

## Cyfrowa mapa geomorfologiczna Mazowsza

### *Digital geomorphological map of Mazovia*

Milena NAPIÓRKOWSKA

**Słowa kluczowe:** geomorfologia, forma rzeźby, mapa cyfrowa, wektoryzacja

**Key words:** *geomorphology, land form, digital map, digitalization*

**Otrzymano:** 11 sierpnia 2010; **Zaakceptowano:** 10 marca 2011

**Received:** 11 August 2010; **Accepted:** 10 March 2011

The goal of this paper is to present a scope and a research method of preparing the digital geomorphological map of Mazovia of the scale 1:300000. The map was prepared in the ArcGIS environment on the base of remote sensing (RGB 453 composition of the Landsat TM) and cartographic data (the General Geomorphological Map of Poland of the scale 1:500000,

the Geological Map of Poland of the scale 1:200000, topographic maps and the DEM from the SRTM) interpretation.

The maps were scanned, geocorrected and digitalised. Built layers were used for creating geomorphological units in the scale of 1:300000. The final stage was editing and creating the hard copy and the digital version of the Mazovia geomorphological map.

### Wstęp.

Mapa cyfrowa jest to zbiór współrzędnych określających położenie obiektów w przestrzeni wraz z informacjami o sposobie prezentacji tych danych, przechowuje umiejscowienie i kształt geometryczny obiektów geograficznych wraz z informacjami opisującymi te obiekty (Myrda, 1991). Wykorzystanie Systemów Informacji Geograficznej (GIS) w opracowaniu map tematycznych staje się coraz popularniejsze, co jest efektem licznych zalet map cyfrowych.

Mapa cyfrowa i analogowa pod względem swoich cech i możliwości znacznie się od siebie różnią. Mapa analogowa drukowana jest w postaci arkuszy, więc korzystanie z niej jest zdecydowanie mniej wygodne niż z mapy cyfrowej, która umożliwia płynne przeglądanie zawartości całej bazy danych, również fragmentów, które na mapie analogowej mieszczą na styku arkuszy. Mapa analogowa przedstawia statyczny obraz środowiska przyrodniczego, podczas gdy mapa cyfrowa daje możliwość analizowania zmian w połączeniu z danymi zawartymi w bazie danych GIS. Mapa analogowa zawiera skończoną liczbę warstw tematycznych, w przeciwieństwie do mapy cyfrowej, gdzie dołączać można nowe zbiory danych i selektywnie wyświetlać informację przestrzenną. Zaletą mapy cyfrowej jest również to, że

umożliwione jest tworzenie własnych map przez użytkownika systemu, podczas gdy mapa analogowa powstaje w wyniku pracy redakcyjnej wydawcy. Ponadto mapa analogowa jest jedynie rzutem na powierzchnię płaską, natomiast mapa numeryczna pozwala obrazować dane przestrzenne w formie trójwymiarowej (Longley i in., 2006). Opisane różnice podkreślają wielość zalet map komputerowych i jednocześnie przemawiają nad ich wyższością nad mapami analogowymi.

Mapa geomorfologiczna jest tematyczną mapą przyrodniczą, która obrazuje rozmieszczenie form rzeźby i ich genezę. Istnieje kilka map w wersji analogowej, prezentujących geomorfologię Polski. Są to:

- *Szczegółowa mapa geomorfologiczna Polski 1:50 000*, składająca się z 30 arkuszy wydanych w latach 1958–1969 i 4 arkuszy z lat 1988–1994; porządkuje formy i procesy geomorfologiczne w skali globalnej, przedstawia wiek za pomocą barw,
- *Przeglądowa mapa geomorfologiczna Polski 1:500 000 z 1980 roku*, prezentuje podział dużych form tektonicznych ze względu na proces górotwórczy, cechy morfograficzne i wiek,
- *Mapa typów rzeźby terenu Polski 1:1 000 000 z klasyfikacją rzeźby opartą na kryteriach morfogenetycznych*, stanowi załącznik do *Atlasu form i typów rzeźby terenu Polski* (1960),

- *Pochodzenie i wiek rzeźby 1:1 500 000 w Atlasie Rzezyzospolitej Polski* (arkusz 23.2) wydana w latach 1993–1997 (Pasławski i in., 2006).

## Cel pracy

Celem projektu jest wykonanie cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza na podstawie materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych. Wykorzystując metodę kompleksowej interpretacji materiałów powstanie mapa form rzeźby w nowej skali 1:300 000. Obszarem opracowania jest województwo mazowieckie. Interpretacja materiałów przeprowadzona zostanie dla fragmentu oznaczonego na rycinie 1 kolorem żółtym, pozostały fragment województwa mazowieckiego zostanie „doklejony” z warstwy mapy geomorfologicznej Podlasia 1:300 000, opracowanej w ramach pracy magisterskiej przez Jacka Krzemińskiego (kolor zielony–rycina 1).



Ryc. 1. Obszar opracowania (żółty). Na zielono zaznaczono fragment wykorzystany z pracy Jacka Krzemińskiego

Fig. 1. Study area (yellow). Jacek Krzemiński part is marked green color.

Mapę geomorfologiczną Mazowsza przygotowano z zastosowaniem narzędzi GIS (*Geographic Information System*) na podstawie kompleksowej interpretacji materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych. Materiałami wykorzystanymi do opracowania mapy geomorfologicznej Mazowsza są: zdjęcia z satelity Landsat 5 TM w kompozycji barwnej RGB 453, *Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski* w skali 1:500 000, *Mapa Geologiczna Polski* w skali 1:200 000, mapy topograficzne oraz Numeryczny Model Terenu z misji SRTM. Opracowywana mapa została wykonana według metodyki zastosowanej przez Jacka Krzemińskiego przy tworze-

niu cyfrowej mapy geomorfologicznej Podlasia. Dzięki takiemu postępowaniu, możliwe będzie wykorzystanie gotowego fragmentu mapy dla wschodniej części terenu Mazowsza, a także–w przyszłości, zaprojektowanie jednorodnej mapy geomorfologicznej w skali 1:300 000 dla całej Polski.

## Przegląd literatury

Opracowywanie cyfrowych map geomorfologicznych dla obszaru Polski, szczególnie tych małoskalowych, sprowadza się zwykle do przekształcania map analogowych na postać numeryczną poprzez ręczną wektoryzację wyróżnień form rzeźby. Przy tworzeniu map geomorfologicznych w skalach większych do procesu tego dołącza się inne materiały, w tym teledetekcyjne, oraz przeprowadza się geomorfologiczne badania terenowe.

Publikacje na temat badań i studiów dotyczących opracowywania cyfrowych map geomorfologicznych znaleźć można w czasopiśmie specjalistycznym *Teledetekcja środowiska*, wydawanych w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. W czasopiśmie można znaleźć wiele artykułów dotyczących projektowania map geomorfologicznych na podstawie badań terenowych i zdjęć lotniczych. Problematyką tworzenia cyfrowych map geomorfologicznych w KGiT WGiSR zajmuje się głównie dr Elżbieta Wołk-Musiał. W tomie 22 *Teledetekcji środowiska* znalazła się publikacja, której celem było opracowanie fotointerpretacyjnej numerycznej mapy geomorfologicznej 1:50 000 dla arkusza Choroszcz (Wołk-Musiał, 1992). Analizę geomorfologiczną terenu przeprowadzono na podstawie analizy panchromatycznych zdjęć lotniczych w skali 1:25 000 z 1987 roku i obrazów satelitarnych, map tematycznych, topograficznych w skali 1:25 000, literatury naukowej i przeglądowych badań terenowych. Wykonano cztery mapy w skali 1:2500: Szorce, Długoleka, Choroszcz, Tykocin składające się na arkusz Choroszcz w skali 1:50 000. Na podstawie danych opracowano komputerową mapę w systemie SINUS.

W 31 tomie *Teledetekcji środowiska* opublikowany został artykuł dotyczący badania geomorfologicznego terenu z zastosowaniem systemów informacji geograficznej (Wołk-Musiał, Zagajewski, 2000). W artykule tym próbowano włączyć GIS jako metodę badań rzeźby terenu, aby sprawdzić na ile jest on przydatny w rozpoznaniu genezy form lub typów rzeźby. Problem przeanalizowane dla arkusza Choroszcz w skali 1:50 000. Na podstawie stworzonej wcześniej mapy zastosowano funkcje analizy przestrzennej systemu SIG do ustalenia zależności między morfometrią, litologią a typami rzeźby. Efektem było szczegółowe rozpoznanie geomorfologiczne obszaru badań.

Tematyka tworzenia map geomorfologicznych w systemie GIS pojawiła się również na konferencjach EAR-Sel. Na 19 Sympozjum zaprezentowano artykuł dotyczący litologicznego i geomorfologicznego kartowanie

w dużej skali za pomocą GIS, teledetekcji i badań terenowych (Wolk-Musiał, Zagajewski, 2000). Natomiast na 21 Sympozjum zaprezentowano metodologię tworzenia geomorfologicznej mapy dla arkusza Tykocin (Lewiński, Wolk-Musiał, Zagajewski, 2002).

Drugim ośrodkiem akademickim, który zajmuje się tworzeniem cyfrowego zapisu map geomorfologicznych jest Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. W Instytucie Geoekologii i Geoinformacji sporządzono *Cyfrową mapę geomorfologii Pojezierza Myśliborskiego i Niziny Szczecińskiej* oraz numeryczną wersję Mapy Geomorfologicznej Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej.

*Geomorfologia Pojezierza Myśliborskiego i Niziny Szczecińskiej* autorstwa profesora Andrzeja Karczewskiego została opracowana w 1968 i była wynikiem badań terenowych prowadzonych w latach 1958 – 1965 na podkładzie map topograficznych w skali 1:25 000 w obrębie 15 map topograficznych w skali 1:100 000. W 1998 roku została wydana w formie białej – czarnej w skali 1:125 000. W 2007 roku w Instytucie Geoekologii i Geoinformacji Uniwersytetu A. Mickiewicza w Poznaniu powstał zespół pracowników i studentów kierunku geoinformacji, który przy zastosowaniu technik komputerowych (skanowanie, georeferencja i digitalizacja oryginału) opracował numeryczną wersję opisywanej mapy. Numeryczną mapę geomorfologiczną Pojezierza Myśliborskiego i Niziny Szczecińskiej w skali 1:200 000 przygotowali A. Karczewski, A. Dmowska, A. Stach, J. Gudowicz, J. Zwoliński oraz studenci geoinformacji WNGiG UAM – I. Beszterda, T. Łukaszczyk, R. Smyk i A. Ulfik.

Na początku roku 2006, w związku z mijającą 100 rocznicą urodzin prof. Bogumiła Krygowskiego, podjęto w Instytucie Geoekologii i Geoinformacji UAM inicjatywę przygotowania numerycznej wersji Mapy Geomorfologicznej Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej. Mapa ta, która powstała w dwóch etapach – w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego wieku, była jednym z ważniejszych osiągnięć naukowych profesora Krygowskiego. Mapa prezentuje stan wiedzy o geomorfologii Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej sprzed ponad 40 lat, w pewnej części z pewnością już wymagający istotnej aktualizacji. W skład zespołu wchodziło 17 osób. Mapa Geomorfologiczna Niziny Wielkopolsko-Kujawskiej pod redakcją B. Krygowskiego w skali 1 : 300 000 została przygotowana w postaci papierowej oraz elektronicznej.

W Instytucie Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego WNGiG UAM opracowano również cyfrową mapę geomorfologiczną. Projekt numerycznej mapy geomorfologicznej stworzono w oparciu o mapę geomorfologiczną Wysoczyzny Torzymskiej z 1964 r. Stworzono system informacji geograficznej w postaci tematycznych warstw wektorowych, o otwartej strukturze.

Oprócz prac publikowanych KGiT WGiSR UW w ostatnich latach powstaje szereg prac magisterskich dotyczących map geomorfologicznych w wersji numerycznej. Mapy te opracowywane są w różnych skalach i na podstawie urozmaiconej metodyki.

W roku 2004 obroniona została praca magisterska zatytułowana *Cyfrowa mapa geomorfologiczna Polski*, której opiekunem był profesor Jan R. Ołędzki. Metodyka pracy opierała się na przełożeniu analogowej wersji Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski w skali 1:500 000 na formę numeryczną. Autor pracy – Jaromir Borzechowski, zbudował bazę danych przestrzennych o tematyce geomorfologicznej. Etapami tworzenia mapy było: skanowanie materiałów analogowych, nadanie im współrzędnych geograficznych, wektoryzacja warstw tematycznych (struktury powierzchniowe, liniowe, punktowe), zbudowanie bazy danych opisowych i topologicznych. Zaprojektowana mapa wektorowa w skali 1:500 000 umożliwia korzystanie z wybranej części lub całości informacji tam zawartych, dzięki możliwości zadawania pytań do bazy danych.

W roku 2007 w KGiT WGiSR UW powstały aż trzy prace magisterskie dotyczące cyfrowych map geomorfologicznych. W przeciwieństwie do pracy J. Borzechowskiego prace te obejmowały opracowanie map geomorfologicznych w skali większej (1:50 000). Jakub Binduga opracował instrukcję postępowania przy tworzeniu szczegółowej mapy geomorfologicznej w pracy zatytułowanej *Instrukcja szczegółowej mapy geomorfologicznej w skali 1:50 000*. Pierwsza część pracy charakteryzuje dostępne instrukcje tworzenia innych map tematycznych w skali 1:50 000, natomiast druga część to swoista instrukcja opracowana w wyniku wcześniejszych analiz. W pracy opisane jest wykonanie mapy na podstawie analiz przeprowadzonych na materiałach teledetekcyjnych oraz kartograficznych, kartowania terenowego i opracowanie jej z użyciem oprogramowania GIS.

Grzegorz Lewczuk i Adam Ciećwierz opracowali w 2007 roku cyfrową mapę geomorfologiczną dla arkusza Knyszyn (N-34-106-B). Powstały dwie oddzielne prace, gdzie Grzegorz Lewczuk opracował mapę dla zachodniej części wspomnianego arkusza (*Wielkoskalowa mapa geomorfologiczna zachodniej części arkusza Knyszyn (N-34-106-B). Studium metodyczne cyfrowej prezentacji*), a Adam Ciećwierz na części wschodniej (*Wielkoskalowa mapa geomorfologiczna 1:50 000 wschodniej części arkusza Knyszyn (N-34-106-B). Studium metodyczne cyfrowej prezentacji*). Prace te miały na celu opracowanie szczegółowego rozpoznania geomorfologicznego z wykorzystaniem GIS. Metodyka opracowania map polegała na zgromadzeniu materiałów kartograficznych i teledetekcyjnych dla analizowanego terenu, które następnie opracowano w postaci tematycznych warstw numerycznych w przyjętym układzie współrzędnych. Końcowym etapem pracy jest prezentacja mapy geomorfologicznej wzbogaconej o mozaikę zdjęć lotniczych oraz cieniowany model rzeźby terenu.

Opracowaniem cyfrowej mapy geomorfologicznej w jeszcze większej skali zajęła się Martyna Kanigowska w pracy magisterskiej *Mapa geomorfologiczna Narwiańskiego Parku Narodowego wraz z otuliną w skali 1:25000* (2009). Zaprojektowana mapa powstała z wykorzystaniem technik teledetekcyjnych i Systemów In-



formacji Geograficznej. Zastosowano nowatorskie podejście interpretując barwne zdjęcia spektrostrefowe do klasyfikacji genetycznej form i wyznaczenia ich granic. Prace badawcze polegały na analizie NMT i jego pochodnych i połączenie ich ze zdjęciami spektrostrefowymi a także opracowaniu i przetwarzaniu danych cyfrowych. Przeprowadzone zostały również przeglądowe badania terenowe.

Inną metodykę wykorzystano w pracy magisterskiej Jacka Krzemińskiego pod tytułem *Przeglądowa mapa geomorfologiczna 1:300 000 Podlasia* (2008). Autor pracy wykorzystując metodę interpretacji wizualnej obrazów satelitarnych z satelity Landsat 5 skanera TM, w oparciu o *Przeglądową Mapę Geomorfologiczną Polski 1:500 000*, a także mapy topograficzne i geologiczne opracował mapę dla obszaru Podlasia (według podziału na regiony fotomorficzne prof. J. R. Olędzkiego) w skali 1:300 000. Wyniki zostały opublikowane w postaci cyfrowej jak i wydruku mapy. Metodyka zastosowana przez Jacka Krzemińskiego podczas wykonywania mapy zastosowana została również przy opracowywanej cyfrowej mapie geomorfologicznej Mazowsza. Nowatorska metodyka opracowywania map pozwoli uzyskać obraz geomorfologii Polski w nowej jakości – skali 1:300 000.

### Charakterystyka materiałów

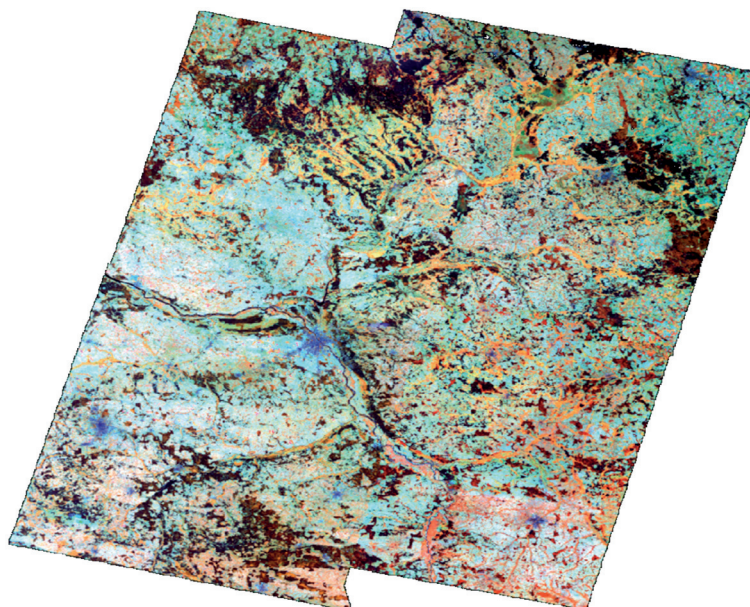
Cyfrowa mapa geomorfologiczna Mazowsza jest efektem kompleksowej interpretacji materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych. Przy jej opracowaniu wykorzystano następujące materiały: zdjęcia satelitarne ze skanera TM (Landsat 5), *Przeglądową Mapę Geomorfologiczną Polski* w skali 1:500 000, *Mapę Geologiczną Polski* w skali 1:200 000, mapy topograficzne oraz Numeryczny Model Terenu z misji SRTM.

#### Zdjęcia satelitarne Landsat 5 TM

Satelita Landsat 5 został umieszczony na orbicie dnia 1 marca 1984 roku przez Amerykańską Agencję Kosmiczną (NASA) i działa do dziś, obrazując powierzchnię Ziemi. Zawiera on na pokładzie multispektralny skaner MSS i instrument Thematic Mapper. TM to skaner, który zbiera dane w następujących pasmach: niebieskim, zielonym, czerwonym, bliskiej podczerwieni, 2 pasmach środkowej podczerwieni, a także w paśmie termalnym. Landsat 5 krąży na orbicie polarnej, na wysokości 705 km i obrazuje ten sam fragment Ziemi co 16 dni. Wspomniany satelita wykonuje zdjęcia scen, które swoim zasięgiem obejmują kwadrat o rozmiarach 185 na 185 km. Rozdzielczość terenowa zdjęć wynosi 30 metrów, rozdzielczość radiometryczna 8 bitów<sup>1</sup>.

Analizy dokonano na zdjęciach z satelity Landsat 5 Thematic Mapper w kompozycji barwnej RGB, wyko-

rzystujące następujące trzy kanały spektralne: 4 (zakres spektralny 0,76- 0,90 nm), 5 (zakres spektralny 1,55- 1,75 nm), 3 (zakres spektralny 0,63- 0,69 nm). Aby uzyskać całkowite pokrycie obszaru opracowania, wykorzystano 4 sceny, wykonane w następujących datach: 25/05/1992, 6/08/1992, 9/08/1992, 23/09/1992. Mozaikę zdjęć z Landsata TM przedstawia rycina 2.



Ryc. 2. Mozaika zdjęć z satelity Landsat TM obejmująca obszar opracowania

Fig. 2. Landsat TM images mosaic including study area

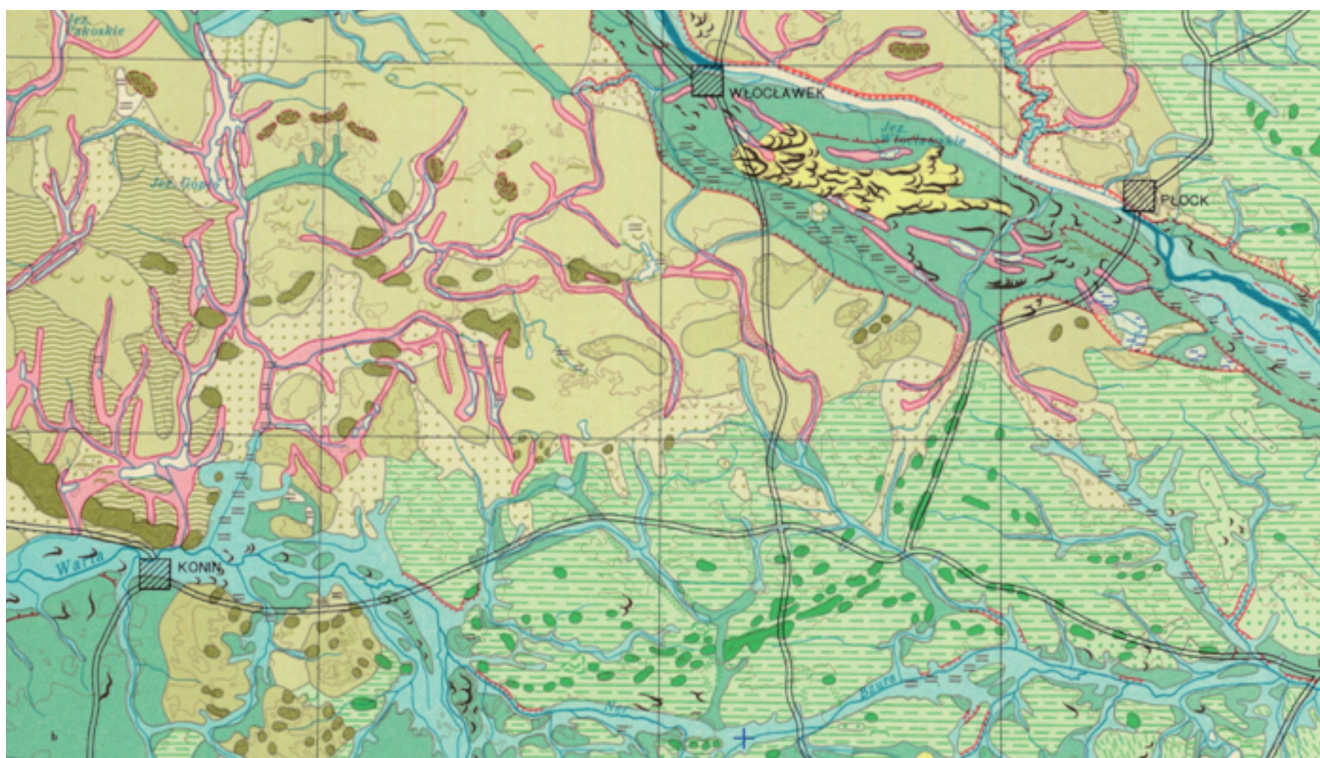
Zdjęcia z satelity Landsat 5 ze skanera TM udostępniane są bezpłatnie na stronie internetowej Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.glc.f.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>), amerykańskiego Uniwersytetu w Maryland. Pobrano 4 sceny obrazów z Landsata TM, obejmujące swoim zasięgiem obszar opracowania. Za pomocą programu Envy utworzono dla każdej ze scen kompozycję barwną na podstawie kanałów spektralnych 4, 5 i 3, a następnie w programie Erdas Imagine 8.4 połączono sceny uzyskując jeden obraz dla całego obszaru opracowania.

### Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski 1:500 000

Równie ważnym materiałem wykorzystywanym do opracowania cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza jest *Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski 1:500 000* (1980). Do jej opracowania wykorzystano cztery następujące arkusze: Gdańsk (autorzy: M. Domośławska-Baraniecka, J.E. Mojski, L. Roszko), Warszawa (autorzy: H. Maruszczak, J. E. Mojski i S. Pietkiewicz), Kraków (autorzy: M. Domośławska-Baraniecka, S. Gilewska, J.E. Mojski, K. Rotnicki i L. Starkel), Lublin (autorzy: S. Gilewska, H. Maruszczak, J.E. Mojski i L. Starkel).

<sup>1</sup> <http://landsat.gsfc.nasa.gov>





Ryc. 3. Fragment Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski 1: 500 000. Arkusz Gdańsk

Fig. 3. Part of Geomorphological Map of Poland 1: 500 000. Gdańsk sheet.

Legenda do *Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski 1:500 000* zawiera 170 form rzeźby o trzech poziomach wydzielenia. Legenda ma konstrukcję hierarchiczną, a jej koncepcja opiera się na podziale dużych form tektonicznych ze względu na proces górotwórczy, cechy morfograficzne i wiek (Pasławski i in., 2006). W pierwszym poziomie wyróżniono obszary wznoszone i obniżane w neogenie i czwartorzędzie oraz genetyczne zespoły form endogenicznych i egzogenicznych małych. Na drugim poziomie wyróżnione są grupy form charakteryzujące się taką samą genezą powstania, na przykład formy akumulacji rzecznej lub formy denudacyjne. Na najniższym – trzecim, poziomie znajdują się pojedyncze formy o sprecyzowanej genezie i czasie powstania, na przykład równiny zalewowe i nadzalewowe holoceni. Na podstawie legendy do *Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej 1:500 000* został opracowany katalog form rzeźby na prezentowanej mapie Mazowsza. Fragment wykorzystanej mapy przedstawia rycina 3.

### Mapa geologiczna Polski 1:200 000

Przy opracowaniu cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza niezbędnym materiałem była także *Mapa geologiczna Polski 1:200 000*. Mapa została opracowana przez Państwowy Instytut Geologiczny i wydana w latach 1969–1998. Składa się z serii A i B, które w sumie liczą 154 arkusze, w istotny sposób wzbogacające obraz budowy geologicznej Polski, dzięki wprowadzeniu stratygrafii czwartorzędzie i nowym badaniom budowy jego podłoża (Pasławski i in., 2006).

Ponieważ występuje związek pomiędzy formą rzeźby a materiałem budującym tą formę, mapa geologiczna stanowi pomocny materiał przy opracowaniu mapy geomorfologicznej. Jej atutem jest dokładniejsza skala, która umożliwia uszczegółowienie przebiegu niektórych form geomorfologicznych. W interpretacji obszaru opracowania wykorzystane zostało jedenaście arkuszy tej mapy<sup>2</sup>.

Na rycinie 4 zaprezentowany jest fragment arkusza Płock Mapy geologicznej Polski 1:200 000.

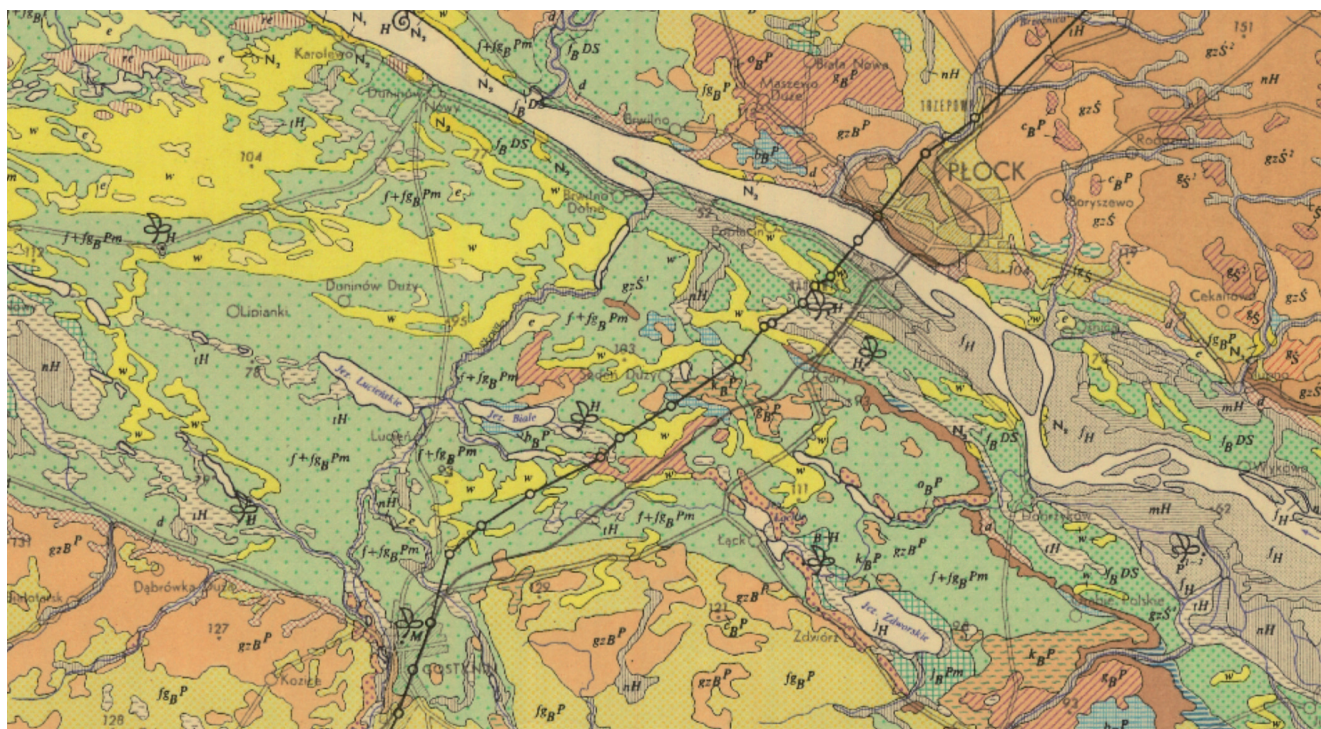
**Pozostałe materiały.** Poza wymienionymi powyżej materiałami, przy opracowywaniu cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza wykorzystano wojskowe mapy topograficzne w skali 1:100 000 w Państwowym Układzie Współrzędnych Geograficznych 1942<sup>3</sup>.

Mapy topograficzne przydatne były w korekcji georeferencji, uszczegółowianiu form rzeźby oraz opracowywaniu warstw uzupełniających treść mapy (patrz rozdział 2).

<sup>2</sup> 20-Pisz (autor: W. Słowański), 28-Brodnica (autorzy: Z. Churski, J. Kotarbiński, M. Liberadzki, M. Niewiarowski, C. Wójcik); 29-Mława (autor: A. Bałuk); 30-Ostrołęka (autor: A. Bałuk); 38-Płock (autorzy: M.D. Baraniecka, S. Skompski); 39-Warszawa Zachód (autor: J. Nowak); 40-Warszawa Wschód (autorzy: W. Słowański, B. Piechulka-Słowańska; W. Gogolek); 49-Skierniewice (autor: A. Makowska); 50-Radom (autor: A. Makowska); 58-Kielce (autor: P. Filonowicz); 59-Sandomierz (autorzy: J. Janiec, A. Romanek, Z. Zlonkiewicz).

<sup>3</sup> N-34-91/92 Pisz, N-34-99/100 Brodnica, N-34-101/102 Mława, N-34-111/112 Sierpc, N-34-113/114 Ciechanów, N-34-115/116 Ostrów Mazowiecka, N-34-123/124 Płock/Włocławek, N-34-125/126 Legionowo, N-34-127/128 Wolomin, N-34-137/138 Warszawa-Zachód, N-34-139/140 Warszawa-Wschód, M-34-5/6 Skierniewice, M-34-7/8 Góra Kalwaria, M-34-17/18 Tomaszów Mazowiecki, M-34-19/20 Radom, M-34-29/30 Skarżysko-Kamienna, M-34-31/32 Starachowice.





Ryc. 4. Fragment Mapy geologicznej Polski 1: 200 000. Arkusz Płock.

Fig. 4. Part of Geological map of Poland 1: 200 000. Płock sheet.

Obecnie mapy te wydawane są przez WZKart. (Wojaskowe Zakłady Kartograficzne) w wersji turystycznej.

Mapy topograficzne wykorzystywane były zarówno w wersji analogowej, jak i cyfrowej, których źródłem był serwis internetowy [www.geoportal.gov.pl](http://www.geoportal.gov.pl), udostępniający warstwy WMS (*Web Map Service*) możliwe do wyświetlenia w oknie oprogramowania.

Do opracowania cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza wykorzystany był również Numeryczny Model Terenu z misji SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Dostarczał on istotnych informacji o rzeźbie terenu. W ciągu 11-dniowej misji w marcu 2000 roku zostały zebrane dane o ukształtowaniu powierzchni Ziemi między 54 stopniem szerokości południowej a 60 stopniem szerokości północnej. Dla obszaru Polski rozdzielczość pozioma danych SRTM wynosi 30 metrów, natomiast rozdzielczość pionowa jest równa 90 metrów. Materiał został pobrany z serwisu Global Land Cover Facility Uniwersytetu w Maryland. Dla pełnego pokrycia terenu SRTM należało pobrać 13 scen, gdzie każda scena obejmowała obszar 1 stopień szerokości geograficznej na 1 stopień długości geograficznej.

## Metodyka opracowania mapy

### Oprogramowanie

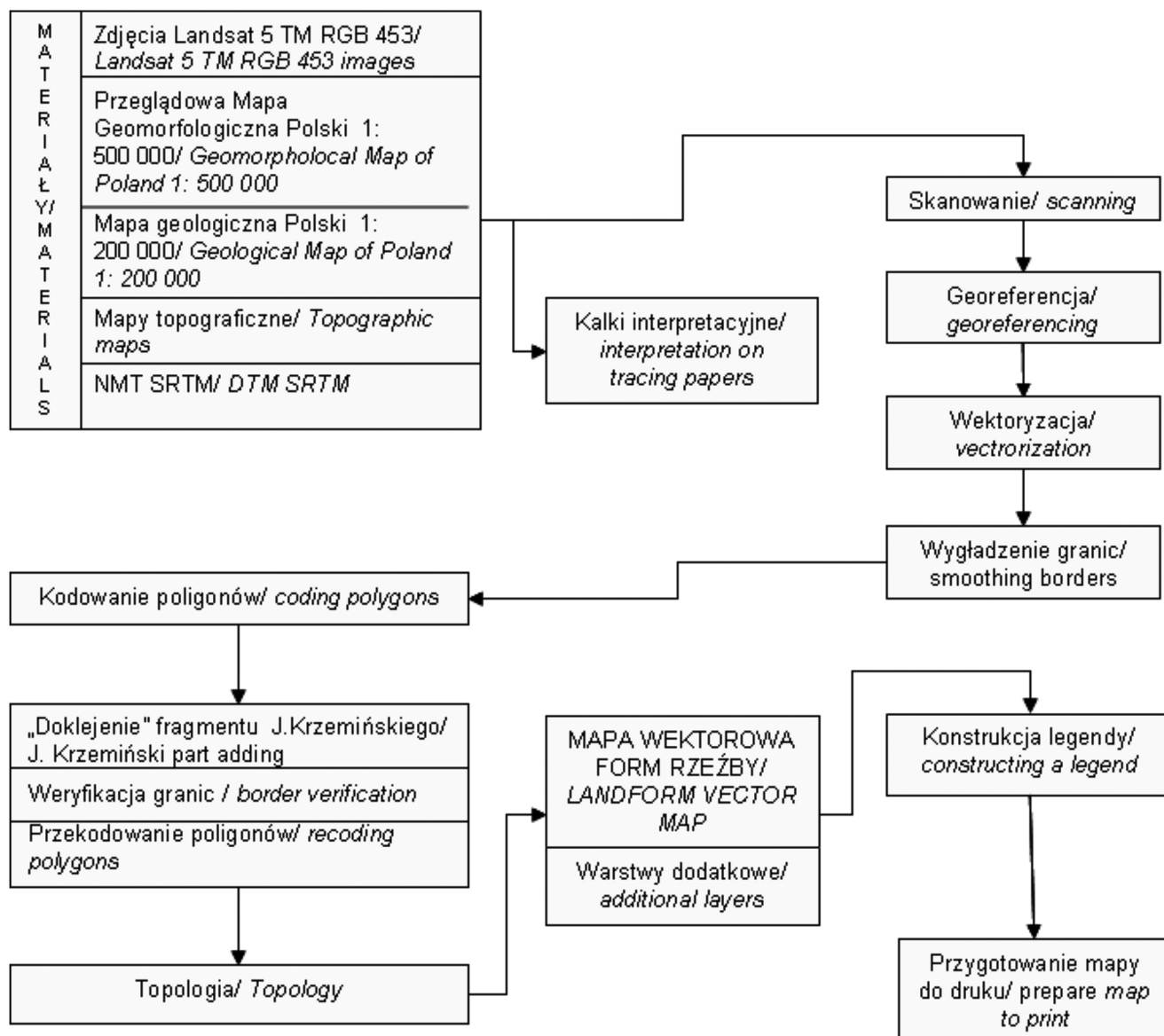
Do utworzenia cyfrowej mapy geomorfologicznej został wykorzystany program ArcGIS 9.3. Dostęp do oprogramowania zapewniła Katedra Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Korzystano także

z wersji demonstracyjnej oprogramowania, oferowanej bezpłatnie na 60-dniowy okres próbny przez ESRI Polska. Niekiedy wykorzystywano funkcje dostępnych na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego programów: *Envy*, *Erdas Imagine 8.0* oraz *CorelDRAW Graphics Suite 8*.

Rycina 5 przedstawia schemat, prezentujący metodykę wykorzystaną w trakcie opracowywania cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza. Szczegółowe opis przedstawionych na schemacie etapów zawarty jest w podrozdziałach 2.1–2.8.

### Interpretacja kameralna–kalki interpretacyjne

Pierwszy etap opracowywania mapy odbywał się poza środowiskiem komputerowym i obejmował wstępną interpretację geomorfologii poprzez wydzielanie metodą wizualną form widocznych na zdjęciach. Przygotowane zdjęcia z satelity Landsat TM zostały wydrukowane w skali 1:100 000 i opracowane kameralnie w ramach studenckich zajęć specjalizacyjnych. Analizy, wspomaganie mapami geologicznymi i topograficznymi, dokonano na kalkach interpretacyjnych. Interpretacja ta pozwoliła określić, czy prezentowane na *Przeglądowej Mapie Geomorfologicznej Polski 1:500 000* formy rzeźby możliwe są do rozpoznania na podstawie zdjęć satelitarnych w kompozycji 453. Kompozycja barwna 453 uwidacznia cechy terenowe związane z wodą. Kanał 4 pozwala na określenie typu pokrywy roślinnej, kanał 5 (podświetlenie) wykorzystywany jest do badania bilansu wodnego roślin, kanał 3 zaś umożliwia identyfikację obszarów z roślinnością różnogatunkową (Wasilewski, Choromański, 2003). Przy wydzielaniu form wykorzystano kore-



Ryc. 5. Uproszczony schemat metodyki tworzenia cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza.

Fig. 5. Simplified scheme including methodology of making Digital geomorphological map of Mazovia.

lacje niektórych form rzeźby z formami użytkowania ziemi, które w zastosowanej kompozycji barwnej mogą być dość dokładnie wyznaczone. Do takich należały dna dolin z akumulacją holoceniową oraz równiny zalewowe i nadzalewowe holoceniowe, które można rozpoznać poprzez użytkowanie ich jako łąki, co wynika z ich wilgotność i lokalizacji w pobliżu cieków wodnych. Łąki odznaczają się na zdjęciach z Landsata TM w kompozycji 453 w barwach pomarańczowych. Zdjęcia z satelity Landsat pozwalają również na uszczegółowienie przebiegu granic form eolicznych, szczególnie pól piasków przewianych i wszystkich typów wydm. Formy te, ze względu na piaszczystą budowę są nieprzydatne dla rolnictwa i zazwyczaj porośnięte są przez suche bory, a lasy dzięki barwie, strukturze i teksturze oraz cechom pośrednim są łatwo rozpoznawalne za zdjęciach satelitarnych. Łatwo wydzielić można również rzeźbę fluwialną i jej elementy,

a miejscami możliwe było zinterpretowanie przebiegu niektórych form liniowych, takich jak krawędzie erozyjne.

Omówioną metodą zinterpretowano około 60% obszaru opracowania. Jednak interpretacja bezpośrednia objęła tylko formy, które można było rozpoznać na zdjęciach z Landsata TM posługując się bezpośrednimi i pośrednimi cechami fotointerpretacyjnymi. Rysowanie granic pozostałych form rzeźby wymagało całościowego wykorzystania pozostałych materiałów. W celu uzyskania jak najdokładniejszych wyników, interpretacja pozostałego fragmentu obszaru badań oraz uzupełnienie zinterpretowanego terenu odbyła się w środowisku GIS.

#### Interpretacja w środowisku GIS

Kalki interpretacyjne, utworzone podczas ćwiczeń kameralnych, zeskanowano i nadano im georeferencję



na podstawie punktów o znanych współrzędnych geograficznych, przeniesionych na każdą z nich. Współrzędne  $x$  i  $y$  punktów naniesionych przed zeskanowaniem określono na podstawie map topograficznych 1:100 000 w układzie „1942”. Na każdej z siedmiu kalek umieszczono 6 punktów, co pomogło z większą dokładnością zgeometryzować materiały, które ze względu na ręczne wykonanie i specyfikę kalek (delikatne rozciągnięcie czy pogniecenie) uzyskiwały zbyt małą dokładność rejestracji przy mniejszej ilości punktów.

Zeskanowane i zgeometryzowane kalki, po automatycznej zamianie na obraz 1-bitowy (tylko wartości 0 – 100% czarnego i 1 – 100% białego), można było w szybki sposób zwektoryzować, używając funkcji *ArcScan*. Wektoryzacja (digitalizacja) polega na konwersji danych rastrowych na wektorowe (Urbański, 1997) i może być przeprowadzona w sposób ręczny, półautomatyczny lub automatyczny. *ArcScan* umożliwia półautomatyczną wektoryzację, która w tym przypadku jest metodą najbardziej efektywną, gdyż nie jest tak czasochłonna jak wektoryzacja ręczna, ani nie wymaga nakładu pracy podczas czyszczenia wektora (usuwania nieprawidłowości), co konieczne jest przy wektoryzacji automatycznej (Zagajewski, 2007). Po dobraniu odpowiednich parametrów, należało wskazać na rastrze linię przeznaczoną do wektoryzacji, a następnie określić kierunek wektoryzacji. Miejscami wektory należało pociągnąć ręcznie, szczególnie na stykach poszczególnych kalek. W rezultacie otrzymano warstwę wektorową form rozpoznawalnych na zdjęciach z Landsata, jednak wymagały one uzupełnienia ze względu na różną dokładność opracowanych kalek oraz na fakt, że nie obejmowały całego obszaru opracowania.

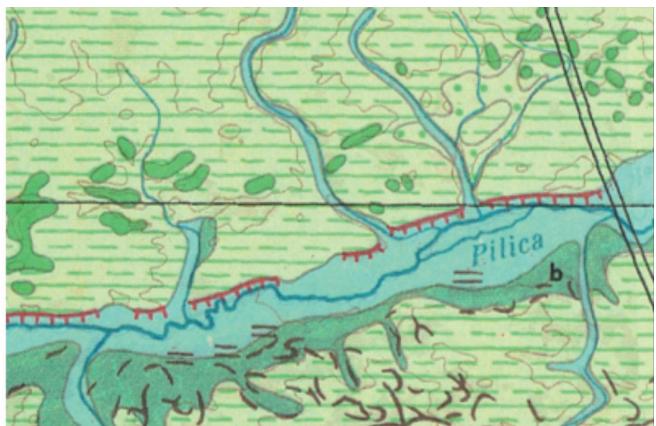
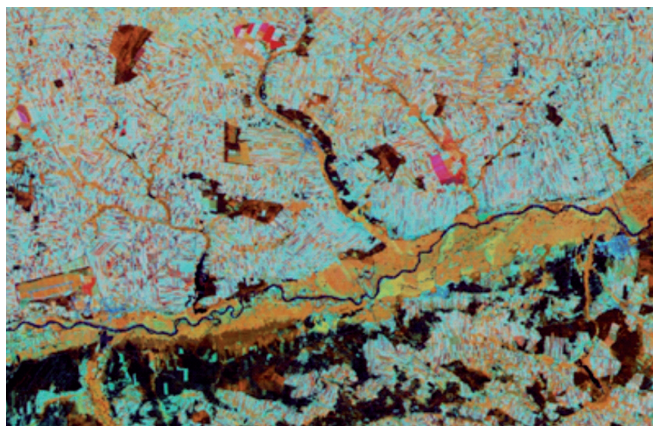
Dalsza interpretacja polegała na ręcznej wektoryzacji na ekranie komputera. Aby interpretacja była możliwa, należało nadać wszystkim potrzebnym materiałom georeferencję. Pobrane z serwisu GLCF zdjęcia z Landsata posiadały już nadane współrzędne geograficzne w układzie WGS-84, jednak w porównaniu z pozostałymi materiałami, w tym stworzoną warstwą wektorową z kalek fotointerpretacyjnych, okazało się że są one znacznie

przesunięte w stosunku do odpowiadających im form. Skłoniło to do geometryzacji zdjęć z Landsata TM na podstawie map topograficznych 1:100 000 w układzie „1942”. Nadano 12 punktów i uzyskano błąd około 15 m, czyli o połowę mniejszy niż wielkość piksela na zdjęciach z Landsata. Prawidłowe nakładanie się warstw po przeprowadzonym procesie świadczy o poprawnej korekcie geometrii zdjęć. Mapy geomorfologiczną oraz geologiczną Polski zgeometryzowano na podstawie istniejącej na nich siatki współrzędnych geograficznych. Na każdy arkusz naniesiono po 4 punkty w przecięciu południków z równoleżnikami, a współrzędne zostały automatycznie przekonwertowane na układ „1942”.

Doprowadzenie poszczególnych materiałów do wspólnego układu współrzędnych umożliwia płynne ich porównywanie i skuteczną interpretację form rzeźby. Metoda ta jest wygodniejsza i pozwala na korektę i uszczegółowienie treści zawartej na kalkach interpretacyjnych. W efekcie na monitorze zinterpretowano i uzupełniono warstwę wektorową przedstawiającą formy rozpoznawalne na zdjęciach z Landsata TM.

Zdjęcia satelitarne w kompozycji barwnej 453 wykonane przez umieszczony na satelicie Landsat 5 skaner TM są materiałem, który jest przydatny w procesie opracowywania mapy geomorfologicznej. Jednak bez wykorzystania innych materiałów kartograficznych nie możliwe byłoby zestawienie kompletnej mapy, ponieważ omawiane zdjęcia pozwalają na uszczegółowienie tylko niektórych form rzeźby. Tymi formami rzeźby są: dna większych dolin płaskodennych z akumulacją holoceniową czy równiny zalewowe i nadzalewowe holoceniowe (ryc. 6), krawędzie erozyjne i starorzeczka (ryc. 7), równiny akumulacji torfowiskowej (ryc. 8) oraz pola piasków przewianych i wydmy (ryc. 9).

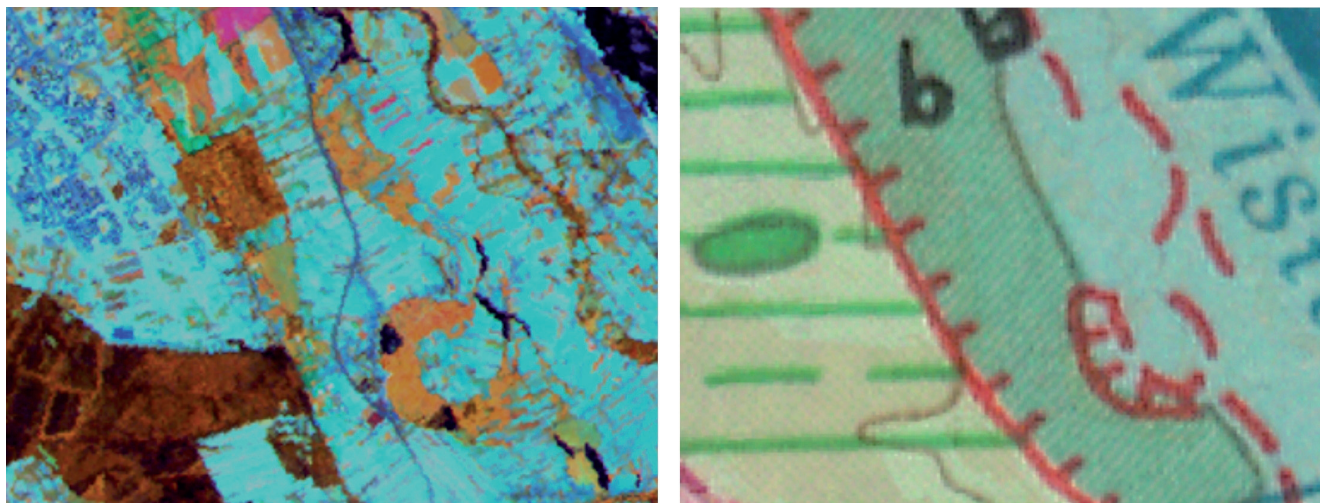
Informacje o przebiegu granic form rzeźby, które są nierozpoznawalne na zdjęciach satelitarnych, pozyskano z *Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski 1:500 000*. Arkusze zeskanowanej i umiejscowionej w układzie współrzędnych mapy geomorfologicznej poddano procesowi ręcznej wektoryzacji. Dzięki temu uzyskano granice wydzielen dla wszystkich pozostałych



Ryc. 6. Dna dolin płaskodennych z akumulacją holoceniową oraz równiny zalewowe i nadzalewowe holoceniowe na zdjęciu satelitarnym z Landsata TM (po lewej) i na Przeglądowej Mapie Geomorfologicznej Polski 1: 500 000 (po prawej).

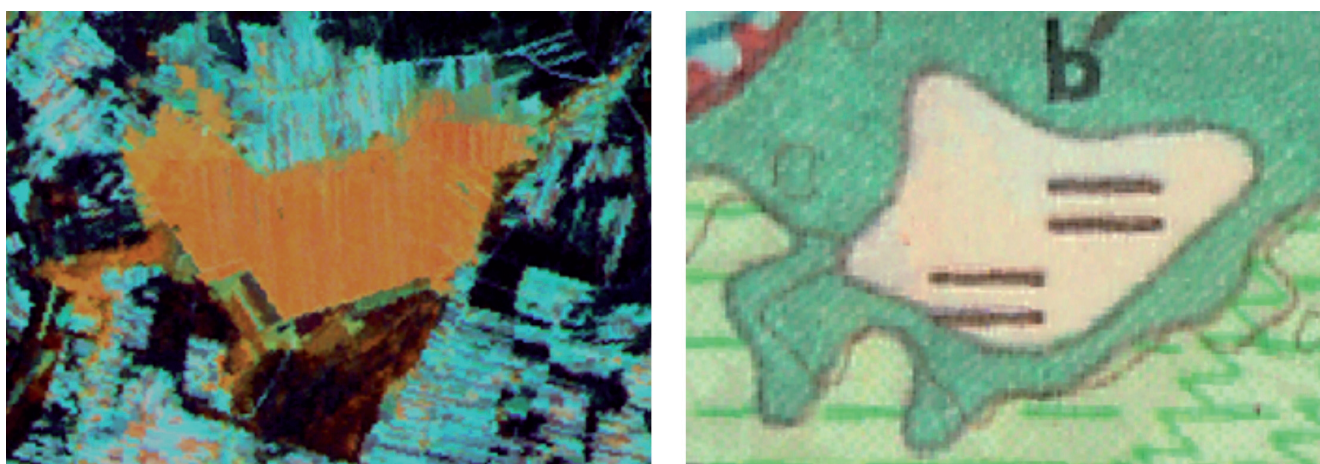
Fig. 6. Small valley floors filled with Holocene sediments and Holocene floodplains and supra-floodplains at Landsat TM image (on the left) and at Geomorphological Map of Poland 1: 500 000 (on the Wright).





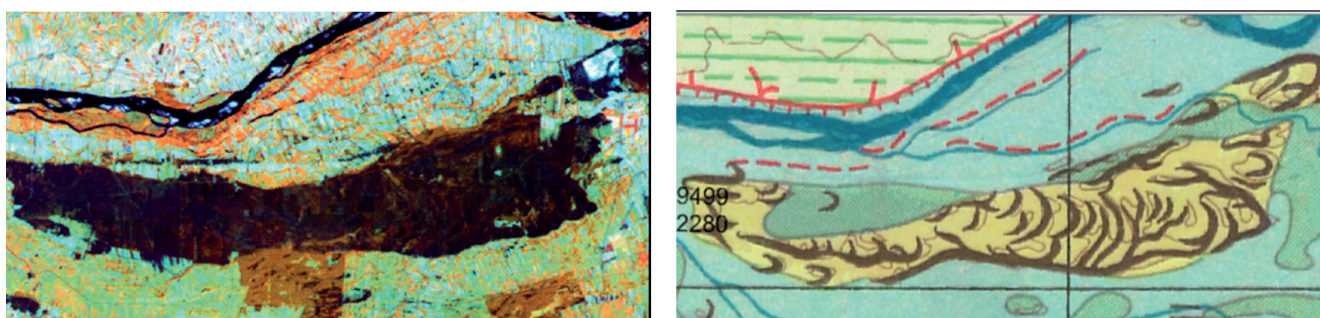
Ryc. 7. Krawędzie erozyjne oraz duże starorzecza na zdjęciu satelitarnym z Landsata TM (po lewej) i na Przeglądowej Mapie Geomorfologicznej Polski 1: 500 000 (po prawej).

Fig. 7 Erosional edges and great abandoned loops at Landsat TM image (on the left) and at Geomorphological Map of Poland 1: 500 000 (on the right).



Ryc. 8. Równiny akumulacji torfowiskowej na zdjęciu satelitarnym z Landsata TM (po lewej) i na Przeglądowej Mapie Geomorfologicznej Polski 1: 500 000 (po prawej).

Fig. 8. Peat plains at Landsat TM image (on the left) and at Geomorphological Map of Poland 1: 500 000 (on the right).



Ryc. 9. Pola piasków przewianych i wydmy na zdjęciu satelitarnym z Landsata TM (po lewej) i na Przeglądowej Mapie Geomorfologicznej Polski 1: 500 000 (po prawej)

Fig. 9. Wind-blow areas and dunes at Landsat TM image (on the left) and at Geomorphological Map of Poland 1: 500 000 (on the right).



form rzeźby, których rozpoznanie na zdjęciach satelitar-nych jest bardzo ograniczone lub niemożliwe. Podczas digitalizacji pojawiło się kilka problemów. Jeden z nich wynikał z różnic na styku arkuszy mapy geomorfologicznej. W sytuacjach takich jak przedstawiona na rycinie 10, niemożliwe było dokładne wyznaczenie granic nawet przy wspomaganie się pozostałymi materiałami kartograficznymi i wektor należało poprowadzić umownie.



Ryc. 10. Błędy na styku arkuszy Przewładowej Mapy Geomorfologicznej Polski. Styk arkuszy Kraków-Lublin.

*Fig. 10. Errors at the line of contact Geomorphologic Map of Poland sheets. Kraków and Lublin contact sheets.*

Miejscami uszczegółowienie przebiegu granic możliwe było przy wykorzystaniu map geologicznych oraz topograficznych. Materiały te były przydatne głównie w wydzieleniu form rzeźby przedstawionych na mapie geomorfologicznej za pomocą symboli. Określenie granic wydzieleni oznaczonych pojedynczą sygnaturą okazało się problematyczne. Wyznaczenie ich tylko na podstawie mapy geomorfologicznej były niemożliwe, gdyż przedstawiają one za pomocą umownego znaku miejsce występowania danej formy, a na opracowywanej mapie należało przedstawić ich rozmieszczenie powierzchniowo. Niekiedy można było zauważyć korelację z utworem budującym daną formę, jak to jest przedstawione na ryc. 11, gdzie formie rzeźby z mapy geomorfologicznej (oz), odpowiada utwór powierzchniowy na mapie geologicznej (piaski i żwiry ozów).

Jednak w wielu przypadkach dla form rzeźby zaznaczonych sygnaturą nie stwierdzono korelacji między mapą geomorfologiczną a geologiczną. Wówczas pomocny okazał się rysunek poziomicowy zaprezentowany na mapach topograficznych. Przykładowy fragment przedstawia ryc. 12, gdzie sygnaturze ozu odpowiada utwór powierzchniowy, który nie świadczy o występowaniu danej formy rzeźby na tym terenie (piaski, żwiry i głazy moren czołowych). Natomiast obraz poziomicowy z mapy topograficznej wyraźnie wskazuje, że w miejscu tym występuje podłużny, wyróżniający się wał.



Ryc. 11. Korelacja między mapą geomorfologiczną a geologiczną.  
*Fig. 11. Correlation between geomorphological and geological maps.*



Ryc. 12. Korelacja między mapą geomorfologiczną, geologiczną i topograficzną.

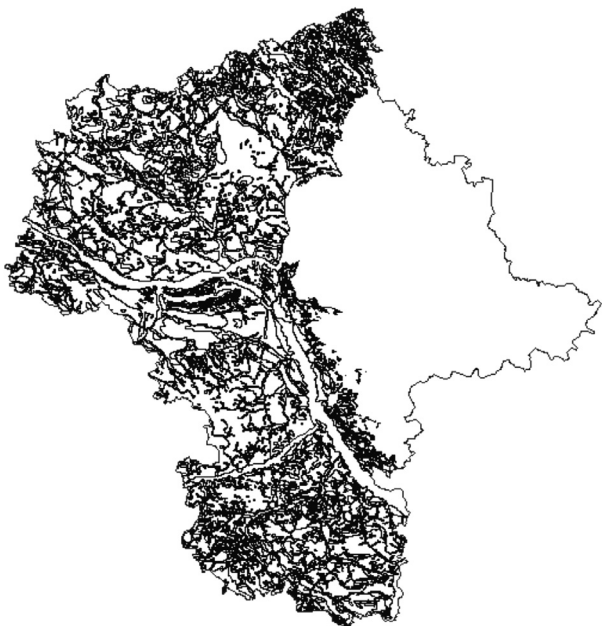
*Fig. 12. Correlation between geomorphological, geological and topographic maps.*

Ręczne rysowanie granic poligonów spowodowało ostry, nienaturalnie wyglądający obraz form rzeźby. Aby wygładzić wektory, należało zastosować funkcję Smooth. W programie ArcGis możliwe jest zastosowanie tej funkcji zarówno do linii, jak i do poligonów. Jednak w przypadku poligonów, po zastosowaniu funkcji Smooth Polygon, na granicach form pojawiały się błędy topologiczne (nakładanie się poligonów, luki między poligonami). Aby wyeliminować ten problem i przyspieszyć proces przetwarzania danych wektorowych, dokonano zamiany poligonów na linie. Następnie zastosowano funkcję Smooth Line (ArcToolbox/Data Management Tools/Generalization/Smooth Line), wybierając algorytm PEAK, który umożliwia określenia stopnia wygładzenia. Po dokonaniu wygładzenia, zamieniono wygładzone linie na poligony.

Rycina 13 prezentuje efekt przeprowadzonej wektoryzacji form rzeźby obszaru opracowania i rezultat przetworzenia warstwy funkcją wygładzenia.

**Kodowanie poligonów.** Po zwektoryzowaniu, weryfikacji i wygładzeniu granic form terenu w przetworzonej warstwie form rzeźby Mazowsza, należało nadać (każdemu poligonowi) odpowiedni kod liczbowy, który wprowadzono ręcznie do kolumny zatytułowanej „ID” w tabeli atrybutów przetwarzanej warstwy wektorowej. Kody nadawano dobierając odpowiednią cyfrę dla danego typu formy rzeźby, zawartego w legendzie do *Prze-*





Ryc. 13. Warstwa poligonów form rzeźby powstała w wyniku interpretacji materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych na tle granicy województwa mazowieckiego.

Fig. 13. Polygon layer with geomorphological forms as a result of remote sensing and cartographic references interpretation against Mazovia province border.

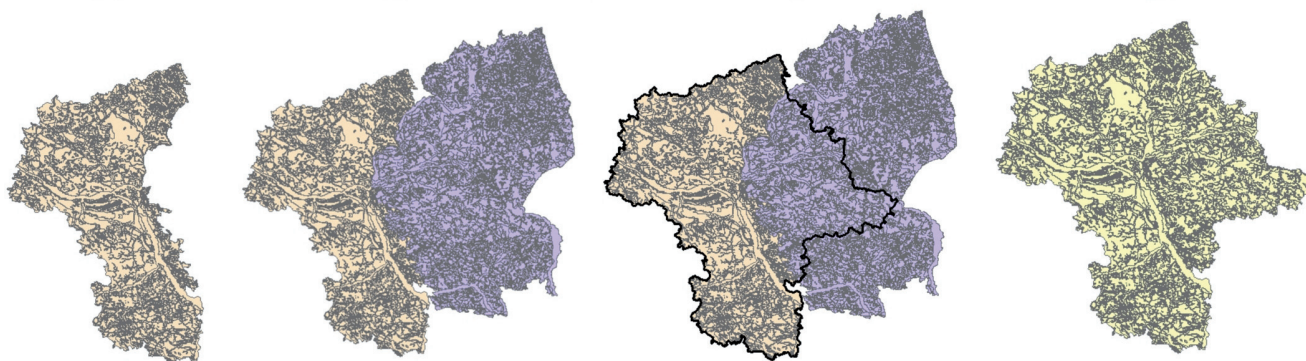
glądowej Mapy Geomorfologicznej Polski 1:500 000. Kodowana warstwa form rzeźby zawiera 2878 poligonów.

**„Doklejenie” brakującego fragmentu.** Celem projektu było opracowanie cyfrowej mapy geomorfologicznej dla całego województwa mazowieckiego. Jednak wszystkie dotychczas omówione procesy dotyczyły fragmentu charakteryzowanego obszaru (ryc. 14a), co wytłumaczone było we wstępie pracy. Do uzupełnienia brakują-

cej części województwa mazowieckiego, wykorzystano fragment mapy Jacka Krzemińskiego. Do opracowanej warstwy „doklejono” warstwę wektorową opracowaną przez Jacka Krzemińskiego i udostępnioną przez Katedrę Geoinformatyki i Teledetekcji WGiSR UW (ryc. 14b). Na dopasowane warstwy nałożono granicę województwa mazowieckiego (ryc. 14c) i przycięto całość do tej granicy (funkcja *Clip*). W rezultacie powstała warstwa, prezentująca geomorfologię dla całego województwa mazowieckiego (ryc. 14d).

Ponieważ łączone warstwy opracowywane były przez różnych autorów, trzeba było dokonać weryfikacji granic na styku warstw. Konieczne było również przekodowanie poligonów z warstwy Jacka Krzemińskiego, gdyż używał on innych cyfr do zakodowania form rzeźby. Proces ten przeprowadzono automatycznie, poprzez operacje na tabeli atrybutów. Dla otrzymanej warstwy zbudowano topologię, która jest matematyczną metodą używaną do definiowania przestrzennych relacji między obiektami (Urbański, 1997). Jej zastosowanie pozwoliło na wyeliminowanie wszelkich błędów. Ostateczna warstwa zawiera 3586 poligonów form rzeźby.

Otrzymana warstwa wektorowa, będąca finalnym rezultatem kompleksowej interpretacji materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych, nie zawiera wszystkich form rzeźby występujących na terenie województwa mazowieckiego. Podczas wektoryzacji mapy geomorfologicznej pomijane były formy rzeźby, które zostały przedstawione za pomocą linii m. in. krawędzie, podcięcia czy przełomy. Form tych nie da się przedstawić za pomocą poligonów, dlatego konieczne było utworzenie oddzielnej warstwy w formacie *shapefile*, zawierającej obiekty liniowe. Warstwę liniowych form rzeźby należało stworzyć dla całego województwa mazowieckiego, ze względu na brak dostępu do tych informacji dla części Podlasia opracowanej przez J. Krzemińskiego.



Ryc. 14. Schemat procesu „doklejania” fragmentu mapy Jacka Krzemińskiego:

a - obszar powstały w wyniku interpretacji materiałów teledetekcyjnych i kartograficznych, b - dodanie mapy Podlasia Jacka Krzemińskiego, c - granice województwa mazowieckiego nałożone na połączone warstwy, d - ostateczna warstwa wektorowa.

Fig. 14. Scheme including process of adding part of Jacek Krzemiński map: a - area resultant during interpretation of remote sensing and cartographic reference materials; b - adding Jacek Krzemiński map of Podlasie, c - Mazovia Province border lay on joint layers, d - final vector layer.

Tabela 1. Regiony geograficzne położone w obrębie województwa mazowieckiego. Podział wg J. R. Olędzkiego (2008)  
 Table 1. Geographic regions within the Mazovia province. Classification by J. R. Olędzki (2008)

Nazwa jednostki I rzędu <i>Name of the I category district</i>	Nazwa jednostki II rzędu <i>Name of the II category district</i>	Nazwa jednostki III rzędu <i>Name of the III category district</i>
Pojezierze Mazursko-Suwalskie (4)	Kurpie (4.4)	Równina Kurpiowska (4.4.1)
		Wysoczyzna Różańsko-Krasnosielska (4.4.2)
Równiny Środkowopolskie (5)	Mazowsze Północne (5.6)	Wysoczyzna Płocka (5.6.1)
		Równina Raciążska (5.6.2)
		Przyrzecze i Dolina Dolnej Skrwy (5.6.3)
		Ziemia Zakroczymsko-Serocka (5.6.4)
		Ziemia Pułtуска (5.6.5)
		Ziemia Nasielska (5.6.6)
		Ziemia Ciechanowska (5.6.7)
		Dorzecze Dolnej Wkry (5.6.8)
		Ziemia Żuromińska (5.6.9)
		Wzniesienia Mławskie (5.6.10)
		Dorzecze Górnego Orzyca (5.6.11)
		Wysoczyzna Napierska (5.6.12)
		Wysoczyzna Lubowidzka (5.6.13)
		Dolina Środkowej Wisły (5.7)
	Taras Stężycki (5.7.2)	
	Nadzalewowe Tarasy Dęblińsko-Markowskie (5.7.3)	
	Ryńska Karczewska (5.7.4)	
	Kępa Warszawicka (5.7.5)	
	Łaskarzewska Strafa Wysoczyznowa (5.7.6)	
	Kampinowski Odcinek Doliny Wisły (5.7.7)	
	Taras Jabłonny (5.7.8)	
	Ujściowy Odcinek Doliny Narwi (5.7.9)	
	Puszcza Kampinoska (5.7.10)	
	Wyszogrodzko-Bydgoskie Dno Doliny Wisły (5.7.11)	
	Ziemia Łowicka (5.8)	Równina Błońska (5.8.1)
		Dolina Dolnej Bzury (5.8.2)
		Równina Sochaczewska (5.8.3)
		Lasy Gostynińskie (5.8.4)
	Aglomeracja Warszawska (5.9)	Warszawa (5.9.1)
		Równina Ożarówko-Mazowiecka (5.9.2)
		Równina Piaseczyńska (5.9.3)
		Taras Praski (5.9.4)
		Równina Młocińska (5.9.5)
	Mazowsze Środkowe (5.10)	Pochyłość Żyrardowsko-Grodziska (5.10.10)
		Równina Mszczonowska (5.10.11)
		Wysoczyzna Rawska (5.10.12)
		Wysoczyzna Warecka (5.10.13)
		Równina Chojnowska (5.10.14)
	Mazowsze Południowe (5.11)	Puszcza Pilicka (5.11.1)
		Dolina Pilicy (5.11.2)
		Równina Przytycka (5.11.3)
		Równina Radomska (5.11.4)
		Wzniesienia Gliniecko-Szydłowieckie (5.11.5)
		Międzyrzecze Krępianki i Iłżanki (5.11.9)
		Dolina Iłżanki (5.11.10)
		Wierchowina Sycyńska (5.11.11)
		Równina Czarnoleska (5.11.12)
Puszcza Kozińska (5.11.13)		
Równina Głowaczowska (5.11.14)		

### Warstwy dodatkowe

*Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski 1:500 000*, oprócz informacji o występowaniu danych form rzeźby, zawiera również warstwy dodatkowe, takie jak: warstwice, wybrane rzeki, jeziora, drogi i miasta. Dlatego dla projektowanej cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza należało dodać te informacje, które wraz z etykietami przydatne będą do szybkiego zorientowania się w lokalizacji jej treści.

Warstwę poziomą wygenerowano automatycznie z pobranego z serwisu GLCF Numerycznego Modelu Terenu z misji SRTM. Warstwice wygenerowano co 20 metrów za pomocą funkcji *Contour Generate* a następnie uproszczono ich przebieg funkcją *Simplify Line*, stosując algorytm BEND\_SIMPLIFY i generalizując je do skali 1:300 000.

Na warstwie rzek zdecydowano się umieścić tylko najważniejsze i największe rzeki Mazowsza, podobnie na warstwie jezior pozostawiono tylko te o największej powierzchni. Na warstwie miast umieszczono wszystkie miasta powiatowe województwa mazowieckiego (w sumie 37).

### Konstrukcja legendy do mapy

Na obszarze województwa mazowieckiego znajdują się 58 form rzeźby wydzielonych w legendzie do *Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polskie 1:500 000*. Legenda ta stanowiła wzorzec do ustalenia kolorystyki, szrafu, symboliki, za pomocą których oznaczona zostanie rzeźba na opracowanej cyfrowej mapie geomorfologicznej Mazowsza w skali 1:300 000. Aby jak najwierniej odwzorować zastosowane w legendzie barwy, pobierano ze zeskanowanych arkuszy *Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polskie 1:500 000* informacje o barwie RGB (za pomocą narzędzia pipety w programie CorelDRAW 8) i takie same barwy nadawano projektowanym symbolom (obejmującym tło i szraf). Poszczególne formy rzeźby uszeregowano według układu zastosowanego w legendzie do *Przeglądowej Mapy Geomorfologicznej Polski 1:500 000*, stosując podział na 3 poziomy (patrz rozdział 2.2), umieszczając w odpowiednim miejscu również rzeki (formy erozji rzecznej) i misy jeziorne (formy limniczno-czwartorzędowe). W legendzie umieszczono również oznaczenia dla: granicy województwa, dróg głównych, miast powiatowych i warstwic. Każde wydzielenie zostało opisane w języku polskim i angielskim. Finalna wersja legendy do mapy geomorfologicznej Mazowsza, zaprezentowana jest na ryc. 15.

Analizując legendę do cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza (ryc. 15) zauważyć można pewny schemat kolorystyczny. Formy rzeźby należące do dużych form neotektonicznych przedstawiane są za pomocą odcieni żółci, pomarańczy i brązu. Brąz wykorzystany jest to przedstawienia wszystkich form denudacyjnych. Linowe formy erozji rzecznej prezentowane są na mapie geomorfologicznej w barwach czerwonych. Formy akumulacji rzecznej przedstawione są w barwach ciemnego zielone-

go, a formy akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej zdenudowane w zasięgu zlodowacenia środkowopolskiego w barwach jasnego zielonego. Formy akumulacji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej z okresu zlodowacenia bałtyckiego przyjmują już barwy w odcieniach beżu. Do przedstawienia form erozji lodowcowej i rzeczno-lodowcowej zastosowano barwy różowe.

### Przygotowanie kompozycji mapy do druku

Opisywana mapa geomorfologiczna Mazowsza jest mapą cyfrową, ale rezultatem pracy magisterskiej ma być również jej wersja drukowana w skali 1:300 000. Mapa stanowi kompozycję zawierającą odpowiednio zaaranżowany układ elementów graficznych takich jak: legenda, podziałki liniowe, opisy pozaramkowe i inne elementy graficzne stanowiące tzw. marginalia. Dlatego przed wydrukowaniem, należało przygotować kompozycję mapy. Ustalono, że odpowiednim formatem papieru, wymaganym do wydrukowania omawianej mapy w skali 1:300 000 będzie arkusz 1000 na 1100 mm. Na kompozycji mapy do druku należało umieścić ramkę oraz siatkę opisanych współrzędnych geograficznych co 30 minut (pół stopnia). Współrzędne zostaną zaprezentowane w formacie: stopnie, minuty i sekundy (np. 52°30'00"N). W prawym dolnym rogu arkusza (patrz ryc. 16), wewnątrz ramki mapy, przeznaczono miejsce na tytuł mapy, podziałkę liniową, legendę oraz logo WGiSR i EARSeL. Zostaną zamieszczone tu również informacje dodatkowe, to znaczy: autor i opiekun pracy, jednostka w której wykonano mapę, układ współrzędnych oraz materiały wykorzystane podczas opracowywania mapy.

Wynikiem przeprowadzonego postępowania metodycznego (ryc. 5) powstała uszczegółowiona do skali 1:300 000 wersja mapy form rzeźby terenu (ryc. 17), według kompozycji przedstawionej na ryc. 16, opracowana na bazie legendy do Mapy Geomorfologicznej Polski 1:500 000.

### Wyniki i charakterystyka geomorfologiczna obszaru badań

Analizując ilość wydzieleni w legendzie do cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza, wydawałoby się, że jest to teren o bardzo urozmaiconej geomorfologii. Jednak wiele z form rzeźby występuje pojedynczo, lub obejmuje niewielkie fragmenty na styku województwa z graniczącymi jednostkami administracyjnymi.

Według podziału na regiony geograficzne Polski (Olędzki J. R., 2007) w granicach administracyjnych województwa mazowieckiego leżą jednostki należące do makroregionów: Pojezierza Mazursko-Suwalskiego (4), Równin Środkowopolskich (5). W obszarze województwa mazowieckiego położona jest również część regionu Podlasia (6). Charakterystyka geomorfologiczna podlaskiej części województwa mazowieckiego została dokładnie omówiona przez J. Krzemińskiego (2009) i została pominięta w niniejszym opracowaniu.





Ryc. 15. Legenda do cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza.

Fig. 15. Legend of the digital geomorphological map of Mazovia

Północno-wschodnia część województwa mazowieckiego należy do części Pojezierza Mazursko-Suwalskiego (4), podregionu Kurpie (4.4). Znajduje się tu Równina Kurpiowska (4.4.1), na której wytworzyła się piaszczysta równina sandrowa, urozmaicona przez rozległe pola wydymowe. Na południe od Równiny Kurpiowskiej leży Wysoczyzna Różańsko-Krasnosielecka (4.4.2) ukształtowana jako zdenudowana wysoczyzna morenowa z okresu zlodowacenia środkowopolskiego, a także występują tu wały morenowe, rozległe wytopiska, formy kemowe, wały moren spiętrzonych, ozy i równiny akumulacji torfowiskowej oraz fragmenty starych denudowanych równin sandrowych. Obszar ten zdecydowanie wyróżnia się na mapie geomorfologicznej Mazowsza.

Pozostały fragment terenu opracowania należy do regionu Równin Środkowopolskich (5).

Obszar województwa mazowieckiego na południe od Pojezierza Mazursko-Suwalskiego i na północ od Doliny Wisły to Mazowsze Północne (5.6). Pod względem geomor-

fologicznym jest to głównie zdenudowana wysoczyzna morenowa z wałami i wzgórzami morenowymi. Wyróżniają się dorzecza rzek, gdzie występują holoceniowe równiny zalewowe i nadzalewowe oraz równiny tarasowe plejstoceńskie, niekiedy urozmaicone wydmami. W Przyszeczu i Dolinie Dolnej Skrzy (5.6.3) występują strome erozyjne stoki i rynny subglacjalne z okresu zlodowacenia bałtyckiego oraz równiny sandrowe. Miejscami w rzeźbie występuje wysoczyzna akumulacji wodnolodowcowej, np. na Ziemi Zakroczymsko-Serockiej (5.6.4). Sporadycznie występują kemy, wytopiska i ozy między innymi na Ziemi Nasielskiej (5.6.6) czy Ziemi Ciechanowskiej (5.6.7), wzdłuż której północnej granicy regionu pojawiają się zdenudowane równiny sandrowe. Pod względem geomorfologii wyróżnia się region Wzniesień Mławskich, którego rzeźba wykształcona jest w postaci wysoczyzny morenowej falistej z pojedynczymi wzgórzami, ponadto występują tu tereny zdenudowanej wysoczyzny morenowej i akumulacji wodnolodowcowej,



Ryc. 16. Kompozycja cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza.

Fig. 16 Digital geomorphological map of Mazovia composition.

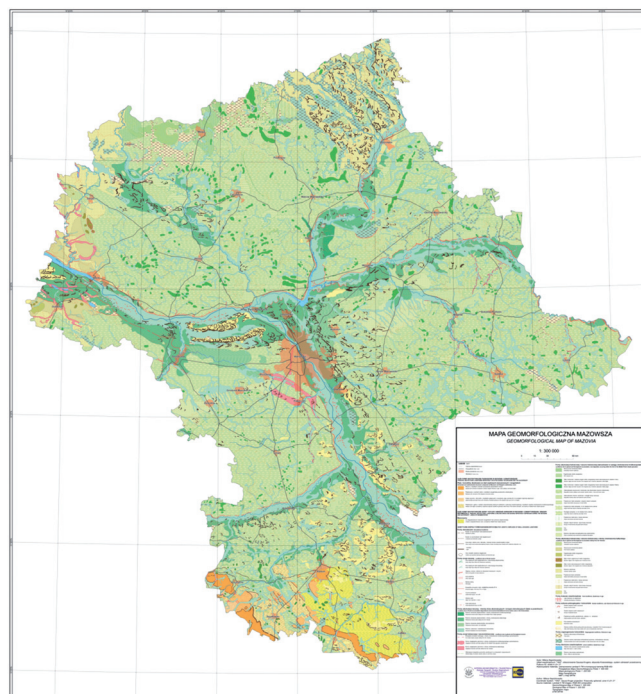
urozmaicone pojedynczymi wytopiskami i ozami. Podobną rzeźbą wyróżniają się graniczące z Wzniesieniami Mławskimi Wysoczyzna Napierska (5.6.12) i Wysoczyzna Lubowidzka (5.6.13). Dorzecze Górnego Orzycza (5.6.11) stanowi rozległe wytopisko urozmaicone wzgórzami kemowymi. Wyróżnia się także zlokalizowana na północy województwa mazowieckiego Ziemia Żuromińska (5.6.9), która pod względem geomorfologicznym jest regionem dość zróżnicowanym. Środkową część zajmuje holocénska równina torfowa. Na tarasach przepływającej tu rzeki Raciążnicy spotkać można liczne wydmy, w zachodniej części regionu występuje równina sandrowa, a na wschodzie wytopiska.

Dolina Środkowej Wisły (5.7) to region ukształtowany przez rzekę, która wytworzyła wysokie erozyjne krawędzie i pozostawiła ślady przeszłego przebiegu w postaci starorzeczy. Pod względem geomorfologicznym region ten tworzą głównie holocénskie równiny zalewowe i nadzalewowe. Do regionu tego należy Puszcza Kampinowska (5.7.10) budowana przez formy eoliczne-pola piasków przewianych i wydmy. Jest to największe skupisko form eolicznych w tym regionie, ale wydmy występują również licznie na tarasach Wisły. Miejscami wykształciły się rynny subglacjalne z okresu zlodowacenia bałtyckiego a także równiny torfowe.

Kolejnym regionem należącym do Równin Środkowopolskich jest Ziemia Łowicka (5.8), której fragment należy do województwa mazowieckiego – Równina Błońska (5.8.1), Dolina Dolnej Bzury (5.8.2), Równina Sochaczewska (5.8.3) i Lasy Gostynińskie (5.8.4). Równina Błońska to równina akumulacji zastoiskowej na północy, zdenudowana wysoczyzna morenowa na południu

i równina tarasowa z okresu zlodowacenia bałtyckiego na zachodzie. Dolina Dolnej Bzury to równina tarasowa z okresu zlodowacenia bałtyckiego oraz holocénskie równiny: zalewowa i nadzalewowa. Równina Sochaczewska i Lasy Gostynińskie to obszary zdenudowanej wysoczyzny morenowej i równiny sandrowej. W regionie Lasów Gostynińskich spotyka się rynny subglacjalne z okresu zlodowacenia bałtyckiego oraz ozy.

Kolejnym regionem, który w całości leży w województwie mazowieckim jest Aglomeracja Warszawska (5.9). Pod względem geomorfologicznym jest to głównie zdenudowana wysoczyzna morenowa, równina akumulacji rzeczno-lodowcowej i równina zastoiskowa. Miejscami występują przekształcone rynny subglacjalne z okresu zlodowacenia środkowopolskiego (Równina Piaseczyńska (5.9.3)) oraz plejstocénskie i holocénskie równiny terasowe (Taras Praski 5.9.4).



Ryc. 16. Kompozycja cyfrowej mapy geomorfologicznej Mazowsza.

Fig. 16 Digital geomorphological map of Mazovia composition.

Regionem, który tylko w części leży w granicach administracyjnych województwa mazowieckiego jest Mazowsze Środkowe (5.10). Region ten rozciąga się aż do doliny rzeki Pilicy. Rzeźba tego obszaru to głównie zdenudowana wysoczyzna morenowa, poprzecinana dnami dolin rzecznych z akumulacją holocénską. Miejscami występują równiny denudacji peryglacjalnej, a na Równinie Chojnowskiej (5.10.14) rzeźba urozmaiconą jest rynnami subglacjalnymi z okresu zlodowacenia środkowopolskiego, w których rozwinęły się procesy eoliczne, tworzące dziś zespoły wydmy.

Mazowsze Południowe (5.11) to ostatni region Równin Środkowopolskich położony w części w granicach

województwa mazowieckiego. Charakteryzuje się dużym urozmaiceniem rzeźby w stosunku do pozostałych regionów. Wzdłuż doliny Pilicy występują plejstoceny oraz holoceny równiny zalewowe i nadzalewowe. Rzeźba wykształciła wysoką krawędź erozyjną. W rzeźbie Mazowsza Południowego nadal dominuje zdenudowana równina morenowa oraz akumulacji rzeczno-lodowcowej, ale dużym zasięgiem odznaczają się też inne formy. Równina Radomska (5.11.4) to w części wysoczyzna na zdegradowanych utworach mioceńskich, a południową część regionu cechuje rzeźba wykształcona w postaci niskich płaskowyży, pokrytych resztkami utworów Ize zlodowacenia środkowopolskiego, które są podkreślone załomami erozyjno-denudacyjnymi i kuestami. Podobna rzeźba charakteryzuje Wzniesienia Gliniecko-Szydłowieckie (5.11.5), które dodatkowo urozmaicona jest przez wały morenowe, małe kemy i martwe doliny. Wysoczyzna morenowa występuje także na obszarze Doliny Płzanki (5.11.10), gdzie rozwinęły się także tarasowe równiny plejstoceny i holoceny tarasy. Wschodnia część Mazowsza Południowego charakteryzuje się dużym udziałem form eolicznych, których największe skupiska występują w Puszczy Kozienickiej (5.11.13).

## Wnioski

Szczegółowe kartowanie geomorfologiczne wymaga czasochłonnych i pracochłonnych badań terenowych, które w przypadku tworzenia map dla większych obszarów stają się bardzo kosztowne. Dużym ułatwieniem w opracowaniu map form rzeźby terenu są techniki teledetekcyjne. Dlatego coraz częściej podejmowane są próby ich wykorzystania w badaniu form rzeźby i opracowywaniu map geomorfologicznych. Szczególnie przydatne jest wykorzystanie stereogramów zdjęć lotniczych, dających trójwymiarowy obraz powierzchni Ziemi. Zastosowanie obrazów satelitarnych w geomorfologii jest stosunkowo rzadkie. Obrazy wykonane skanerem Thematic Mapper na satelicie Landsat 5, dzięki korelacji niektórych form z użytkowaniem terenu, pozwalają na uszczegółowienie przebiegu granic tych form rzeźby. Kompozycja barwna 453 wykorzystuje kanał podczerwony, zatem uwydatnia cechy terenowe związane z wodą i roślinnością, dobrze oddaje użytkowanie terenu, co czyni obraz satelitarny ważnym materiałem służącym do analizy geomorfologii. Materiał ten pozwolił w szybki sposób zinterpretować niektóre elementy geomorfologii, dając aktualny ich przebieg. Interpretacja pozostałych form rzeźby wymaga wspierania się materiałami kartograficznymi, z których najbardziej przydatne są mapy geologiczne i topograficzne. Przydatność wymienionych materiałów wynika z wzajemnych relacji między formą rzeźby a utworem budującym tą formę oraz z korelacji niektórych form z kształtem czy gęstością warstw.

Tworzenie cyfrowego zapisu map analogowych, uszczegółowionego dodatkowymi materiałami, pozwala

utworzyć przeglądową mapę, która ze względu na swoją formę może być łatwo uzupełniana lub korygowana przy dostępie do coraz nowszych materiałów. Jest otwartą bazą danych, którą można uzupełniać dodatkowymi informacjami. Ponadto w przeciwieństwie do większości istniejących w Polsce cyfrowych map geomorfologicznych, opracowana mapa powstała w wyniku kompleksowej interpretacji wielu materiałów.

## Literatura

- Binduga J., 2007, *Instrukcja szczegółowej mapy geomorfologicznej w skali 1:50 000*, praca magisterska napisana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Borzuchowski J., 2004, *Cyfrowa mapa geomorfologiczna Polski*, praca magisterska napisana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Ciećwierz A., 2007, *Wielkoskalowa mapa geomorfologiczna 1:50 000 wschodniej części arkusza Knyszyn (N-34-106-B). Studium metodyczne cyfrowej prezentacji*, praca magisterska napisana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Krzmiński J., *Przeglądowa mapa geomorfologiczna 1:300 000 Podlasia*, praca magisterska napisana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Hind D.W., 2006, *GIS Teoria i praktyka*, pod red. A. Magnuszewskiego, PWN, Warszawa.
- Lewczuk G., 2007, *Wielkoskalowa mapa geomorfologiczna zachodniej części arkusza Knyszyn (N-34-106-B). Studium metodyczne cyfrowej prezentacji*, praca magisterska napisana w Katedrze Geoinformatyki i Teledetekcji Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego.
- Mapa geologiczna Polski 1:200 000, 1969-1998*, Państwowy Instytut Geologiczny Myrda G., 1991, *GIS, czyli mapa w komputerze*, Helion, Gliwice.
- Olędzki J.R., 2007, *Regiony Geograficzne Polski*, Teledetekcja Środowiska, T. 38, PTG Warszawa.
- Pasławski J., 2006, *Wprowadzenie do kartografii i topografii*, Wydawnictwo Nowa Era, Wrocław.
- Przeglądowa Mapa Geomorfologiczna Polski 1:500 000, 1981*, Inst. Geogr.Przest. Zagosp. PAN.
- Starkel L., Gilewska S., Klimek M., *Legend for the geomorphological map of Poland 1:500 000*, PAN, Kraków.
- Urbański J., 1997, *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*, PWN, Warszawa.
- Wasilewski M., Chormański J., 2003, *Możliwości wykorzystania teledetekcji do określenia terenów podtopionych w Dolnym Basenie rzeki Biebrzy*, [http://iks\\_pn.sggw.pl/z29/art8.pdf](http://iks_pn.sggw.pl/z29/art8.pdf).
- Wołk-Musiał E., 1992, *Fotointerpretacyjna mapa geomorfologiczna 1:50 000, arkusz Choroszcz, opracowana numerycznie*, Teledetekcja Środowiska, tom 22, s. 81-98.
- Wołk-Musiał E., Zagajewski B., 2000, *Analiza geomorfologiczna terenu z zastosowaniem systemów informacji geograficznej*, Teledetekcja Środowiska, tom 31 s. 137- 142.
- Wolk-Musiał E., Zagajewski B., 2000. *Lithological and geomorphological large-scale mapping using GIS, remotely sensed data and terrain analysis*. In: Casanova J.L. (red.) Proceed-



ings of the 19th EARSeL Symposium "Remote Sensing In the 21th Century: Economic And Environmental Applications". Valladolid, Spain 31.05.–2.06.1999. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam.

Wolk-Musial E., Lewinski St., Zagajewski B., 2002, *Geomorphological Map (Tykocin sheet). Methodology*. W: Proceedings of the 21st EARSeL Symposium. Observing our Environment from Space. New Solutions for a New Millennium. Marne-la-Vallée/Paris 14–16.05.2001. A.A. Balkema Publishers, Lisse.

Zagajewski B., 2007, *Cyfrowe przetwarzanie obrazów w Erdas Imagine 8.4*, [http://telegeo.wgsr.uw.edu.pl/bz/Zagajewski\\_cyfrowe\\_przetwarzanie\\_obrazu\\_Erdas.pdf](http://telegeo.wgsr.uw.edu.pl/bz/Zagajewski_cyfrowe_przetwarzanie_obrazu_Erdas.pdf).

[http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/badaniad\\_mapa\\_ak.php](http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/badaniad_mapa_ak.php)  
[http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/files/Krygowski\\_koperta.pdf](http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/files/Krygowski_koperta.pdf)  
[http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/files/Karczewski\\_koperta.pdf](http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/files/Karczewski_koperta.pdf)  
[http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/files/Karczewski\\_poster.pdf](http://geoinfo.amu.edu.pl/igig/files/Karczewski_poster.pdf)  
<http://www.geoportal.gov.pl>  
<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>  
<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>  
<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=welcome> (ArcGisDesktop Help)  
<http://wojman.bloog.pl/id,1323622,title,Numeryczna-mapa-geomorfologiczna-Wysoczyzny-Torzymskiej,index.html?ticaid=6a2fe>



Mgr Milena Napiórkowska jest absolwentką Wydziału Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego na specjalności geoinformatyka. Oprócz wykształcenia geograficznego, posiada licencjat na kierunku gospodarka przestrzenna. Zainteresowania naukowe koncentrują się wokół praktycznego zastosowania Systemów Informacji Geograficznej. Adres e-mail: milnap@wp.pl