



**Mariusz Szubert**

**CYFROWY MODEL WYSOKOŚCI  
POWIERZCHNI PODCZWARTORZĘDOWEJ  
NA WYŻYNIE WOŹNICKO-WIELUŃSKIEJ**

**DIGITAL ELEVATION MODEL OF THE BASE QUATERNARY  
SURFACE ON THE WOŹNIKI-WIELUŃ UPLAND**

*Akademia Pedagogiczna w Krakowie, Instytut Geografii, Zakład Geografii Fizycznej  
Cracow Pedagogical University, Institute of Geography, Physical Geography Division*

STRESZCZENIE. W publikacji przedstawiono doświadczenia w zastosowaniu metod komputerowej interpolacji do opracowania cyfrowego modelu wysokości powierzchni podczwartorzędowej. Staranny dobór metody interpolacji oraz jej parametrów ma w tym przypadku szczególne znaczenie, gdyż przedmiot badań nie jest dostępny do bezpośredniej obserwacji. Metoda interpolacji musi być tak dobrana, aby DEM był jak najbardziej zbliżony do rzeczywistości. Powierzchnię podczwartorzędową zrekonstruowano w oparciu o 6553 punkty pomiarowe (dane z odwiertów oraz mapy geologicznej) na obszarze ok. 800 km<sup>2</sup>. Zastosowano cztery metody interpolacji: odwrotnych odległości, najmniejszej krzywizny, krigingu oraz radialnych funkcji bazowych w programie „Surfer”. Najlepszą okazała się metoda krigingu standardowego z odpowiednio dobranym modelem semiwariogramu. O wyborze tej metody zdecydowały: poprawność kartograficzna rysunku poziomowego oraz najmniejsze odchylenia wyinterpolowanej powierzchni wzdłuż kilku profili wykonanych na podstawie odwiertów.

SŁOWA KLUCZOWE: grid, metody interpolacji, kriging, powierzchnia podczwartorzędowa

## 1. WSTĘP

Jednym z ważnych zagadnień w badaniach paleogeograficznych obszarów przykrytych skałami czwartorzędowymi jest rekonstrukcja rzeźby podczwartorzędowej<sup>1</sup>.

Z reguły ukształtowanie (hipsometria) powierzchni podczwartorzędowej nie odzwierciedla się we współczesnej rzeźbie terenu. Często rzeźba podczwartorzędowa

<sup>1</sup> Rzeźba podczwartorzędowa jest to rzeźba znajdująca się pod pokrywą skał czwartorzędowych, głównie plejstoceniowych. Niektóre jej elementy mogą odzwierciedlać się w rzeźbie współczesnej, szczególnie na obszarach, gdzie pokrywa skał polodowcowych nie jest gruba. Jest to rzeźba ukształtowana przed zlodowaceniami, a następnie przekształcona przez lądolody i procesy geomorfologiczne w czasie interglacjalów.

znacznie różni się od rzeźby współczesnej m.in. w zakresie wysokości względnej form wypukłych, głębokości dolin, układu dolin oraz ich spadków.

Opracowanie DEM powierzchni podczwartorzędowej daje możliwość odtworzenia jej hipsometrii, rekonstrukcji rzeźby podczwartorzędowej oraz ukazania jej związków z budową geologiczną (litologią skał podłoża i ich odpornością na denudację oraz tektoniką). Jest to podstawą wnioskowania o rozwoju paleogeograficznym obszaru zarówno przed zlodowaceniem jak i o przekształceniu rzeźby przedczwartorzędowej w plejstocenie.

DEM powierzchni podczwartorzędowej powstał w oparciu o dane z odwiertów przebijających pokrywę skał czwartorzędowych. Najważniejszym zatem problemem był wybór metody interpolacji oraz optymalny dobór jej parametrów, tak aby otrzymany obraz powierzchni podczwartorzędowej był możliwie jak najbardziej zbliżony do sytuacji rzeczywistej.

Wiele regionów Polski ma dobrze opracowane podłoże czwartorzędowe: mezoregiony Wyżyny Lubelskiej, Rostocza, Niziny Wielkopolskiej, Wyżyny Śląsko-Krakowskiej. Powierzchnię podczwartorzędową rekonstruowano na podstawie interpolacji. Opracowania te pomijają jednak metodyczny aspekt interpolacji, co wynika prawdopodobnie z faktu wykorzystania tradycyjnych jej metod. Brak jest również informacji o wykorzystaniu programów komputerowych do tego celu.

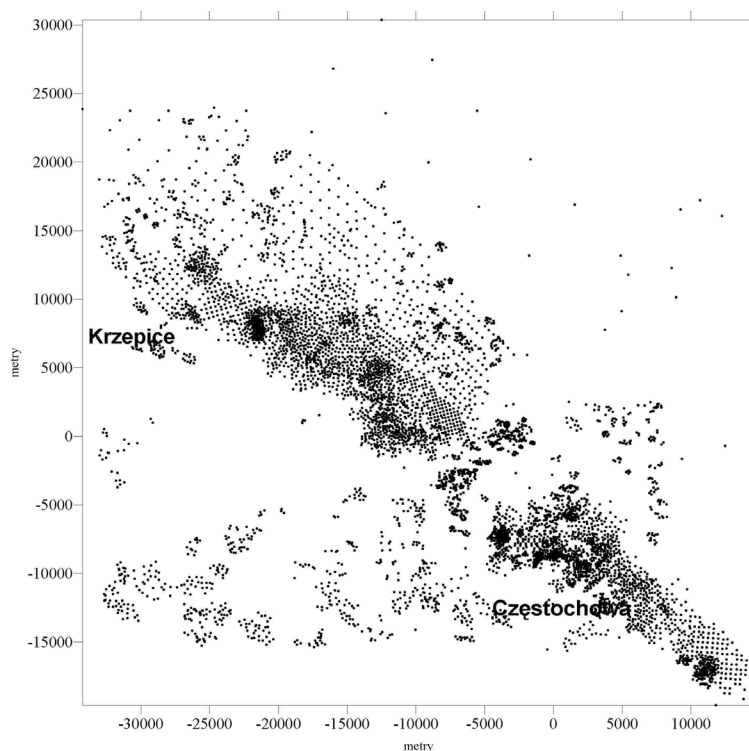
Południowa część Wyżyny Woźnicko-Wieluńskiej jest dobrym poligonem do oceny przydatności algorytmów komputerowej interpolacji do rekonstrukcji powierzchni podczwartorzędowej. Jest to obszar gęsto, a w niektórych miejscach bardzo gęsto rozwiercony. Na podstawie danych z odwiertów rozpoznano fragmenty większych dolin ok. pra-Warty i Wielkiego Boru. Jednak dopiero zastosowanie komputerów wraz z odpowiednim oprogramowaniem (program Surfer v.8<sup>2</sup>) umożliwiło pełne wykorzystanie bogatej bazy danych. Dzięki temu uzyskano syntetyczny obraz rzeźby podczwartorzędowej na obszarze ok. 800 km<sup>2</sup> położonym w międzyrzeczu Warty i Liswarty, pomiędzy Krzepicami i Częstochową.

## 2. ROZMIESZCZENIE PUNKTÓW POMIAROWYCH

Do kluczowych czynników mających wpływ na „jakość” rysunku poziomicowego ma ilość i rozmieszczenie punktów pomiarowych na badanym terenie. Trudno uznać za dostatecznie wiarygodną hipsometrię odtworzoną w oparciu o kilka odwiertów znacznie od siebie oddalonych. Niestety, dość często zdarza się, że autorzy opracowań komputerowych uważają, że zastosowanie interpolacji komputerowej umożliwia dostatecznie dobre odtworzenie powierzchni kopalnych nawet przy znikomej ilości danych. Niekorzystny wpływ na wyniki interpolacji ma nadmierna koncentracja punktowa lub linowa punktów pomiarowych. Najlepsze byłoby równomierne rozmieszczenie ich rozmieszczenie.

Do opracowania DEM wykorzystano 6553 punkty pomiarowe. Spośród nich 4867 to odwierty wykonane przez Częstochowskie Przedsiębiorstwo geologiczne, a pozostałe 1686 to punkty zlokalizowane na arkuszach Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000 w obrębie wychodni skał podłoża podczwartorzędowego. Odwierty rozmieszczone są w siatce prostokątnej. Największe ich zagęszczenie występuje w środkowej części badanego obszaru. Dysproporcje w rozmieszczeniu punktów pomiarowych znalazły odzwierciedlenie w szczegółowości rysunku poziomicowego.

<sup>2</sup> Licencja nr WS-059700-1261, użytkownik: Instytut Geografii AP w Krakowie.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych  
Fig. 1. Distribution of data points

### 3. WYBÓR METODY INTERPOLACJI

Przy wyborze metody interpolacji brano pod uwagę cechy szczególne algorytmów, które wskazują na możliwości ich wykorzystania do opracowania konkretnych zjawisk oraz cechę wspólną – stopień wpływu punktów pomiarowych na otoczenie węzła grid zależny od sposobu ich rozmieszczenia na badanym obszarze i gęstości grid.

Wybór metody interpolacji przebiegał następująco:

- etap I: interpolacja każdą z 10 metod interpolacji zawartych w programie „Surfer”, przy jednakowych parametrach grid i automatycznie dobranym przez program kształcie i zasięgu obszaru wpływu punktów pomiarowych,
- etap II: selekcja metod,
- etap III: weryfikacja wyników uzyskanych za pomocą wybranych metod,
- etap IV: wybór najlepszej metody,
- etap V: ocena wpływu zmian gęstości grid oraz kształtu i zasięgu wpływu punktów pomiarowych w wybranej metodzie na obraz hipsometrii powierzchni podczwartorzędowej,

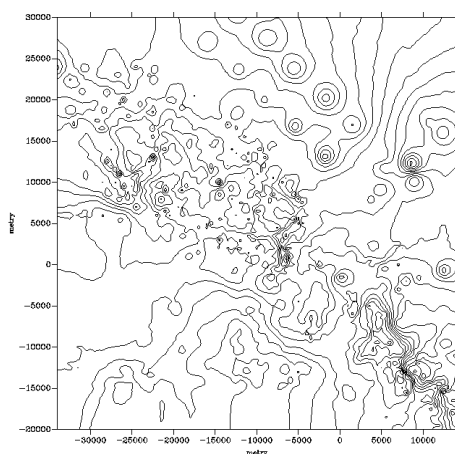
– etap VI: weryfikacja uzyskanych wyników.

W pierwszym etapie przeprowadzono interpolację w oparciu o siatkę kwadratów o boku 100 m. Zadowalające wyniki uzyskano w przypadku następujących metod: odwrotnych odległości, krigingu standardowego, minimalnej krzywizny oraz radialnych funkcji bazowych. Następnie zweryfikowano uzyskane obrazy hipsometrii podłoża czwartorzędu poprzez porównanie rysunku poziomnicowego z kilkudziesięcioma profilami wykonanymi na podstawie odwiertów. Najmniejsze odchylenia wyinterpolowanej powierzchni na liniach profili były przy metodzie krigingu, również w tych częściach badanego obszaru, gdzie siatka odwiertów była rzadka. Stało się to podstawą wyboru tej metody do opracowania DEM.

### 3.1. Metoda odwrotnych odległości

W metodzie tej przyjmuje się, że wpływ punktów pomiarowych maleje wraz z odległością podniesioną do potęgi. Im większy wykładnik, tym mniejsze znaczenie mają dalej położone punkty pomiarowe (Magnuszewski, 1999).

Zastosowano wykładnik = 2. W rysunku poziomnicowym zwracają uwagę koncentrycznie ułożone poziomice w północno-wschodniej części badanego obszaru, wokół punktów pomiarowych znajdujących się w znacznych odległościach w siatce prostokątnej. Jest to tzw. efekt „wolicz oczu”. Mankament ten zanikał przy zmniejszaniu wykładnika, a wzmacniał się przy jego zwiększaniu. Jest to związane ze zmianą zasięgu oddziaływania punktów pomiarowych w zależności od wielkości wykładnika. Większy wykładnik osłabiał znaczenie dalszych punktów pomiarowych, więc wokół pojedynczych punktów poziomice ułożyły się koncentrycznie.

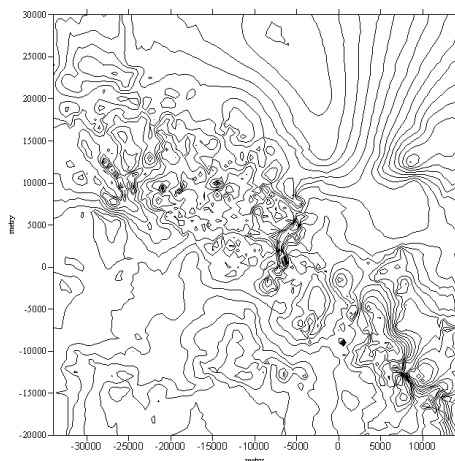


Ryc. 2. Interpolacja metodą odwrotnych odległości.  
Fig. 2. Interpolation by the Inverse Distance to a Power method.

### 3.2. Interpolacja metodą krigingu

W metodzie tej założono zależność pomiędzy oddaleniem punktów a stopniem ich prawdopodobieństwa wyrażoną semiwariancją – funkcją obrazującą autokowariancję przestrzenną, czyli podobieństwo punktów pomiarowych w funkcji odległości. Jeśli odległość pomiędzy punktami pomiarowymi wzrasta rosną również różnice pomiędzy nimi, aż do zaniku podobieństwa po przekroczeniu tzw. promienia oddziaływania (Magnuszewski, 1999).

We wstępnej analizie zastosowano liniowy model semiwariogramu (wykres semiwariancji w funkcji odległości) – zakładający liniową zależność pomiędzy semiwariancją i odległością punktów, z pominięciem promienia oddziaływania punktów pomiarowych.

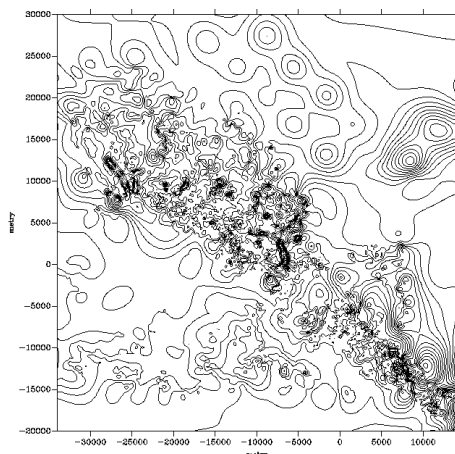


Ryc. 3. Interpolacja metodą krigingu  
Fig. 3. Interpolation by the Kriging method

Rysunek poziomicowy uzyskany za pomocą krigingu wykazywał największą spośród analizowanych przykładów zgodność z profilami wykreślonymi na podstawie odwiertów.

### 3.3. Interpolacja metodą minimalnej krzywizny

Metoda oparta jest na funkcji generującej powierzchnię o najmniejszej krzywiznie. Funkcja dopasowywana jest do momentu osiągnięcia minimalnej wartości błędu. Prezentowany rysunek poziomicowy uzyskano przy minimalnej wartości błędu = 0,2. Charakterystyczny jest koncentryczny układ poziomicy w północno-zachodniej części badanego obszaru (podobnie jak przy zastosowaniu metody odwrotnych odległości). Koncentrycznie ułożone poziomicie zanikały przy zmniejszaniu minimalnej wartości błędu (poniżej 0,1). Przy nieco innym układzie punktów pomiarowych w południowo-zachodniej części (ryc. 1) zmiany minimalnej wartości błędu nie wpływały na układ poziomicy.



Ryc. 4. Interpolacja metodą minimalnej krzywizny  
 Fig 4. Interpolation by the Minimum Curvature method

### 3.4. Interpolacja metodą radialnych funkcji bazowych

W założeniach funkcje bazowe są zbliżone do semiwariogramu w krigingu. Zastosowano funkcję *multiquadric*:

$$B(h) = \sqrt{h^2 + R^2} \quad (1)$$

gdzie:

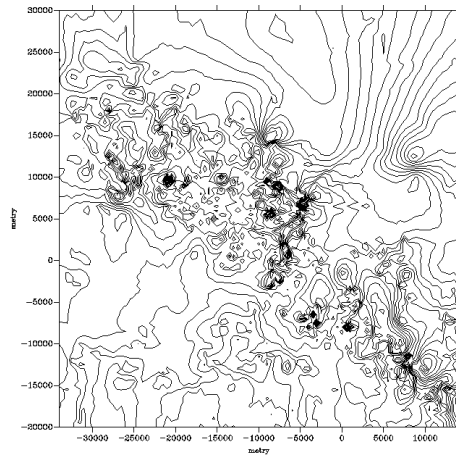
h – odległość pomiędzy punktem pomiarowym a węzłem grid

R – współczynnik wygładzania

Rysunek poziomicowy uzyskany w tej metodzie jest podobny do rysunku opracowanego metodą krigingu. Zawiera jednak więcej błędów kartograficznych. Chodzi głównie o zakłócenia w przebiegu poziomic.

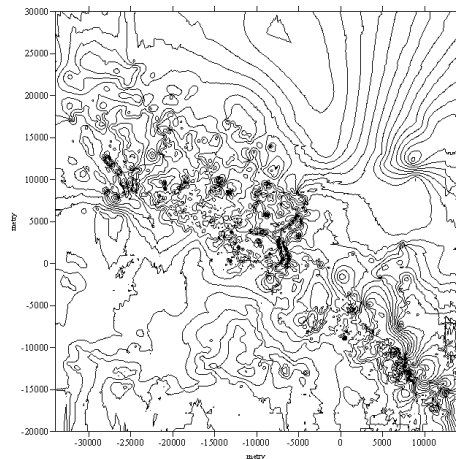
Do dalszej analizy wybrano metodę krigingu. Polegała ona na zmianie gęstości grid, kształtu i zasięgu obszaru wpływu punktów pomiarowych oraz wyborze najlepszego modelu semiwariogramu.

Stwierdzono, że po zmniejszeniu boku kwadratu grid poniżej 500 m wystąpiły zakłócenia w przebiegu poziomic, co może być spowodowane nadmiarem danych (ryc. 6). Przy boku kwadratu grid 1000 m w przebiegu poziomic wystąpiły liczne zakłócenia (ryc. 7). Nie stwierdzono natomiast wpływu zmian kształtu i zasięgu obszaru wpływu na obraz hipsometrii, co wynika z dużego zagęszczenia i równomiernego rozmieszczenia punktów pomiarowych.



Ryc. 5. Interpolacja metodą radialnych funkcji bazowych  
Fig. 5. Interpolation by the Radial Basis Function method

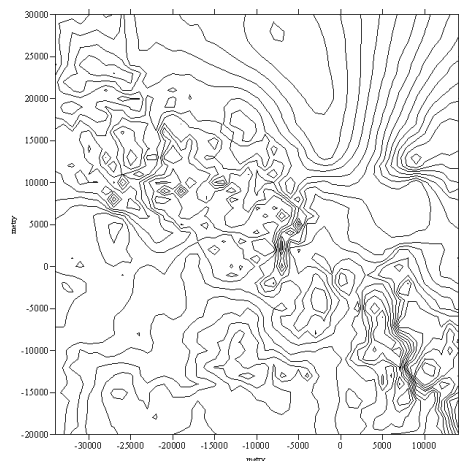
Do końcowego opracowania zastosowano siatkę kwadratów (grid) o boku 500 m oraz obszar wpływu w kształcie okręgu o promieniu 60,4 m, który został podzielony na 8 sektorów. Z każdego sektora wyszukanych było min. 8 i maks. 64 punktów pomiarowych.



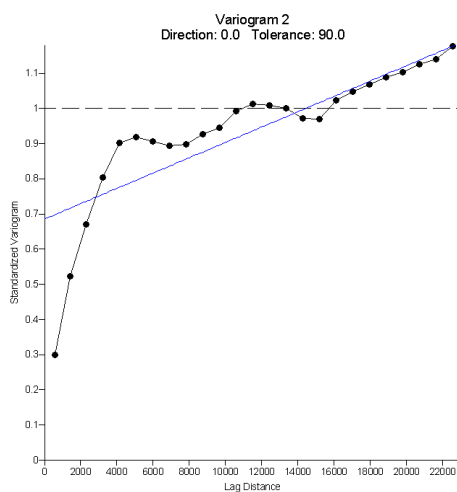
Ryc. 6. Interpolacja metodą krigingu przy boku grid = 100 m  
Fig. 6. Interpolation by Kriging with grid spacing = 100 m

Dalsza analiza metody krigingu polegała na opracowaniu modelu semiwariogramu. Wybrano model sferyczny (ryc. 8), złożony z następujących funkcji:

- Linear (Slope=2,18E-005; Aniso=1,0),
- Nugget Effect (0,686; Micro=0).



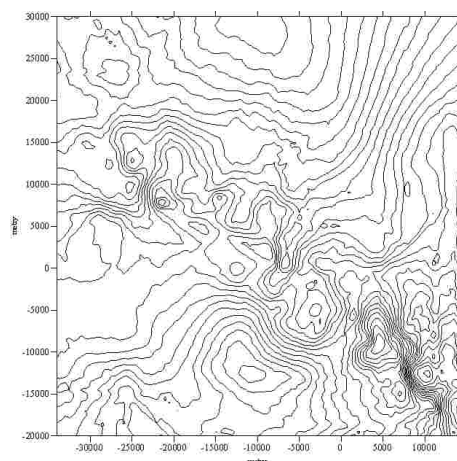
Ryc. 7. Interpolacja metodą krigingu standardowego przy grid = 1000 m  
Fig. 7. Interpolation by Kriging with grid spacing = 1000 m



Ryc. 8. Semiwariogram  
Fig. 9. Semiwariogram

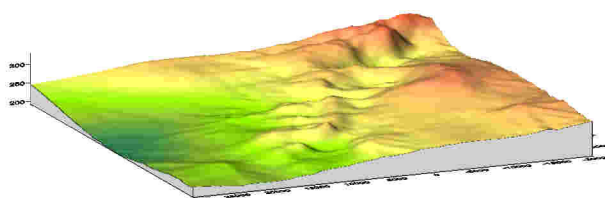
Na bazie wyinterpolowanej hipsometrii powstał DEM podłoża czwartorzędu, który wykorzystano do wizualizacji ukształtowania podłoża czwartorzędu (blokdiagram oraz metody: poziomicowa, hipsometryczna, cieniowa) oraz do analizy morfometrii wybranych form.





Ryc. 9. Najlepszy rysunek poziomicowy opracowany metodą krigingu  
Fig. 9. The best contour pattern obtained by Kriging

#### 4. WIZUALIZACJA POWIERZCHNI PODCZWARTORZĘDOWEJ



Ryc. 10. Blokdiagram – przykład wizualizacji powierzchni podczwartorzędowej  
Fig. 10. Examples of visualisation of the base-Quaternary surface

#### 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Dzięki zastosowaniu komputerowej interpolacji zrekonstruowano rzeźbę podczwartorzędową na dużym obszarze w południowej części Wyżyny Woźnicko-Wieluńskiej oraz w północnej części Wyżyny Częstochowskiej. Opracowano również DEM podłoża czwartorzędu. Jest to pierwsze tego typu opracowanie dla tego regionu Polski, dotychczas zajmowano się fragmentami pojedynczych form kopalnych. DEM umożliwił wgląd w morfologię wybranych form oraz analizę związków rzeźby kopalnej z budową geologiczną.

Zaprezentowane przykłady ukazują, że na obszarze o dużym zagęszczeniu punktów pomiarowych uzyskano zbliżony rysunek poziomicowy. Różnice występują w rejonach,

gdzie było mniej punktów pomiarowych. Konieczna jest zatem staranna weryfikacja uzyskanych wyników, gdyż specyficzny układ poziomic będący wynikiem właściwości stosowanych algorytmów interpolacji może być źródłem błędnych interpretacji paleogeograficznych.

## PIŚMIENNICTWO

Magnuszewski, A.: GIS w geografii Fizycznej, s. 187, WN PWN, Warszawa 1999.

### DIGITAL ELEVATION MODEL OF THE BASE QUATERNARY SURFACE ON THE WOŹNIKI-WIELUŃ UPLAND

#### S u m m a r y

The paper presents the results of experiments on the use of computer interpolation to the construction of digital elevation model (DEM) of a base Quaternary surface. A careful selection of the interpolation method and parameters is here especially important as the studied surface is not unavailable for direct observation. The method of interpolation must be chosen so that the DEM is as close to reality as possible. The shape of the base Quaternary surface was interpolated from 6,553 data points (data from boreholes and a geological map) over an area of ca. 800 km<sup>2</sup>. Four gridding methods have been used in the Surfer program: Inverse Distance to a Power, Kriging, Minimum Curvature and Radial Basis Function. The models of base Quaternary relief thus obtained were then verified by comparison of the obtained contour patterns with several tens of cross-sections based on borehole data. The best results were obtained using standard kriging with adequately chosen variogram model (fig. 3). Its parameters were: linear (Slope = 2,18E-005; Aniso = 1,0); nugget effect (Error = 0,686, Micro = 0). This method was chosen because of the cartographic correctness of the contour pattern and the smallest departures of the interpolated surface along several cross-sections constructed basing on the borehole data. The drawbacks of the contour pattern obtained by the "Inverse Distance to a Power" method (with the power parameter = 2) was the bull's-eye effect, that is a distinct concentric arrangement of contours around data points (fig. 2). The effect disappeared with reduction in the power parameter and increased with its increase. A similar pattern of contours was obtained using the Minimum Curvature method (fig. 4), at the minimum value of error (maximum residual = 0,2). The effect disappeared with reduction of the value. The Radial Basis method resulted in the contour pattern similar to that obtained with the kriging method, but with other cartographic errors which could not be eliminated by altering the algorithm.

The resultant DEM of the base Quaternary relief was used for visualisation of the fossil surface and to the study of the pre-Quaternary relief.

KEY WORDS: gridding method, interpolation, base Quaternary surface, kriging

Recenzent: dr inż. Andrzej Wróbel, AGH, Kraków