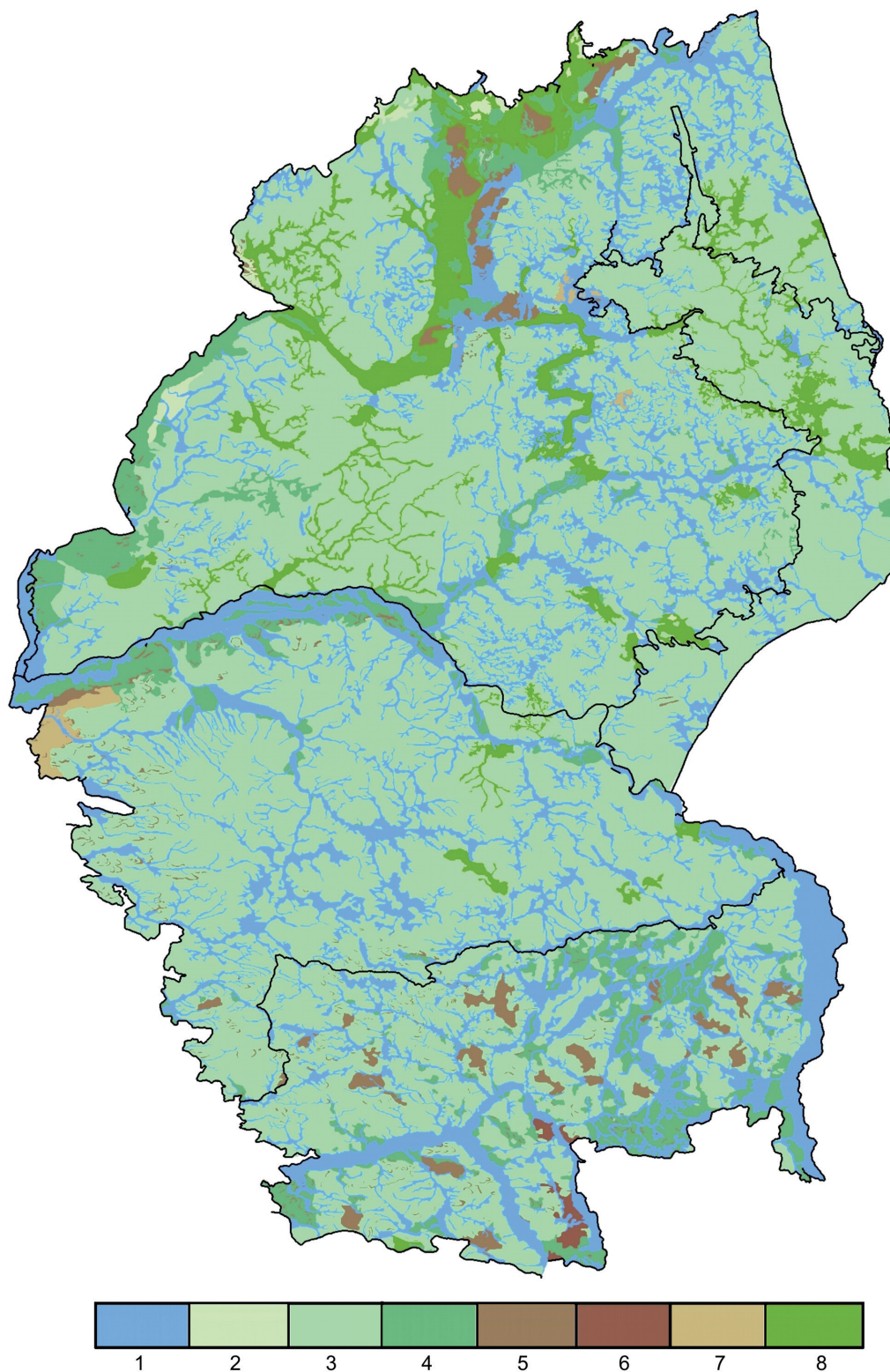
lasia. Obszar ten, w ponad 45% swojej powierzchni, zajmują zdenudowane wysoczyzny morenowe oraz akumulacji rzeczno-lodowcowej. Stanowią zdenudowane formy akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej – w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego. Są to z reguły bardzo duże płaskie powierzchnie rozcinane formami erozyjnymi, takie jak dna większych dolin płaskodennych z akumulacją holocénką, które zajmują 20 % powierzchni tego obszaru.

Na badanym terenie występują także zdenudowane równiny sandrowe i rozległe tarasy kemowe pokrywające 10% powierzchni terenu. Doliny rzeczne często wypełnione są formami akumulacji rzecznej w postaci równin tarasów plejstocénskich z okresu zlodowacenia bałtyckiego, które stanowią 5% całkowitej powierzchni. Na wysoczyznach i równinach morenowych wyznaczone zostały formy akumulacji lodowcowej: wały morenowe i ostańce wzgórz strefy marginalnej moren akumulacyjnych (stadium Odry), zajmujące 4% powierzchni.

Oceniając mapę wykonaną metodą interpretacji wizualnej zobrażeń satelitarnych należy zaznaczyć, iż jest to pośrednia metoda interpretacji rzeźby. W metodzie tej wiele zależy od obserwatora, w tym przypadku było ich kilkunastu, a ich praca została zweryfikowana przez kilka osób. Zastosowanie dodatkowo opracowań kartograficznych, jako ważnych materiałów pomocniczych, pozwoliło na cenniejszą interpretację geomorfologii tego obszaru. Należy nadmienić, iż mapa ta jest nowatorskim opracowaniem tego obszaru w taki sposób i w takiej skali. Skala opracowania pozwala na przedstawienie nawet małych form w postaci wydmy i wałów morenowych, a zastosowanie większej skali odebrało by możliwość opracowania całego terenu badań.



Ryc. 13. Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Podlasia w skali 1:300000.
Fig. 13. General Geomorphological map of Podlasie, in the scale 1:300000.



Ryc.14. Mapa typów rzeźby Podlasia. 1 – Formy erozji rzecznej; 2 – Formy akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej – zdenudowane, w zasięgu zlodowacenia bałtyckiego; 3 – Formy akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej – zdenudowane, w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego; 4 – Formy akumulacji rzecznej – równiny tarasów akumulacyjnych i erozyjno-denu-dacyjnych; 5 – Formy eoliczne późno plejstoceny i holoceny; 6 – Formy krasowe – czwartorzęd ; 7 – Formy pochodzenia limnicznego, czwartorzęd; 8 – Formy organogeniczne, holocen.

Fig. 14. Types of Landforms of the Podlasie: 1 – Fluvial erosion landforms; 2 – Glacial and fluvial-glacial accumulation denuded landforms in Baltic glaciation zone; 3 – Glacial and fluvioglacial accumulation landforms – denuded, in Middle Polish (Riss) glaciation zone; 4 – Fluvial accumulation landforms – plains of erosion-denudation and accumulation terraces; 5 – Late Pleistocene and Holocene aeolian landforms; 6 – Karstic landforms – Quaternary; 7 – Lacustrine landforms – Quaternary; 8 – Organogenic landforms – Holocene.

Niepodważalnym atutem opracowania jest, jego postać cyfrowa – baza danych przestrzennych. Udostępniona ona jest w popularnym formacie możliwym do odczytania w każdym oprogramowaniu typu GIS. Daje to szerokie możliwości wykorzystania tego opracowania przy pracach dotyczących tego terenu.

Literatura

- Bogacki M., Musiał A., 1975, Z zagadnień deglacji Wysoczyzny Kolneńskiej. *Przegląd Geograficzny*, 42:1.
- Borzuchowski J., 2004, *Cyfrowa Mapa Geomorfologiczna Polski*. Praca magisterska wykonana pod kierunkiem prof. J. R. Olędzkiego, Międzywydziałowe Studia Ochrony Środowiska UW, Warszawa.
- Halicki B., 1950, Z zagadnień stratygrafii plejstocenu na Niziu Europejskim. *Acta Geologica Polonica*, 1. <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf> – stan 29.05.2008.
- Kondracki J., 1972, *Polska Północno-Wschodnia*. PWN, Warszawa.
- Kostrowicki J., 1968, *Atlas województwa białostockiego*. IG PAN, Warszawa.
- Krupski J. (red.), Żyszkowska W. (red.), 1993, *VII Szkoła Kartograficzna: Baza danych w kartograficznym systemie informacyjnym*. Zakład Kartografii Instytutu Geografii Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. W., Rhind D. W. (red.), 1999, *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. New York, NJ: Wiley.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Hind D.W., 2006, *GIS Teoria i praktyka*. Tłum. pod redakcją: A. Magnuszewskego, PWN, Warszawa.
- Musiał A., 1976, Formy szczelinowe Wisny. *Przegląd Geograficzny*, 48:2.
- Musiał A., 1983a, *Rozwój rzeźby glacialnej Wysoczyzny Kolneńskiej*. PWN, Warszawa.
- Musiał A., 1983b, *Przebieg deglacji doliny Śliny*. *Przegląd Geograficzny*, 55:1.
- Musiał A., 1984, *Geneza strefy najwyższych wzniesień Wysoczyzny Kolneńskiej*. Prace i Studia Geograficzne, t. 5, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Musiał A., 1992, *Studium rzeźby glacialnej północnego Podlasia*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Olędzki J.R., 2007, Regiony Geograficzne Polski. *Teledetekcja Środowiska*, T. 38, Klub Teledetekcji Środowiska PTG, Warszawa.
- Pietkiewicz S., 1950, *Przeglądowa mapa geologiczna Polski 1:300000, arkusz Białystok*. Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski 1:500 000*, 1981, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN.
- Siemiradzki J., 1909, *Geologia Ziemi Polskich*. T. 2, nr 1, Lwów.
- Widacki W., 1997, *Wprowadzenie do systemów informacji geograficznej*. Instytut Geografii UJ, Kraków.
- Wołk-Musiał E., 1983, *Granica zlodowacenia bałtyckiego na obszarze Wysoczyzny Kolneńskiej w świetle analizy zdjęć lotniczych*. Warszawa.
- Wołk-Musiał E., 1985, *Czytelność parametrów morfometrycznych rzeźby młodoglacjalnej na zdjęciach lotniczych*. Fotointerpretacja w geografii, T. 18, Prace naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, Nr 735, Uniwersytet Śląski, PTG Komisja Fotointerpretacji, Katowice.
- Zaborski B., 1927, *Studium nad morfologią dyluwium Podlasia i terenów sąsiednich*. *Przegląd Geograficzny*, 7.
- Zagajewski B., Wołk-Musiał E., 2000, *Analiza geomorfologiczna terenu z zastosowaniem Systemów Informacji Geograficznej*. *Fotointerpretacja w geografii*, T. 31, Klub Teledetekcji Środowiska PTG, Warszawa.
- Zwierz S., 1948, *Przeglądowa mapa geologiczna Polski 1:300 000, arkusz Olsztyn*. Instytut Geologiczny, Warszawa.



Mgr Jacek Krzemiński jest absolwentem Uniwersytetu Warszawskiego. Studia magisterskie ukończył na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych w roku 2008, Na kierunku geografia, specjalność – geoinformatyka, w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji. E-mail: krzem21@interia.pl