

**STOSOWANIE TECHNOLOGII GIS
ORAZ MODELOWANIA TRÓJWYMIAROWEGO
W BADANIACH GEOLOGICZNYCH
STREFY BRZEGOWEJ**

**USING GIS TECHNOLOGY AND 3D MODELING
IN COASTAL ZONE GEOLOGICAL STUDIES**

**Paweł Terefenko¹, Tomasz Boski², Kazimierz Furmańczyk¹,
Anna Mazurkiewicz¹**

¹ Zakład Teledetekcji i Kartografii Morskiej, Instytut Nauk o Morzu, Uniwersytet Szczeciński

² Centro de Investigação Marinha e Ambiental, Universidade do Algarve, Portugal

Słowa kluczowe: GIS, modelowanie trójwymiarowe, geologia

Keywords: GIS, 3D modeling, geology

Wstęp

Wraz z dynamicznym rozwojem systemów informacji geograficznej (GIS) sukcesywnie zwiększał się zakres ich zastosowania w różnych dziedzinach wiedzy. Dzięki rosnącym zdolnościom obliczeniowym narzędzi do przetwarzania informacji stoją one na wysokim poziomie i mogą służyć jako bardzo użyteczne narzędzia wspomagające różnorodne badania. Jednym z aspektów, w którym nowe zastosowania GIS są bardzo pożyteczne jest strefa współoddziaływania lądu i morza.

W badaniach morskiej strefy brzegowej istotna jest świadomość, że jest to jedna z najbardziej dynamicznych stref. Zachodzące w niej procesy prowadzą jednak nie tylko do bardzo wyraźnych zmian chwilowych, ale również do często słabo zauważalnych na przestrzeni krótkiego okresu czasu zmian długoterminowych. Obecność tych drugich jest natomiast bardzo dokładnie odzwierciedlona w badaniach geologicznych tej strefy.

Systemy informacji geograficznej pozwalają efektywnie przetwarzać dane zapisane w trójwymiarowej przestrzeni z uwzględnieniem czwartego elementu, jakim jest czas. Umożliwiają szybki dostęp do bazy danych oraz przeprowadzanie analiz stanu przeszłego, obecnego i symulacji stanów przyszłych. Ułatwia to wyciąganie poprawnych wniosków w zmieniających się warunkach oraz tworzenie w miarę potrzeb różnych wariantów rozwiązań. Dzięki tak wielkim możliwościom analitycznym, GIS staje się doskonałym narzędziem do zastosowań w tak delikatnym i wrażliwym obszarze jakim jest strefa brzegowa, a element czasu pozwala na analizy nawet zmian geologicznych zachodzących na przestrzeni wieków.

Charakterystyka obszaru badań

Przykładem wykorzystania systemów GIS, a zwłaszcza wizualizacji 3D, w badaniach geologicznych strefy brzegowej jest projekt badań sedimentologicznych w estuarium rzeki Guadiany. Źródła Guadiany znajdują się w południowej części La Manchy. W górnym i środkowym biegu rzeka płynie ku zachodowi przez obszary kotliny Nowej Kastylji. W dolnym biegu przybiera kierunek południowy, płynie wschodnim skrajem wyżyny Alantejo i Algarve i uchodzi do Zatoki Kadyksu.

Guadiana jest jedną z głównych rzek na Półwyspie Iberyjskim o całkowitej długości 730 km, z których ostatnie 200 km formuje naturalną granicę pomiędzy Portugalią a Hiszpanią. Na tym obszarze swojego biegu, ze względu na odporny materiał skalny, rzeka wcinała się w podłoże przez co nie mogła utworzyć szerokiej doliny, w konsekwencji czego powstał wąski i głęboki kanał. Koryto rzeki jest wcięte w hercyńską podstawę zawierającą węglowe łupki krystaliczne i szarogłazy o północno-południowym kierunku upadu, ukształtowanym podczas czwartorzędu (Vidal, 1993). Model podstawy doliny rzecznej ukształtowany został głównie przez opór stawiany rzecznej erozji przez skały krystaliczne. Przykryta dziś osadami, położona na 7 km wewnątrz ujścia dolina jest wąska i głęboka: 600 m szerokości i 70 m głębokości poniżej dzisiejszego poziomu morza. Tylko końcowe 5 km doliny rzecznej jest podkreślone przez kredowe i jurajskie skały wapienne, które umożliwiają szersze otwarcie estuarium, lokujące dziś obszerne słone bagna po obu stronach wlotu. Dopiero w rejonie przymorskim, rzeka była w stanie wyciąć nieznacznie szerszą dolinę, przepływając w poprzek Basenu Guadalquivir. Część ta została prawie kompletnie zatopiona podczas transgresji i przekształcona została w małą, płytką zatoczkę (Morales, 1997).

Wraz ze wzrostem poziomu morza rozpoczęło się wypełnianie estuarium osadami morskimi. Holocenijskie osady postglacjalnej transgresji zdeponowane zostały bezpośrednio na obszarze delty na żwirach i piaskach fluwialnych, osadzonych prawdopodobnie pomiędzy 11 000 a 10 000 lat temu. Przyspieszenie okresu wypełniania estuarium przez osady gliniaste rozpoczęło się 9800 lat temu, kiedy poziom morza znajdował się około 39 metrów poniżej obecnego. Pomiędzy 7500 a 7000 lat wstecz, w centralnej części estuarium zaczęły gromadzić się słabo obtoczone osady, częściowo wprowadzane z szelfu kontynentalnego (Boski, 2002). Ta pierwsza faza holocenijskiego wzrostu poziomu morza datowana jest na około 6500 lat wstecz. Po drugim okresie wolniejszego wzrostu poziomu i sedymentacji w przeważającej części piasków do około 5000 roku p.n.e. morze osiągnęło obecny poziom (Dias, 2000).

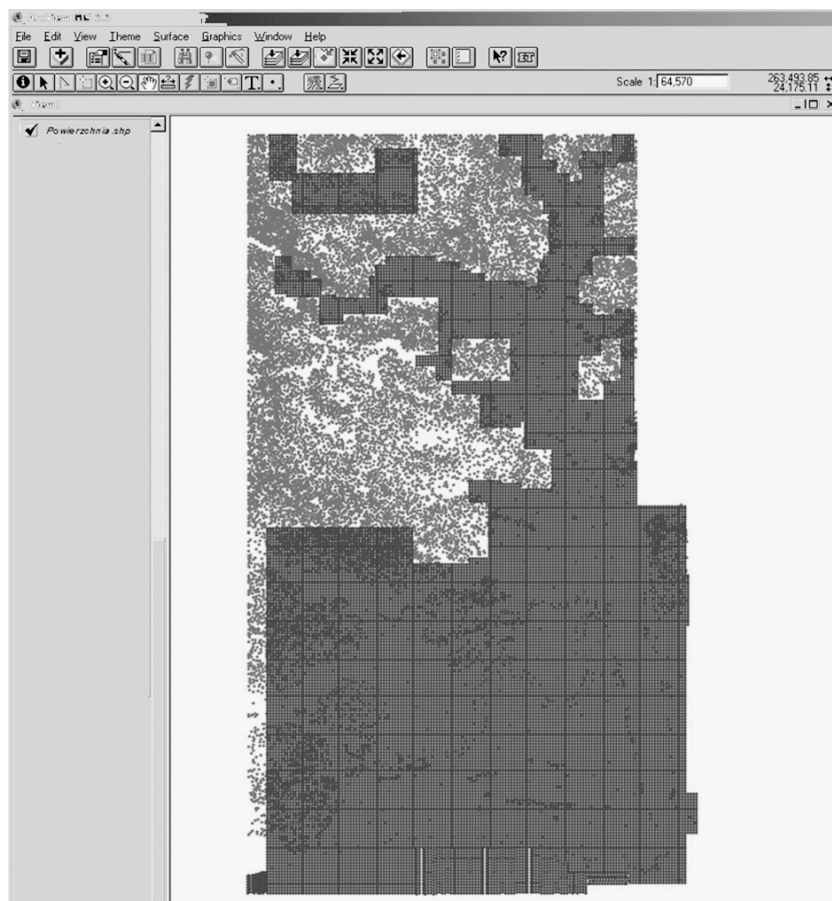
Dzięki tak szybkiej sedymentacji podczas najbardziej współczesnej, postglacjalnej transgresji, estuaryjne zapisy osadów stwarzają doskonałe warunki do badań kolejności zdarzeń, które wpłynęły na obecną morfologię wybrzeża. W celu sprawdzenia dotychczasowych wyników badań oraz pozyskania nowych uzupełniających informacji dotyczących rozwoju doliny Guadiany zdecydowano się by w badaniach jej ujściowego odcinka zastosować analizy dostępne w systemach GIS.

Materiały i analiza

Każdy system GIS składa się ze sprzętu, oprogramowania i procedur. Przeznaczony jest do zbierania, zarządzania, manipulowania, analizowania, modelowania i wizualizacji danych odniesionych przestrzennie (Okła, 2000). Spełniając warunek odpowiedniego sprzętu i opro-

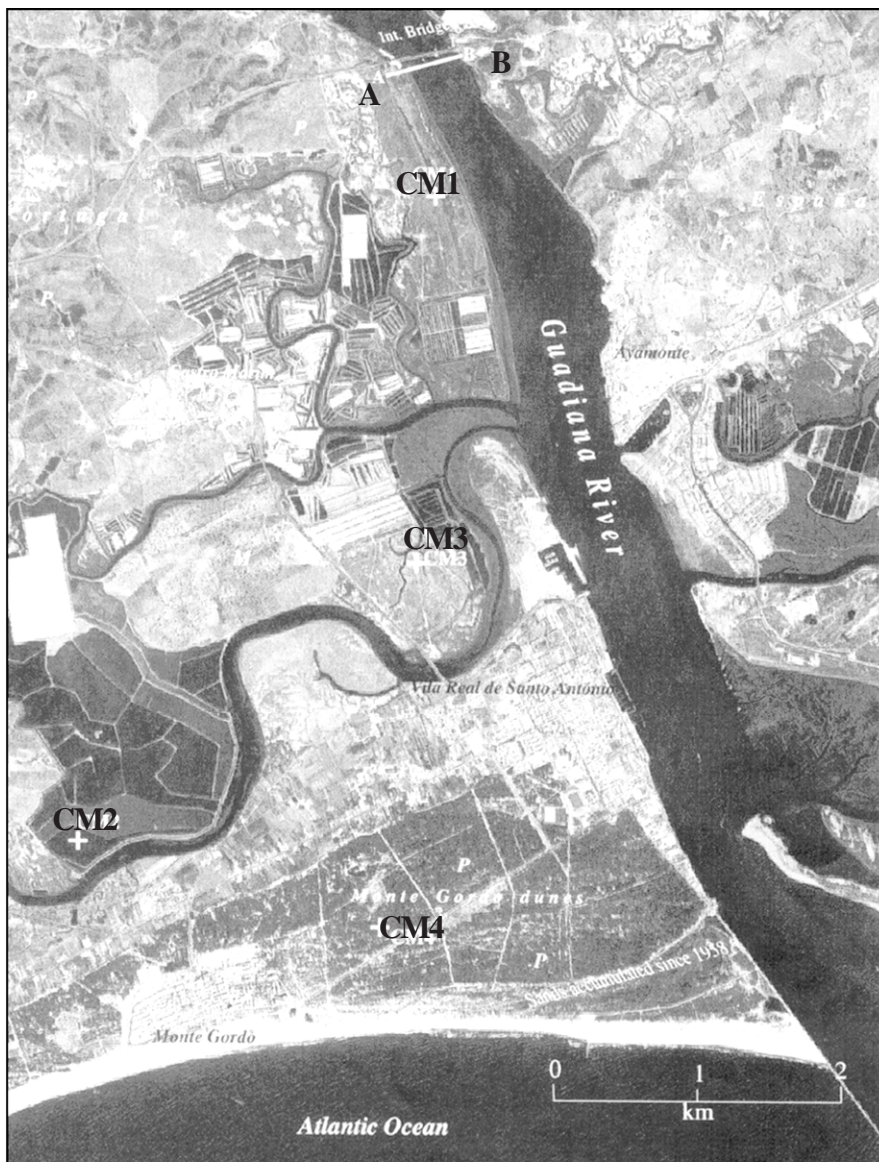
gramowania, na sprawę podstawową do otrzymania właściwych wyników wyrasta poprawne zebranie danych oraz skonstruowanie odpowiedniej do aktualnych badań bazy danych. Jednocześnie wykorzystując GIS do badań sedimentologicznych należy przygotować dane w maksymalnie elastycznej formie, tak aby zarządzanie nimi i tworzone na ich podstawie analizy były jak najbardziej efektywne. W tym celu przeprowadzono różnorodne działania, wśród których do najważniejszych należały pozyskanie danych o ukształtowaniu terenu oraz danych z badań geofizycznych i wierceń.

Dane dotyczące ukształtowania terenu udostępnione zostały przez Uniwersytet Algarve w postaci warstwy punktów wysokościowych wykonanej w programie ArcView GIS. Warstwa zawierająca 19 547 punktów wysokościowych uzupełniona została kolejną, utworzoną za pomocą narzędzia Edit Tools, warstwą z regularną siatką punktów wysokościowych. Wartości wysokości wszystkich punktów odczytane zostały z mapy topograficznej w skali 1:25 000 wydanej przez Urząd Kartografii (*Servisco Cartografico*) w Lizbonie w 1976 roku. Z połączenia tych danych utworzono ostatecznie jedną warstwę zawierającą ponad 47 000 punktów, przedstawiającą pełną rzeźbę badanego terenu (rys. 1).



Rys. 1. Warstwa punktów wysokościowych wykorzystanych do przedstawienia rzeźby terenu wykonana w programie ArcView

W wyniku badań geofizycznych otrzymano zestaw punktów wraz z dokładną ich lokalizacją oraz wartością względną głębokości zalegania warstwy krystalicznej pod osadami postglacjalnej transgresji. Informacje na temat struktur wypełnienia osadami uzyskano z czterech kolejno wierconych rdzeni wykonanych przy użyciu wiertni WIRTH BO przez Portugalski Instytut Geologiczny (IGM), pobranych na obszarze estuarium oraz z próbek kompletnego układu osadów zakumulowanych od czasu ostatniego glacialnego maksimum (rys. 2).



Rys. 2. Lokalizacja miejsc wierceń oraz poboru rdzeni: CM1, CM2, CM3 i CM4, AB linia profilu przez osady doliny prezentowanego na rysunku 6

Badania te obejmują historię Holocenu w końcowej części głównego biegu rzeki. Wykorzystując dane z obu źródeł, na nowo utworzonej warstwie regularnych punktów rozmieszczonych co 50 metrów, każdemu punktowi nadano wartość głębokości zalegania krystalicznej podstawy estuarium. Otrzymano w ten sposób obraz zalegającej pod osadami, sięgającymi czasami nawet do 75 metrów miąższości, podstawy krystalicznej doliny. Aby otrzymać pełen obraz istniejącej 13 000 tysięcy lat temu pradoliny przedstawiono na jednej warstwie otrzymaną w wyniku wykorzystania badań geologicznych warstwę zalegania podstawy krystalicznej pokrytej osadami holocenijskimi oraz uzupełniono ją informacjami na temat rzeźby obszarów skał krystalicznych do dziś nie pokrytych osadami, czyli skał wciąż pozostających na powierzchni. W ten sposób udało się przygotować dane, które posłużyły do stworzenia modelu, a następnie do wykonania wszystkich obliczeń powierzchni oraz objętości.

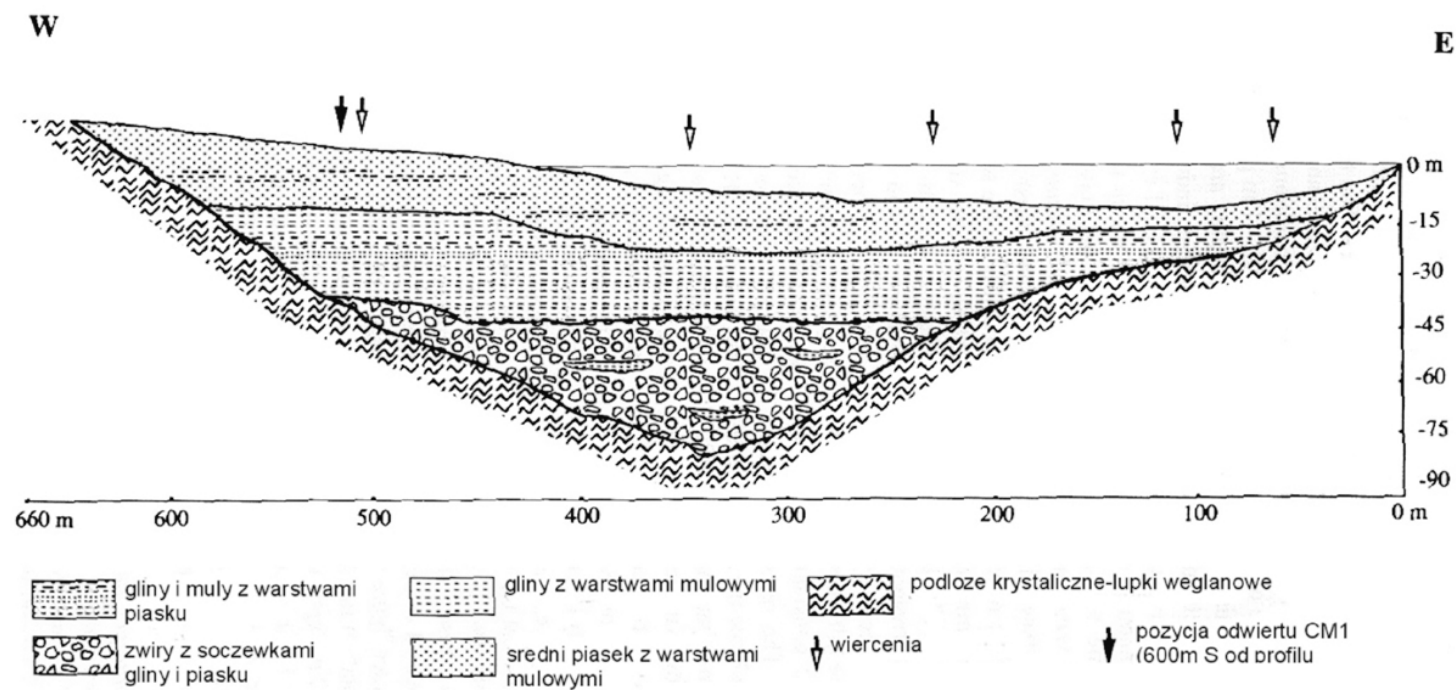
Posiadając niezbędne dane, przystąpiono do konstruowania trójwymiarowego modelu krystalicznej powłoki częściowo zalegającej pod holocenijskimi osadami, a częściowo znajdującej się na powierzchni. Dla celów analizy, korzystając z przygotowanych wcześniej danych, stworzono również model ukształtowania powierzchni dolnego odcinka rzeki Guadiany. Do przedstawienia obu modeli wykorzystano rozszerzenie 3D Analyst do oprogramowania ArcView 3.3. firmy ESRI. Do stworzenia obu modeli powierzchni zdecydowano się wykorzystać model TIN (*Triangulated Irregular Network*). Dla celów prezentacji zdecydowano się przedstawić oba powstałe w ten sposób modele powierzchni (rys. 3) w postaci wizualizacji 3D dostępnej w oprogramowaniu ArcView (rys. 4 i 5).

Na podstawie analiz sedymentologicznych wykonanych na pobranych rdzeniach wydzielono od trzech do siedmiu jednostek litologicznych. Dla każdej z nich określono maksymalne i minimalne głębokości zalegania. Uzupełniając wyniki analiz rdzeni danymi z badań geofizycznych (lekkie profilowanie sejsmiczne) wyłoniono trzy podstawowe jednostki litologiczne: żwiry, gliny i muły oraz piaski (Boski i in., 2002). Rozkład oraz głębokości ich zalegania w dolinie Guadiany przedstawiono wzdłuż linii AB przedstawionej na rysunku 2, dla którego wykonano przekrój przez wypełnienie doliny osadami postglacjalnymi (rys. 6).

Zakończywszy etap zbierania i przygotowania danych przystąpiono do pierwszych analiz. Podstawowym celem analizy było wykonanie szacunkowych obliczeń objętości znajdujących się w dolinie Holocenijskich osadów. Wykorzystując przygotowany wcześniej przekrój zalegania osadów (rys. 6) uogólniono go dla całej doliny i wykorzystano jako podstawę do wyliczenia przybliżonej średniej głębokości zalegania każdej z wyodrębnionych wcześniej warstw osadów. Do celów analizy złożono również wzajemną równoległość wszystkich trzech warstw i ustalono wartość zalegania piasków do głębokości -15 metrów, glin do -41 metrów oraz żwirów do maksymalnej głębokości -75 metrów. Używając funkcji *Area and volume statistics* dostępnej w rozszerzeniu 3D Analyst wykonano obliczenia objętości oraz powierzchni każdej z warstw osadów (tab.1).

Tabela 1. Objętość oraz powierzchnia zajmowane przez trzy podstawowe warstwy osadowe doliny Guadiany

	Objętość [m ³]	Powierzchnia [m ²]
Żwiry	200 043 283,9	12 828 998,7
Gliny i muły	605 319 961,3	32 864 757,3
Piaski	1 032 498 540,0	51 134 405,1



Rys. 6. Przekrój przez wypełnienie osadowe doliny Guadiany (Boski i in., 2002)

Wnioski

Uzyskane w wyniku analizy dane pozwoliły na określenie tempa sedymentacji oraz analizę innych aspektów i procesów geologicznych jakie miały miejsce w okresie postglacjalnym w dolinie Guadiany. Potwierdziły one również wcześniejsze wnioski dotyczące dużo większego tempa sedymentacji w okresie od około 13 000 do 6500 lat wstecz niż w okresie późniejszym.

Pomimo istnienia dużej liczby niewiadomych i przyjęcia w ich miejsce założeń takich jak: uogólnienie jednego przekroju dla całej doliny oraz założenie równoległości warstw osadowych, otrzymane wyniki są dobrym uzupełnieniem dla badań geologicznych w dolinie Guadiany. Docelowo proponowane jest zwiększenie liczby wierceń, co pozwoliłoby na wyeliminowanie założeń i zastąpienie ich dokładnymi danymi, co jednocześnie oznaczałoby stworzenie dużo precyzyjniejszego modelu rozkładu osadów w dolinie.

Powyższa praca wykazuje, że możliwość skorzystania z trójwymiarowego modelowania dostępnego w systemach GIS w znaczący sposób ułatwiła, a zarazem uzupełniła analizę geologiczną osadów zalegających w dolinie Guadiany. Jednocześnie stanowi przykład wykorzystania możliwości jakie oferują systemy informacji przestrzennej w tak bardzo ukierunkowanych dziedzinach nauki jaką stanowią badania geologiczne.

Literatura

- Boski T., Moura D., Veiga-Pires C., Camacho S., Duarte D., Scott D.B., Fernandes S.G., 2002: Postglacial sea-level rise and sedimentary response in Guadiana Estuary, Portugal/Spain border. *Sedimentary Geology* No. 150.
- Dias J.M.A., Boski T., Rodrigues A., Magalhães F., 2000: Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until present – a synthesis. *Marine Geology* No. 170.
- Morales J.A., 1997: Evolution and facies architecture of the mesotidal Guadiana River delta (S.W. Spain-Portugal)”. *Marine Geology* No. 138.
- Okła K., 2000: Systemy Informacji Przestrzennej w Lasach Państwowych. Bogucki Wydawnictwo Naukowe S.C.
- Vidal J.R., Cáceras L.M., Ramirez A.R., 1993: Modelo evolutivo da rede fluvial Cuaternaria en el suroeste de la peninsula Iberica. Actas 3a Reuniao do Quaternário Ibérico, Universidade de Coimbra.

Summary

The study of sedimentological features in the Guadiana River Estuary on the Portugal and Spanish border is an excellent example of making use of the GIS systems and especially 3D models.

This Estuary is a part of southernmost area of Portugal and the Guadiana River is one of the most important rivers on the Iberian Peninsula. Due to rapid sedimentation during the most recent postglacial transgression, estuarine sedimentary records offer an excellent opportunities to study the sequence of events which have led to the present morphology of the coast.

Based on the sedimentological records, macro and micro paleontological data and C14 dates an information about the deep structure of Guadiana valley infill was gained. Also data about the depth of the sediment layers occurrence was defined. With the use of all gained data two 3D models representing both the actual surface relief and the relief of the delta from about 13000 year ago were created. Prepared models were used to calculate the area and volume for all of the distinguished sediment

layers. Data gained in this process allowed for more detailed analysis of the pace of sedimentation and sea level rise as well as other aspects and geological processes which took place in the Estuary of Guadiana River.

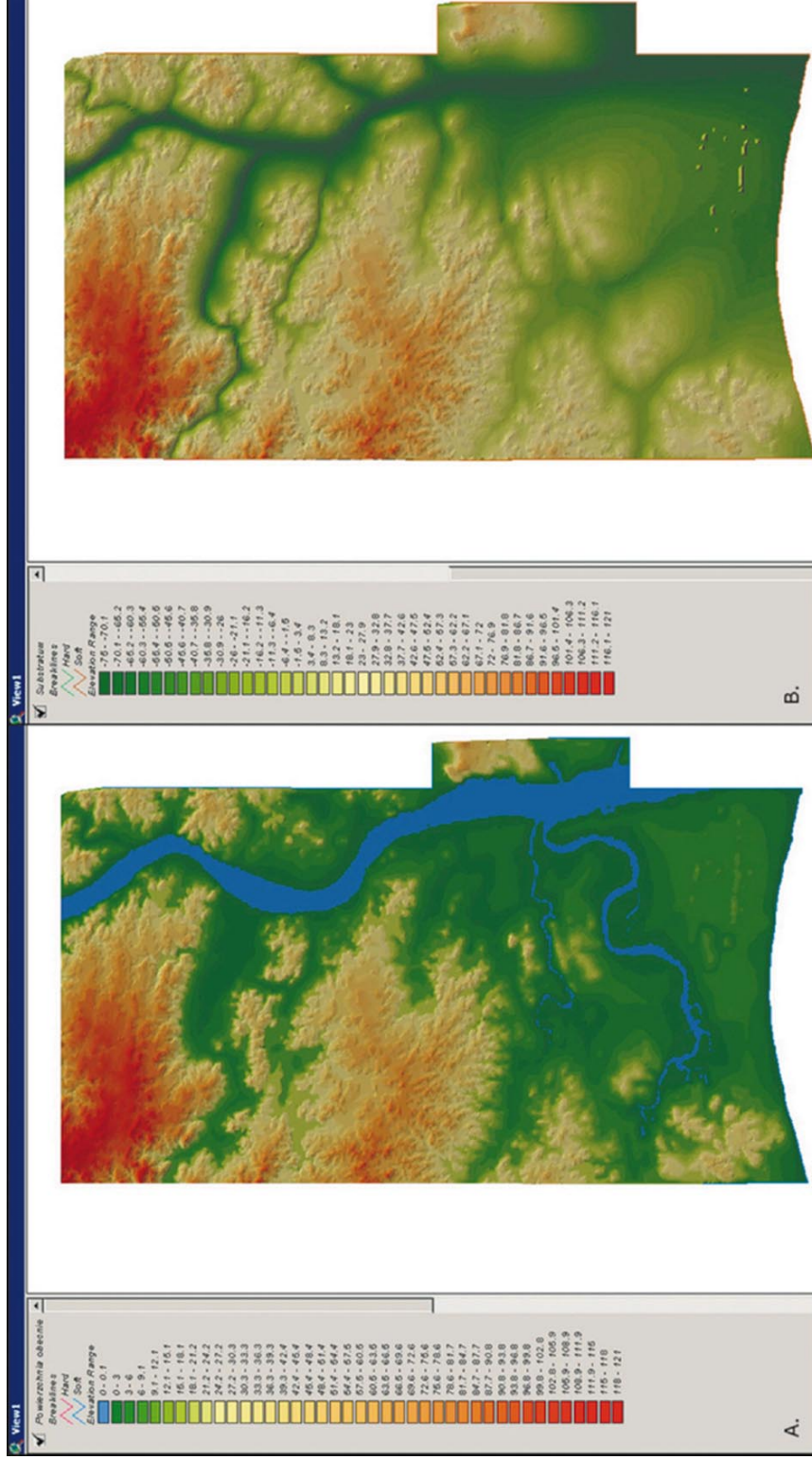
mgr Paweł Terefenko
teref@sus.univ.szczecin.pl

prof. dr Tomasz Boski
<http://www.ualg.pt>

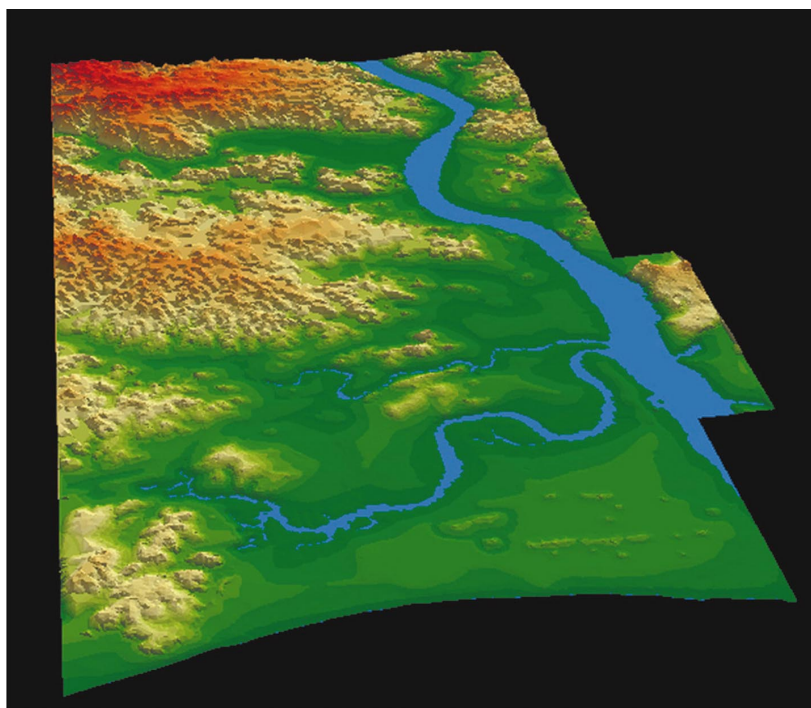
dr hab. Kazimierz Furmańczyk, prof. US
kaz@sus.univ.szczecin.pl

Anna Mazurkiewicz
studentka

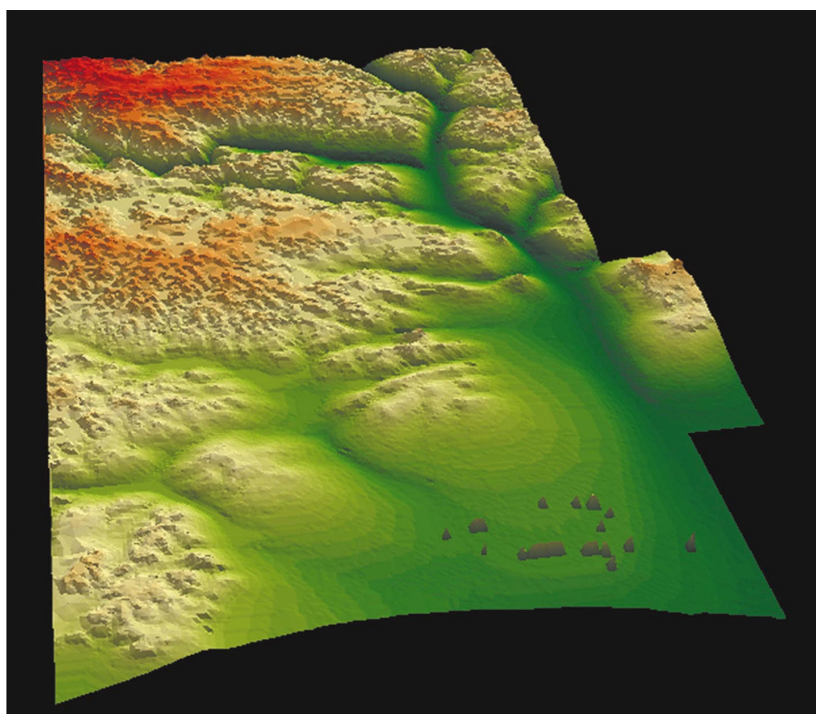
tel. (091) 444 16 00



Rys. 3. Model TIN przedstawiający: A – model współczesnej doliny, B – model paleodoliny



Rys. 4. Wizualizacja 3D modelu współczesnej doliny ujściowego biegu Guadiany



Rys. 5. Wizualizacja 3D modelu paleodoliny doliny ujściowego biegu Guadiany