

## TREND POWIERZCHNIOWY W ZASTOSOWANIU DO OKREŚLANIA RZEŻBY I POWIERZCHNI ZŁÓŻ

Trend powierzchniowy jako metoda generalizacji układu przestrzennego badanego zjawiska został wprowadzony do geofizyki i geologii pod koniec lat pięćdziesiątych (4–6; por. 2). Późniejsze liczne zastosowania tej metody potwierdziły jej przydatność do:

– rekonstrukcji powierzchni fizycznie obserwowanych, jednak – ze względu na lokalizację – trudnych do rozpoznania, np. warstw geologicznych,

– modelowania powierzchni topograficznej, fizycznie obserwowanej i łatwej do rozpoznania,

– konstrukcji powierzchni fizycznie nie obserwowanych, przedstawiających z geometrycznego punktu widzenia pewne zależności modelowe między zmiennymi charakteryzującymi badane obiekty. Zwykle w badaniach geologicznych i geofizycznych wykorzystywane są trendy trójwymiarowe typu  $Z = f(x, y)$ . Natomiast o wiele większe możliwości poznawcze mają trendy czterowymiarowe postaci  $Z = f(x, y, w)$ . Ogólnie trendy czterowymiarowe w geologii mogą służyć do:

1) numerycznej rekonstrukcji warstw geologicznych

2) graficznej prezentacji zrekonstruowanego układu warstw

3) obliczenia objętości warstwy.

W dalszej części artykułu omówiono szczegółowo realizację powyższych problemów.

W celu uwidocznienia praktycznych aspektów trendu czterowymiarowego w geologii – zastosowano go do rekonstrukcji burowęglowej serii sedymentacji na wycinku złoża Józwin.

### CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA ZŁÓŻ WĘGLA BRUNATNEGO W REJONIE KONINA

Na podstawie analizy profili odwiertów poszukiwawczych oraz ścian wyrobisk kilku czynnych kopalni odkrywkowych wiadomo, że trzeciorzędowe złoża węgla brunatnego mają zarys nieregularnych wypełnień niecek ułożonych w system palczastych rozwidleń. Jedno z tych

rozwidleń miało (obecnie wyeksploatowane) daleko na południe sięgające rozwinięcie aż po miasto Konin.

Serie trzeciorzędowe, wśród których zalega różnej miąższości warstwa burowęglowa, wypełniają przede wszystkim zagłębienia w powierzchni podtrzeciorzędowej. Zagłębienia te mają założenia tektoniczne, przeobrażone procesami egzogenicznymi, głównie erozją. Widoczne są także skutki tektoniki wgłębnej okresu pliocenско-plejstocенского. Wiek głównego pokładu węglowego jest środkowo- lub górnomiocенski. Grubość pokładu węgla waha się od kilkudziesięciu centymetrów (w strefach brzeżnych) do około 20 m w centralnych partiach niecek. Przeciętną miąższość węgla szacuje się na 10 m.

Nad pokładem węglowym występują różnoziarniste, głównie drobno i bardzo drobnoziarniste piaski, mułki i brunatnawe szaro-zielono-niebieskie i zielonawożółte ropy, nazywane najczęściej pstrymi ropykami poznańskimi. Sedymentacja tych utworów rozpoczęła się w górnym miocenie i trwa w pliocenie.

Ponad utworami trzeciorzędowymi zalega różnej miąższości seria czwartorzędowa, złożona z dwóch podstawowych glin morenowych, oraz będących w mniejszości piasków i żwirów.

Godny podkreślenia jest fakt, że w obrębie całej miąższości utworów neogenu i plejstocenu nie stwierdza się poważniejszych skutków glacitektoniki. Oznacza to, że soczewy utworów burowęglowych uległy po okresie sedymentacji nieznacznym jedynie deformacjom, natomiast na ich powierzchni stropowej zaznaczają się dość wyraźnie skutki erozji. Rzuca to na cechy morfometryczne tej powierzchni, która znana jest z analizy odsłoneń kopalniowych oraz siatki wierceń. Dokumentację złożeń uzyskano dzięki profilom odwiertów, w których stwierdzono obecność węgla brunatnych. Ostatecznie odkryto złoże ciągnące się na obszarze ponad 100 km<sup>2</sup>. Dla tej powierzchni istnieje sieć odwiertów usytuowanych w odległościach od 50 do 200 m.

Wycinek tej siatki wierceń wykorzystano do analizy cech morfometrycznych złoża eksploatowanego przez od-

krywkę Józwin usytuowaną w niewielkiej odległości na SE od miasteczka Kleczew. Analizę tę wykonano zarówno klasycznymi metodami geologicznymi, jak również za pomocą techniki komputerowej. Ta właśnie procedura stanowi główną treść niniejszego artykułu.

## NUMERYCZNA REKONSTRUKCJA WARSTW GEOLOGICZNYCH ZA POMOCĄ TRENDU CZTEROWYMIAROWGO

Ogólna formuła trendu czterowymiarowego pozwalająca na rekonstrukcję warstw geologicznych ma następującą postać:

$$M = F(a, b, w)$$

gdzie:

$M$  – jest miąższością warstwy  $w$  w punkcie o współrzędnych  $(a, b)$   
 $(a, b)$  – są współrzędnymi prostokątnymi punktu  
 $w$  – jest numerem rekonstruowanej warstwy.

Graficzną prezentacją powyższego równania jest ryc. 1. Ponieważ rekonstruowana warstwa ma powierzchnię stropową i spągową, które oddzielają ją od innych warstw (por. ryc. 2), powyższą formułę można przedstawić następująco:

$$M = F_1(abw) - F_2(abw)$$

gdzie:

$F_1(abw)$  – wysokość npm. powierzchni stropowej warstwy  $w$  w punkcie  $(a, b)$

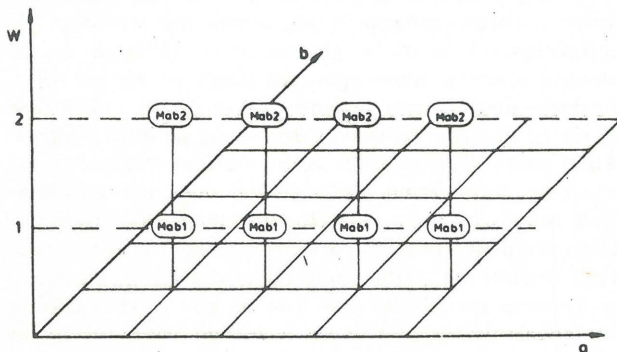
$F_2(abw)$  – wysokość npm. powierzchni spągowej warstwy  $w$  w punkcie  $(a, b)$

Ze względów numerycznych funkcję  $F_j$ , gdzie  $j = 1, 2$ , przedstawia się za pomocą wielomianów aproksymacyjnych. Ponieważ powierzchnia stropowa  $i$  warstwy pokrywa się z powierzchnią spągową warstwy leżącej powyżej (por. ryc. 3), można zastosować następujące przekształcenie:

$$F_j(abw) = P(abi)$$

gdzie:

$(a, b)$  – współrzędne prostokątne punktu  
 $w$  – numer warstwy  
 $j$  – numer powierzchni (stropowej i spągowej)  
 $i$  – kolejny numer powierzchni rozgraniczającej warstwy  
 $P$  – wielomian aproksymacyjny powierzchni rozgraniczających



Ryc. 1. Geometryczna reprezentacja trendu czterowymiarowego  
 Fig. 1. Geometrical representation of four-dimensional trend

Wysokość punktu  $(a, b)$  leżącego na  $i$  powierzchni rozgraniczającej można wyznaczyć z następującej formuły:

$$Z = P(a, b, i) = P_{iab}(ab)$$

gdzie:

$Z$  – jest wysokością nad poziom morza punktu  $(a, b)$  leżącego na powierzchni rozgraniczającej  
 $P$  – wielomian aproksymacyjny powierzchni rozgraniczającej  
 $P_{iab}$  – wielomian lokalny wyznaczony dla  $i$  powierzchni oraz punktu o współrzędnych  $(a, b)$   
 $P_{iab}(ab)$  – wartość wielomianu  $P_{iab}$  w punkcie o współrzędnych  $(a, b)$ ,

Jak z powyższej formuły wynika, dla wyznaczenia wartości zmiennej  $Z$ , między punktami obserwacyjnymi (wierceni), tworzy się ważoną metodą najmniejszych kwadratów wielomiany lokalne drugiego stopnia (por. 7). Waga jest w tym przypadku funkcja odległości, która przez swoją formę odpowiednio koryguje wpływ wartości zmiennej  $Z$  obserwowanej w otoczeniu punktu  $(a, b)$  na wartość tej zmiennej w punkcie  $(a, b)$ . Lokalność wielomianów wynika z faktu, iż do ich oszacowania bierze się jedynie pod uwagę wartości  $Z$  w punktach sąsiednich względem punktu  $(a, b)$ . Nie bierze się natomiast wartości  $Z$ , obserwowanych we wszystkich punktach badanego obszaru. W postępowaniu aproksymacyjnym w każdym punkcie minimalizuje się formę kwadratową:

$$Q(a, b) = \sum_{i=1}^n [P_{wab}(x_i, y_i) - Z_{i,w}]^2 \theta(d_i^2)$$

gdzie:

$P_{wab}$  – jest wartością wielomianu lokalnego:

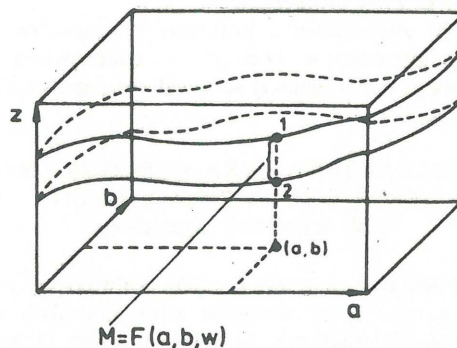
$$P_{wab}(x_i, y_i) = \sum_{i=0}^r \sum_{j=0}^{i-r} C_{ij} x^i y^j = C_{00} + C_{10}y + C_{20}x^2 + C_{11}xy + C_{02}y^2$$

w punkcie  $x_i, y_i$

$d_i^2$  – jest kwadratem odległości  $i$  punktu obserwacyjnego od punktu 0 współrzędnych  $(a, b)$

$\theta$  – jest funkcją wagi punktu względem odległości

Funkcja  $\theta$  powinna być bliska jedności, gdy punkt  $(a, b)$  leży blisko punktu  $x_i, y_i$  oraz powinna być mała, gdy jest on odległy. Wybór odpowiedniej funkcji odległości jako wagi ma istotny wpływ na jakość uzyskiwanych wy-



Ryc. 2. Miąższość warstwy jako funkcje  $F_1(abw)$  i  $F_2(abw)$   
 Fig. 2. Thickness of layer as a function of  $F_1(abw)$  and  $F_2(abw)$

ników. W pracy przyjęto wagę w postaci funkcji wykładniczo-hiperbolicznej:

$$\theta(d^2) = \frac{e^{-\alpha d^2}}{d^2 + 1}$$

gdzie:  $\alpha$  – jest pewną stałą

Stała  $\alpha$  wyznaczona jest z formuły:

$$\alpha = \frac{1}{\bar{d}_{(i)}^2} \quad i = 1, 2, \dots, p$$

gdzie:  $\bar{d}_{(i)}$  – jest średnią odległością od punktu analizowanego do  $i$  punktów sąsiednich

Wyznaczanie wartości  $\alpha$  jest w pewnym stopniu arbitralne, gdyż w literaturze nie jest odpowiednio precyzyjnie określony sposób obliczania średnich odległości do najbliższego sąsiada. W niniejszym artykule  $\bar{d}_{(i)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, p$ , traktowane są jako średnie odległości od punktu  $(a, b)$  do jego kolejnych sąsiadów, tj. najbliższego i kolejno coraz dalszych w losowym rozkładzie punktów, przy czym identyfikacji sąsiadów dokonuje się w układzie heksagonalnym, tj. w sześciu kierunkach od punktu  $(a, b)$  jak pokazuje ryc. 4.

Zasady określania średnich odległości losowych do najbliższego i dalszych sąsiadów zostały podane w pracach M. Dacey'a (3) oraz Z. Chojnickiego i T. Czyży (1). Dla wyznaczenia tych odległości przyjmuje się założenie, iż losowy rozkład punktów może być opisany rozkładem Poissona w postaci:

$$P_{(x)} = \frac{m^x e^{-m}}{x!}$$

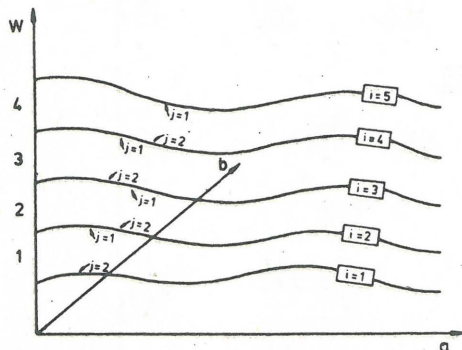
gdzie:

$P_{(x)}$  – oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia  $x$  punktów w odpowiednim sektorze heksagonu  
 $m$  – jest gęstością punktów

Wówczas średnie odległości losowe od dowolnego punktu  $(a, b)$  do jego kolejnych sąsiadów, tj. najbliższego oraz kolejno coraz dalszych wyznacza się według następujących formuł (por. 3):

$$\bar{d}_{(1)} = \frac{0,5000}{\sqrt{m}}$$

$$\bar{d}_{(2)} = \frac{0,7863}{\sqrt{m}}$$



Ryc. 3. Interpretacja powierzchni rozgraniczających  
 Fig. 3. Interpretation of delimiting planes

$$\bar{d}_{(3)} = \frac{1,0403}{\sqrt{m}}$$

$$\bar{d}_{(4)} = \frac{1,3034}{\sqrt{m}}$$

$$\bar{d}_{(5)} = \frac{1,6175}{\sqrt{m}}$$

$$\bar{d}_{(6)} = \frac{2,1010}{\sqrt{m}}$$

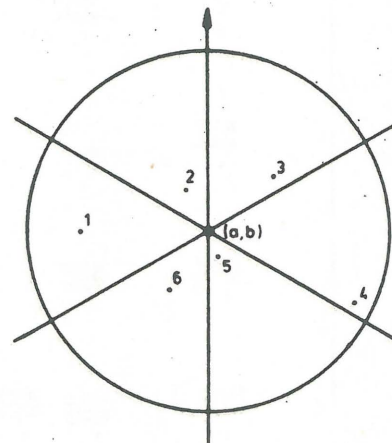
Zatem  $\alpha$  może przyjąć jedną spośród sześciu możliwych wartości w zależności od tego jaką wartość  $\bar{d}_{(i)}$ , ( $i = 1, 2, \dots, 6$ ) uwzględni się w obliczaniu tej stałej. Wybór właściwej średniej odległości losowej zależy od rzeczywistego rozkładu punktów obserwacyjnych.

### WERYFIKACJA ADEKWATNOŚCI POWIERZCHNI ZREKONSTRUOWANEJ

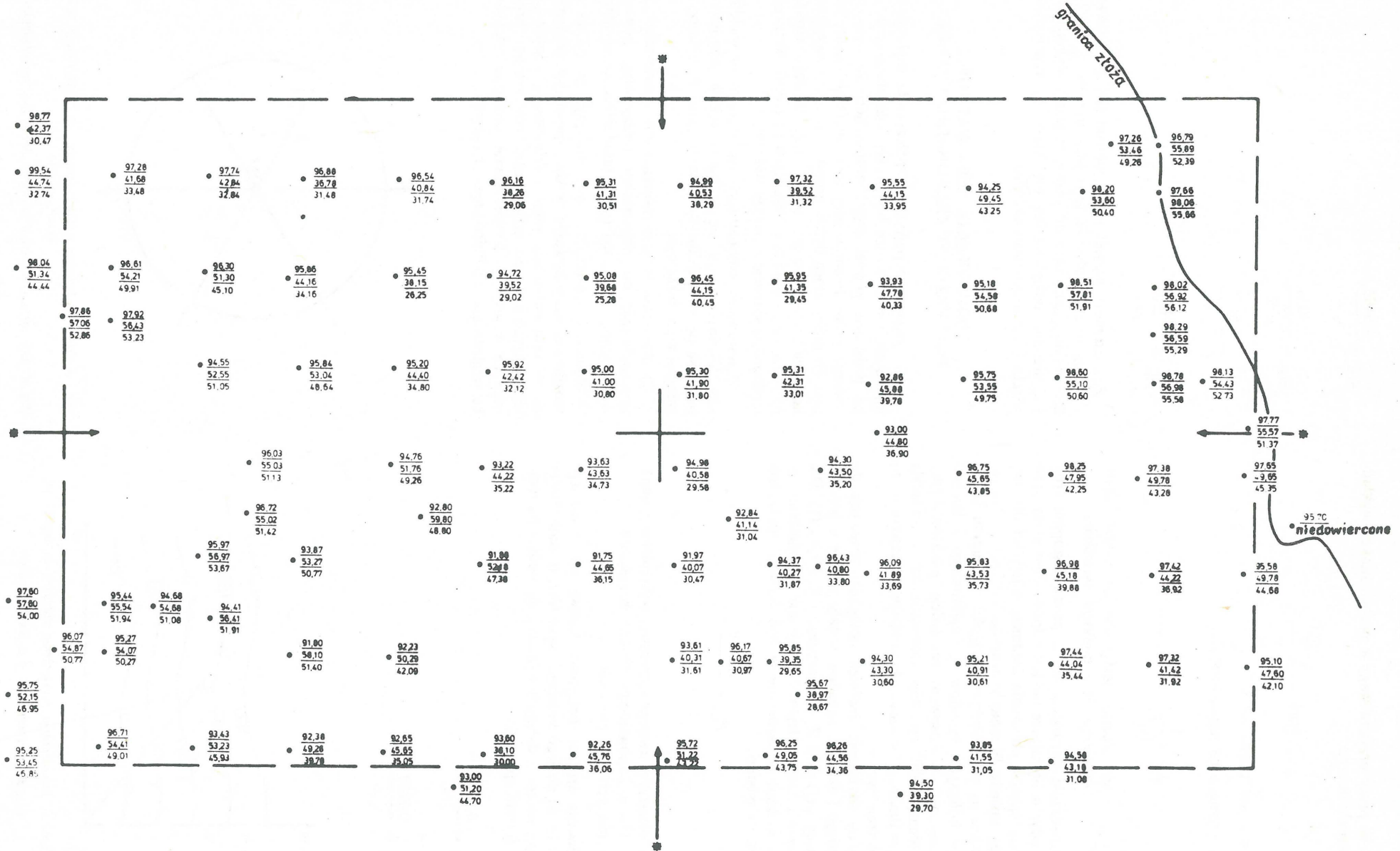
Jak zaznaczono powyżej, współczynniki wielomianów lokalnych, z powodu ich konstrukcji, określane są jedynie na podstawie pewnej części pozostającej do dyspozycji badacza próby losowej, przy czym niektóre punkty należące do próby mogą być w procesie estymacji uwzględniane wielokrotnie; zależy to od rzeczywistego rozkładu przestrzennego punktów obserwacji (wierceń). Stwarza to niedogodną sytuację z punktu widzenia:

- 1) testowania estymatorów współczynników wielomianów lokalnych, gdyż nie można w takich przypadkach posłużyć się standardowymi testami  $t$  oraz  $F$ , wykorzystywanymi w teorii regresji,
- 2) określenia stopnia dopasowania powierzchni zrekonstruowanej do powierzchni rzeczywistej, ponieważ współczynnik  $R^2$  nie ma tutaj uzasadnienia teoretycznego.

Powyższe stwierdzenia nie oznaczają całkowitej niemożliwości weryfikowania zrekonstruowanych powierzchni. W celu określenia stopnia dopasowania powierzchni zrekonstruowanej do powierzchni rzeczywistej, proponuje się w artykule wykorzystanie średniego odchylenia bezwzględnego, zdefiniowanego następująco:



Ryc. 4. Model sekstansu wykorzystywany do identyfikacji najbliższych sąsiadów  
 Fig. 4. Sextant model used in identification of the closest neighbours



Ryc. 5. Rozkład przestrzenny wierceń na analizowanym fragmencie złóża Józwin

Fig. 5. Spatial distribution of boreholes in the analysed part of the Józwin deposit

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i$$

gdzie:

$$\Delta_i = |Z_i - Z_i|$$

oraz

$Z_i$  – jest zaobserwowaną wartością  $Z$  w punkcie  $i$

$Z_i$  – jest oszacowaną przy pomocy wielomianu lokalnego wartością zmiennej  $Z$  w punkcie  $i$

$n$  – liczebność próby

Dodatkowo można uwzględnić odchylenie standardowe  $\sigma_{\Delta}$ , w postaci:

$$\sigma_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}{n}}$$

W procesie aproksymacyjnym należy dążyć do tego, aby zarówno  $\bar{\Delta}$ , jak i  $\sigma_{\Delta}$  były jak najmniejsze. W przypadku granicznym  $\bar{\Delta} = 0$  oraz  $\sigma_{\Delta} = 0$ . Oznacza to, iż zrekonstruowana powierzchnia w 100% odwzorowuje powierzchnię zaobserwowaną. Gdy  $\bar{\Delta} \neq 0$ , lecz przyjmuje wartości w pobliżu zera, wówczas mała wartość  $\sigma_{\Delta}$  wskazuje na to, że w przekroju całej zrekonstruowanej warstwy odchylenie  $Z_i$  od  $\bar{Z}_i$  jest niewielkie i w przybliżeniu tego samego rzędu.

Należy zauważyć, że na wielkości  $\bar{\Delta}$  i  $\sigma_{\Delta}$  mogą mieć wpływ: stopień pofałdowania powierzchni rzeczywistej oraz błąd pomiaru (wiercenia). Jeśli dla zrekonstruowanej warstwy  $\bar{\Delta}$  jest zbyt duże, wówczas w funkcji wagi  $\theta$ , należy zmienić parametr  $\bar{d}_{(i)}$ . Niestety w procesie rekonstrukcji powierzchni (podobnie jak w badaniach statystycznych w ogóle) badacz nie ma wpływu na błąd wynikający z nieprawidłowego lub nierzetelnego pomiaru.

Istnieje również inna – pośrednia droga określania adekwatności zrekonstruowanej powierzchni. Wynika ona z faktu, iż według zasad wykorzystywanych przy rekonstrukcji niewidocznej powierzchni geologicznej, rekonstruuje się również ukształtowanie powierzchni gruntu, zalegającej ponad badaną powierzchnię geologiczną. Gdy ukształtowanie powierzchni gruntu ma swoje odwzorowanie w powierzchni hipsometrycznej (osiągniętej za pomocą zdjęć lotniczych lub zdjęcia topograficznego, wówczas taka powierzchnia hipsometryczna może być traktowana jako wzorzec (gdyż przedstawia rzeczywiste ukształtowanie powierzchni gruntu), dla powierzchni gruntu, zrekonstruowanej numerycznie. Jeśli na podstawie oceny wizualnej stopień dopasowania obu tych powierzchni jest wysoki, wówczas można wnosić, iż dopasowanie zrekonstruowanej powierzchni geologicznej do powierzchni rzeczywistej jest również wysokie.

Należy zauważyć, że ten sposób weryfikowania adekwatności zrekonstruowanej powierzchni geologicznej jest mniej dokładny i powinien być stosowany jedynie jako ewentualne uzupełnienie metody opisanej wcześniej.

#### GRAFICZNA PREZENTACJA ZREKONSTRUOWANEGO UKŁADU WARSTW

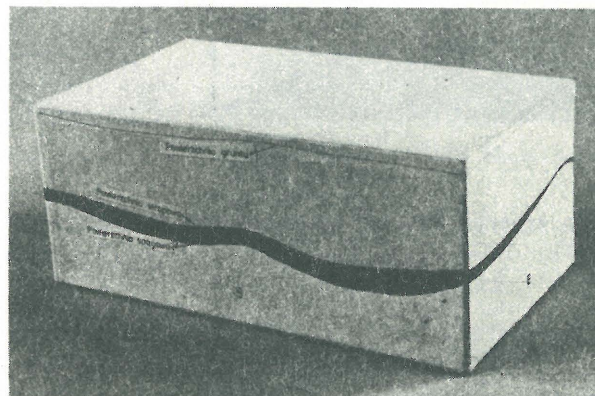
W celu zobrazowania przebiegu zrekonstruowanych warstw geologicznych tworzy się model przestrzenny w postaci np. prostopadłościanu, na którego ścianach wykreśla się przekroje powierzchni gruntu, stropu oraz spągu warstw. Możliwe jest również pokazanie przebiegu warstw wewnątrz bryły, przez wycięcie z niej fragmentu

o żądanej wielkości i kształcie oraz obliczenie objętości badanego złoża. Ponadto ukształtowanie zrekonstruowanej powierzchni może być zobrazowane za pomocą map hipsometrycznych. Technicznie proces kreślenia może być zrealizowany na odpowiednim urządzeniu kreślącym, współpracującym z EMC.

#### REKONSTRUKCJA WARSTWY WĘGLA BRUNATNEGO, EKSPLOATOWANEJ W KOPALNI ODKRYWKOWEJ JÓŻWIN

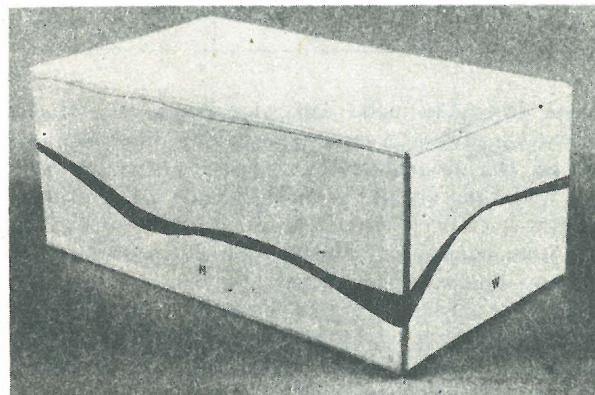
W procesie rekonstrukcji wykorzystano wyniki wierceń przeprowadzonych w 113 punktach, rozmieszczonych na powierzchni około 3,5 km<sup>2</sup>. Rozkład przestrzenny tych punktów pokazano na ryc. 5. Przyjmując w funkcji wagi odpowiednio  $\bar{d}_{(3)}$  oraz  $\bar{d}_{(6)}$ , wykonano trzy modele przestrzenne obrazujące przebieg warstwy węgla w wybranym wycinku złoża Józwin oraz ukształtowanie gruntu tego wycinka. Na ryc. 6–9 pokazano modele zrekonstruowanych warstw. Widoczne są pewne różnice między modelami uzyskanymi dla  $\bar{d}_{(3)}$  oraz  $\bar{d}_{(6)}$ . Możliwe przyczyny zróżnicowania przedstawiono powyżej. Na podstawie wyników zawartych w tabeli można wnioskować, iż model uzyskany przy  $\bar{d}_{(3)}$  lepiej odwzorowuje rzeczywiste ukształtowanie wszystkich powierzchni, tj. gruntu, stropowej oraz spągowej.

W modelu tym zwraca uwagę nieciągłość warstwy węgla występująca w północno-wschodniej części obszaru.



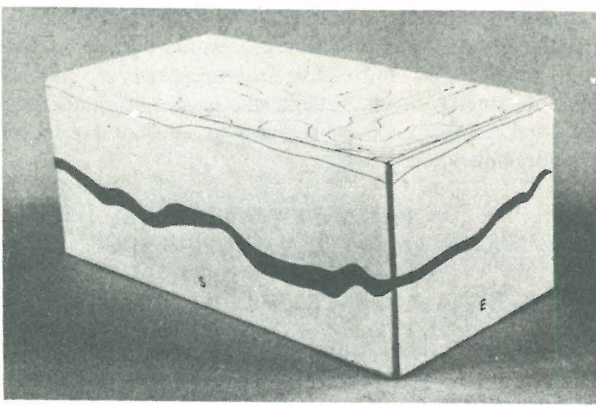
Ryc. 6. Model zrekonstruowanej warstwy węgla dla  $\bar{d}_{(6)}$  – widok z kierunku SE

Fig. 6. Model of reconstructed coal seam for  $\bar{d}_{(6)}$  as seen from SE



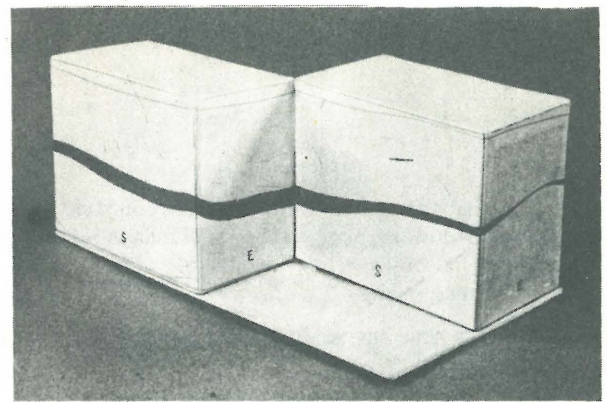
Ryc. 7. Model zrekonstruowanej warstwy węgla dla  $\bar{d}_{(6)}$  – widok z kierunku NW

Fig. 7. Model of reconstructed coal seam for  $\bar{d}_{(6)}$  as seen from NW



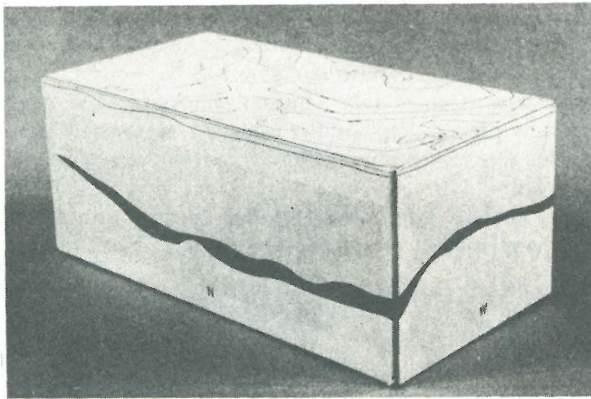
Ryc. 8. Model zrekonstruowanej warstwy węgla dla  $\bar{d}_{(3)}$  – widok z kierunku SE

Fig. 8. Model of reconstructed coal seam for  $\bar{d}_{(3)}$  as seen from SE



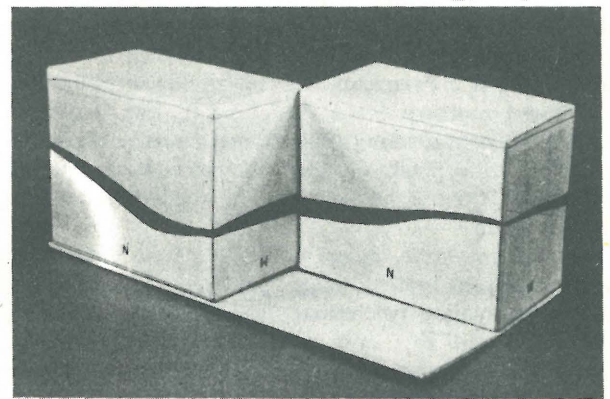
Ryc. 10. Przebieg warstwy węgla wewnątrz bryły (dla  $\bar{d}_{(6)}$ ) – widok z kierunku SE

Fig. 10. Course of coal seam within a block (for  $\bar{d}_{(6)}$ ) as seen from SE



Ryc. 9. Model zrekonstruowanej warstwy węgla dla  $\bar{d}_{(3)}$  – widok z kierunku NW

Fig. 9. Model of reconstructed coal seam for  $\bar{d}_{(3)}$  as seen from NW

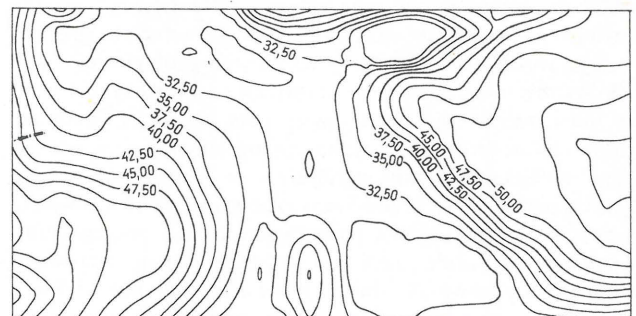


Ryc. 11. Przebieg warstwy węgla wewnątrz bryły (dla  $\bar{d}_{(6)}$ ) – widok z kierunku NW

Fig. 11. Course of coal seam within a block (for  $\bar{d}_{(6)}$ ) as seen from NW

ŚREDNI BŁĄD REKONSTRUKCJI POWIERZCHNI  
ORAZ JEGO ODCHYLENIE STANDARDOWE

Współczynnik	$\bar{\Delta}$ (cm)		$\sigma\Delta$ (cm)	
	$\bar{d}_{(3)}$	$\bar{d}_{(6)}$	$\bar{d}_{(3)}$	$\bar{d}_{(6)}$
Powierzchnia				
Gruntu	8,4	31,0	10,2	27,0
Stropowa	18,9	81,0	19,1	71,0
Spągowa	26,4	114,0	26,9	109,0
Średnio	17,9	75,0	21,3	84,0



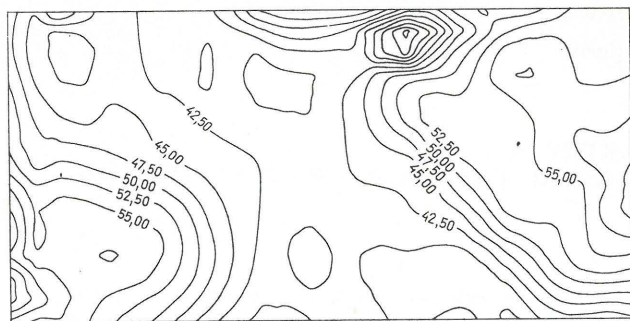
Ryc. 12. Hipsometria powierzchni stropowej

Fig. 12. Hypsometry of the top surface

W tym przypadku model całkowicie potwierdza sytuację rzeczywistą, gdyż w tej części obszaru złoża węgla wyklina się. Dla uwidocznienia przebiegu warstwy wewnątrz bryły wykonano dodatkowe przekroje (dla  $\bar{d}_{(6)}$ ). Pokazane są one na ryc. 10 i 11. Na ich podstawie można stwierdzić, że największa miąższość warstwy węgla przypada na część środkową analizowanego obszaru, w której jednak występuje także największa miąższość nadkładu. Pewną pomoc w analizie przebiegu i ukształtowania zrekonstruowanych powierzchni mogą stanowić mapy hipsometryczne powierzchni stropowej i spągowej wykonane dla  $\bar{d}_{(3)}$ , (ryc. 12 i 13). Widać, że powierzchnie te są stosunkowo mało pofałdowane w strefie środkowej obszaru. Stopień ich pofałdowania wzrasta na jego obrzeżach. Nie przeprowadzając dokładniejszej analizy należy zauważyć, że mapy hipsometryczne

tych powierzchni mogą mieć duże znaczenie, między innymi z punktu widzenia technicznych problemów związanych z eksploatacją złoża.

Wyniki zawarte w tabeli pozwalają również stwierdzić, że średni bezwzględny błąd rekonstrukcji warstw wzrasta w miarę wzrostu głębokości położenia warstwy. Oznacza to, że jest najmniejszy dla powierzchni gruntu, a największy dla powierzchni spągowej. Przy czym największy przyrost błędów występuje przy przejściu od powierzchni gruntu do powierzchni stropowej. Należy przypuszczać, iż przyczyną tego jest błąd pomiaru (wiercenia) rosnący z głębokością.



Ryc. 13. Hipsometria powierzchni spągowej

Fig. 13. Hypsometry of the basal surface

Dla badanego wycinka złoża Józwin obliczono również — metodą punktową Gaussa — objętość warstwy węglowej oraz warstwy nadkładu. Warstwa węglowa zawiera 21,1 mln m<sup>3</sup> minerału, natomiast warstwa nadkładu 137,8 mln m<sup>3</sup> ziemi. Średnia miąższość węgla w warstwie użytecznej (pow. 3 m) wynosi 7,5 m, a średnia miąższość nadkładu 47,9 m; wartości te odpowiadają w przybliżeniu ocenom uzyskanym innymi — bardziej pracochłonnymi metodami.

### ZAKOŃCZENIE

Przedstawione w pracy wyniki potwierdzają przydatność trendu czterowymiarowego w rekonstrukcji przebiegu ciągłych warstw geologicznych. W procesie rekonstrukcji pewną trudność może stanowić dobór właściwej średniej odległości losowej ( $\bar{d}_{(i)}$ ). Jednakże trafność wyboru  $\bar{d}_{(i)}$  jest kontrolowana przez wyliczenie średniego odchylenia bezwzględnego, przez co zakres możliwego błędu jest istotnie ograniczony. Zauważyć należy, że wówczas gdy spełniony jest warunek ciągłości powierzchni badanej, zastosowania trendu czterowymiarowego mogą dotyczyć rekonstrukcji zjawisk spoza geologii i geomorfologii, jak np. powierzchni frontowych czy powierzchni hydrologicznych. Natomiast rozszerzenie zastosowań trendu czterowymiarowego na sytuacje, gdy powierzchnie są nieciągłe, wymaga dalszych badań.

### LITERATURA

1. Chojnicki Z., Czyż T. — Analiza typu rozkładu przestrzennego miast. Prz. Geogr. 1972 t. 44 z. 3.
2. Czyż T. — Metody generalizacji układów przestrzennych. PWN Warszawa—Poznań 1978.
3. Dacey M. — A note on the derivation of nearest-neighbour distances. Journal of Regional Science 1960 no. 2.
4. Grant F. — A problem in the analysis of geophysical data. Geophysics 1957 no. 22.
5. Krumbain W. C. — Regional and local components in facies maps. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists 1956 vol. 40 no. 9.
6. Krumbain W. C. — Trend surface analysis of contour-type maps with irregular control-point spacing. Journal of Geophysical Research 1959 no. 64.
7. McLain D. H. — Drawing contours from arbitrary data points. The Computer Journal 1972 17 4.

### SUMMARY

The surface trend was introduced as a method of generalization of spatial pattern of a studied phenomenon in geophysics and geology in the end of the fifties. It was widely used thereafter, appearing useful for reconstructing physically recorded surfaces, difficult to trace because of disadvantageous location, and constructing surfaces impossible to record by physical methods. Three-dimensional trends of the type  $Z = f(x, y)$  are commonly used in geological and geographic studies. However, four-dimensional trends of the form  $Z = f(x, y, w)$  appear of much higher potential. In geology the latter trends may be used for:

- 1) numerical reconstruction of geological layers,
- 2) graphic presentation of the reconstructed pattern of layers, and
- 3) calculations of volume of a layer.

Questions connected with solving of the above tasks are discussed in detail. In order to illustrate practical aspects of the use of the four-dimensional trend in geology, it was applied to reconstruct brown-coal sedimentary series in a part of the Józwin deposit.

### РЕЗЮМЕ

Поверхностный тренд как метод обобщения пространственной системы исследованного явления был впервые применен в геофизике и геологии в конце пятидесятых лет. Применение этого метода в следующих годах подтвердило его пригодность для: реконструкции поверхностей физически наблюдаемых, но трудных для разведки из-за их размещения; моделирования топографической поверхности; конструкции поверхностей физически не наблюдаемых. Обычно в геологических и географических исследованиях используются трехмерные тренды типа  $Z = f(x, y)$ . Гораздо большими разведочными возможностями характеризуются четырехмерные тренды типа  $Z = f(x, y, w)$ . Чтерехмерные тренды могут быть применяемые в геологии для:

- 1) численной реконструкции геологических слоев,
- 2) графического представления реконструированной системы слоев,
- 3) вычисления объёма слоя.

В дальнейшей части статьи подробно описана реализация этих вопросов. Для показания практических аспектов четырехмерного тренда в геологии его использовали для реконструкции бурогоугольной серии седиментации на отрезке месторождения Юзвин.