

Jerzy GÓRECKI, Marek NIEĆ

Morfologia złoża siarki – próba analizy matematycznej

WSTĘP

Złoża siarki występujące w zapadlisku przedkarpackim mają urozmaiconą rzeźbę powierzchni stropowej. Na podstawie obserwacji odsłonięć w kop. Piaseczno i interpretacji profili otworów wysunięto hipotezę, że głównym czynnikiem rzeźbotwórczym były procesy krasowe rozwijające się pod nadkładem utworów ilastych (M. Nieć, 1970; M. Nieć, J. Szczepańska, 1970; J. Górecki, 1973). Czynnikiem rzeźbotwórczym mogły być również procesy przemiany gipsów w wapień siarkonośne, którym towarzyszą zmiany objętości oraz zjawiska tektoniczne. Można oczekiwać, że wyrazem tych procesów będą jakieś prawidłowości ułożenia powierzchni stropowej, dające się zaobserwować na większym obszarze, procesy krasowe będą powodowały natomiast lokalne zaburzenia tego ułożenia. Ponadto zjawiska tektoniczne winny znaleźć odzwierciedlenie również w morfologii powierzchni spągowej złoża.

Niżej przedstawiamy próbę analizy morfologii stropu i spągu fragmentu złoża siarki w Jeziórku. Opracowanie ma na celu zbadanie zmienności rzeźby tych powierzchni, ich porównanie oraz określenie czynników rzeźbotwórczych. W badaniach tych zastosowano metodę analizy trendów powierzchni (W. Krumbein, F. Graybill, 1965), która pozwala na wykrycie ogólnych prawidłowości ułożenia badanych powierzchni na tle lokalnego jej zróżnicowania. Przedstawione obliczenia zostały wykonane w Centrum Maszyn Matematycznych AGH.

Autorzy pragną wyrazić podziękowanie Pani mgr K. Witczak za wykonanie obliczeń na EMC.

BUDOWA GEOLOGICZNA ZŁOŻA

Budowa geologiczna złóż siarki została już przedstawiona w licznych opracowaniach (np. S. Pawłowski, 1968). Ograniczymy się więc jedynie do przypomnienia ważniejszych faktów i zdefiniowania niektórych pojęć.

Badane złoża siarki występuje w poziomie osadów chemicznych tortonu dolnego, który tworzą wapień siarkonośne i kawerniste wapień płonne z nieregularnymi przewarstwieniami bądź gniazdami ilów marglistych. W spągu tych utworów leżą piaski warstw baranowskich, w ich

stropie zaś ily margliste i margle warstw pektenowych. Cały zespół skał zawarty między warstwami baranowskimi a pektenowymi określamy jako serię złożową.

Osiarkowanie bilansowe występuje bądź to w całym profilu tak zdefiniowanej serii, bądź też tylko w jej partii stropowej, spągowej lub

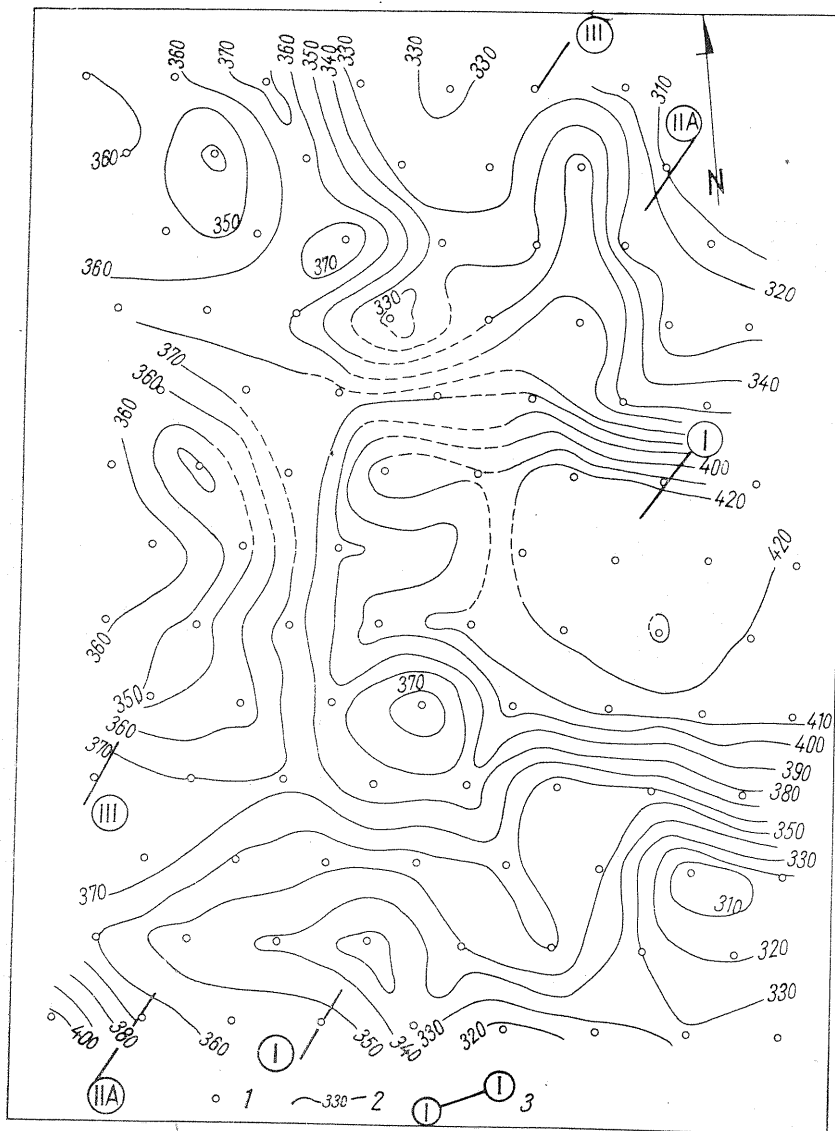


Fig. 1. Mapa strukturalna stropu serii złożowej

Structural map of the top of productive series

1 — otwory wiertnicze; 2 — izolnie stropu serii złożowej; 3 — przekroje geologiczne

1 — boreholes; 2 — contour lines of the top of productive series; 3 — geological cross sections

środkowej, a pozostała część profilu zbudowana jest z płonnych wapieni kawernistych pozbawionych siarki. W obrębie serii złożowej, poza terenem badań, pojawiają się również gipsy tworzące przypuszczalnie nieregularne soczewki lub gniazda.

Przedmiotem naszych badań jest morfologia stropu i spągu serii złożowej. Są to bowiem powierzchnie naturalne i ich ukształtowanie winno

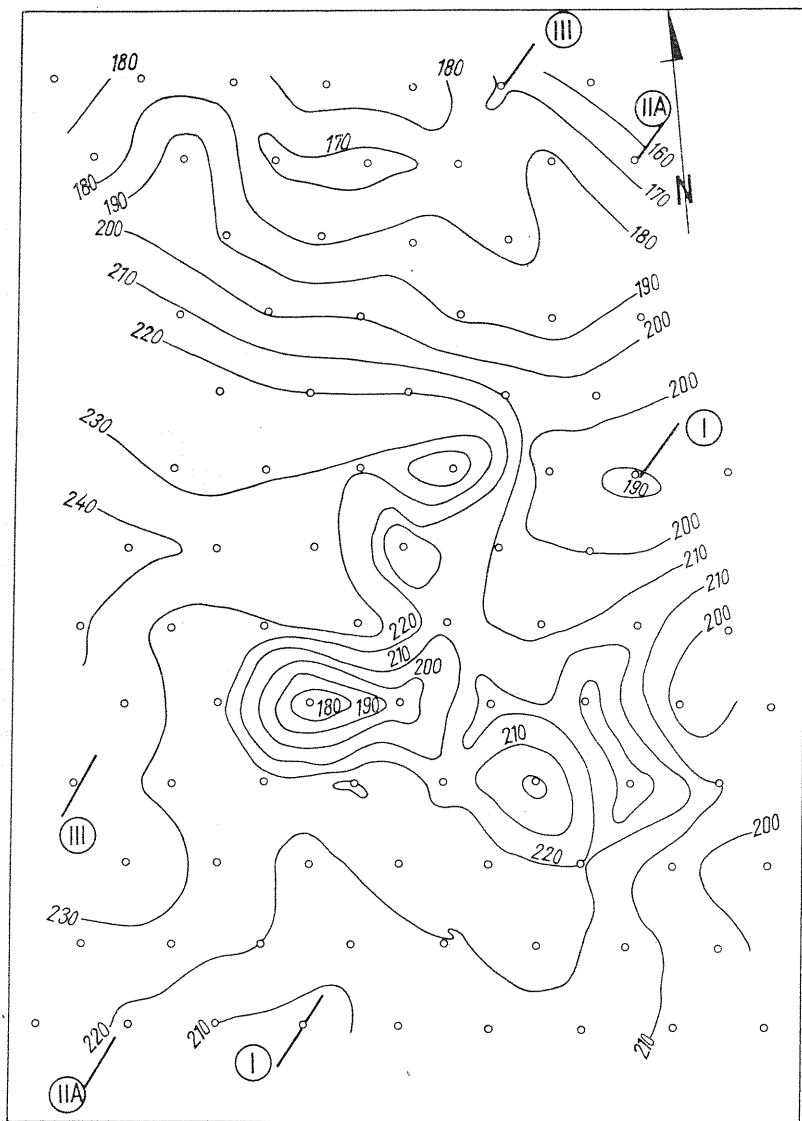


Fig. 2. Mapa strukturalna spągu serii złożowej
Structural map of the bottom of productive series
Objaśnienia jak na fig. 1
Explanations as in Fig. 1

być odzwierciedleniem procesów rozgrywających się w obrębie poziomu osadów chemicznych. Morfologia stropu i spągu złoża jest mniej w tym przypadku interesująca, gdyż jest wyznaczana w sposób mniej lub więcej sztuczny, w zależności od aktualnych kryteriów bilansowości.

MATERIAŁ OBSERWACYJNY I METODA BADAŃ

W badanym rejonie złoża źródłem informacji o ukształtowaniu stropu i spągu serii złożowej są dane uzyskane z otworów wiertniczych. Otwory te wykonane zostały w siatce trójkątnej równobocznej. Uzysk rdzenia wynosił ok. 70%, co zapewnia wystarczającą dokładność określenia położenia stropu i spągu serii złożowej w oparciu o wyniki profilowania geologicznego. Przy stosowanych jednometrowych marszach maksymalne bezwzględne różnice między rzeczywistym i interpretowanym położeniem stropu i spągu nie powinny przekraczać ok. ± 30 cm.

Na podstawie danych uzyskanych z otworów wiertniczych sporządzono mapy warstwiczne stropu i spągu serii złożowej (fig. 1, 2). Wysokości nad poziom morza podano w jedn. umownych (j.u.). Porównując je można dojść do wniosku, że położenie stropu i spągu serii złożowej są nawzajem nie skorelowane (fig. 3).

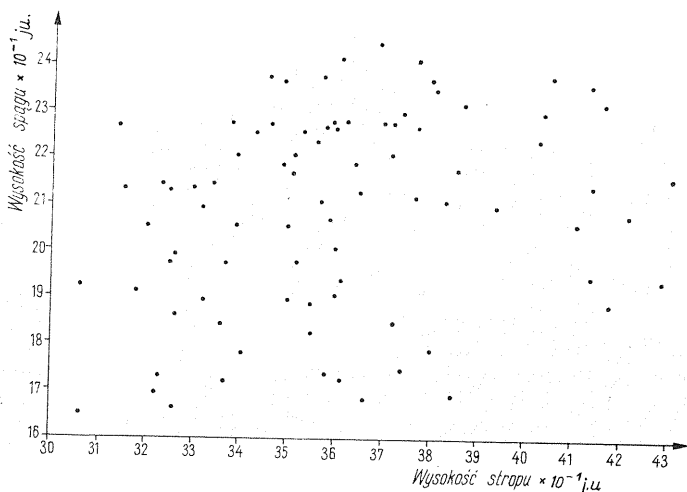


Fig. 3. Wykres korelacyjny zależności między wysokością położenia stropu i spągu serii złożowej
Correlation diagram of the dependence between the amplitude of the top and bottom of productive series

Analiza trendów zastosowana do badania prawidłowości ułożenia tych powierzchni zakłada, że wartości badanego parametru (w danym przypadku wysokości n.p.m.) są zmiennymi skoordynowanymi, uzależnionymi od współrzędnych X i Y i, że zależność tę można opisać za pomocą wielomianów:

$$Z = A + BX + CY$$

$$Z = A + BX + CY + DX^2 + EXY + FY^2$$

lub

$$Z = A + BX + CY + DX^2 + EXY + FY^2 + GX^3 + HX^2Y + IXY^2 + IY^3.$$

Funkcję opisującą trend aproksymuje się metodą najmniejszych kwadratów. Stopień zgodności funkcji aproksymującej z obserwowanymi wartościami parametru określa współczynnik determinacji:

$$\eta = 1 - \frac{S_k}{S_c}$$

w którym

$$S_k = \sum_{i=1}^n (Z_i - Z_t)^2;$$

$$S_c = \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2$$

gdzie: Z_i — obserwowane wartości parametru;

Z_t — wartości parametru wyliczone za pomocą funkcji aproksymującej.

\bar{Z} — wartość średnia parametru.

Współczynnik ten jest miarą udziału zmienności skoordynowanej (nie-losowej) w całkowitej obserwowanej zmienności parametru. Z reguły rośnie w miarę zwiększania stopnia wielomianu aproksymującego.

Miarą istotności trendu jest stosunek wariancji wyjaśnionej przez trend do wariancji resztkowej:

$$F = \frac{D_1}{D_2}$$

$$D_1 = \frac{S_{k-1} - S_k}{k+1}$$

$$D_2 = \frac{n - [(k+1)(k+2)/2]}{S_k}$$

k — stopień wielomianu;

n — ilość obserwacji.

Jeśli wartość F jest większa od krytycznej $F_{kryt.}$, wynikającej z rozkładu Snedecora na poziomie istotności 0,05 przy $(k+1)$ i $n - [(k+1)(k+2)/2]$ stopniach swobody, to przyjmujemy, że funkcja aproksymująca wyjaśnia zmienność skoordynowaną w sposób istotny.

Tabela 1

Wyniki analizy trendów stropu i spągu serii złożowej

Powierzchnia	Ilość obserwacji	Stopień wielomianu aproksymującego	μ	F	$F_{kryt.}$
stropu serii złożowej	85	1	0,3	0,12	3,11
		2	32,5	12,57	2,72
		3	55,8	9,84	2,51
spągu serii złożowej	85	1	48,4	38,5	3,11
		2	66,7	14,47	2,72
		3	69,2	1,48	2,51

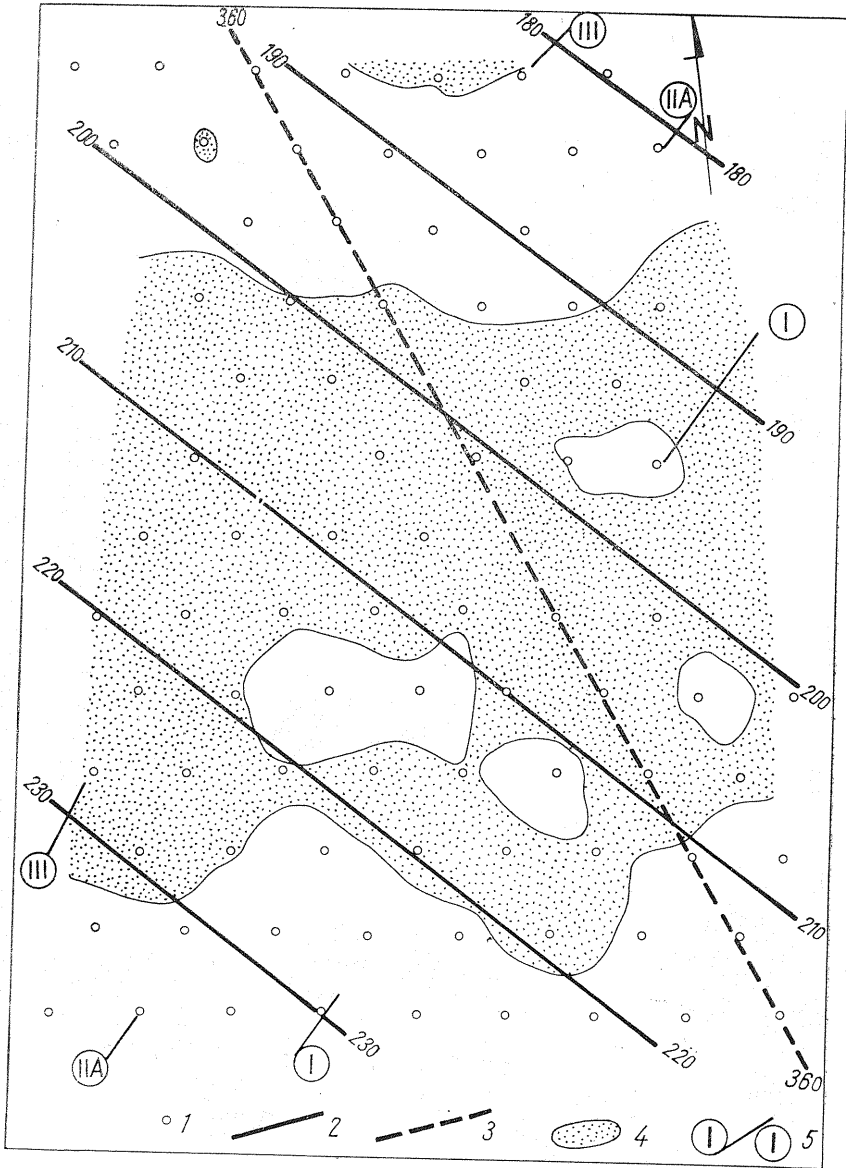


Fig. 4. Mapa powierzchni trendów pierwszego stopnia stropu i spagu serii złożowej

Map of the first degree trend surfaces of the top and bottom of productive series

1 — otwory wiertnicze; 2 — izolnie powierzchni trendu spagu; 3 — izolnie powierzchni trendu stropu; 4 — dodatnie odchyłki rzędnych spagu od wartości trendowych; 5 — przekroje geologiczne

1 — boreholes; 2 — contour lines of the trend surface of the bottom; 3 — contour lines of the trend surface of the top; 4 — positive deviations of the ordinates of the bottom from the trend values; 5 — geological cross sections

ANALIZA RZEŻBY STROPU I SPĄGU SERII ZŁOŻOWEJ

Na fig. 1 i 2 przedstawione zostały mapy warstwnicowe stropu i spągu serii złożowej, wykreślone na podstawie danych z otworów wiertniczych. W tabeli 1 zestawiono wyniki analizy trendów.

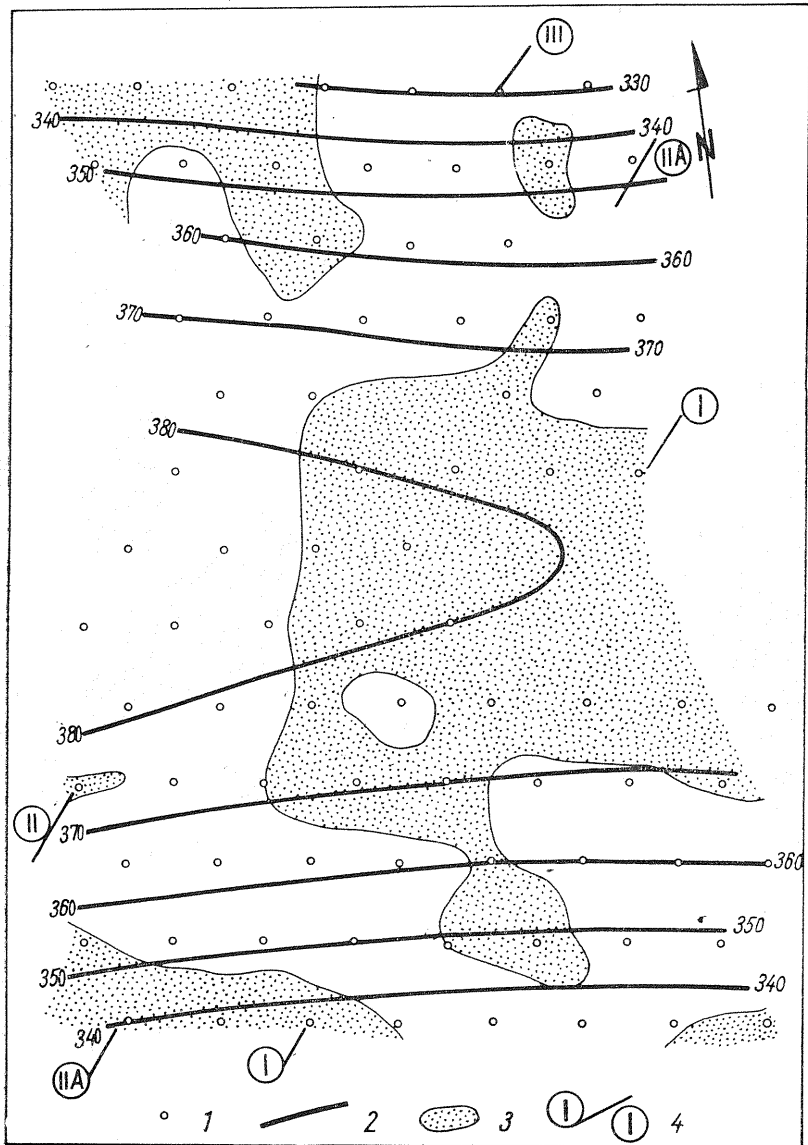


Fig. 5. Mapa powierzchni trendu drugiego stopnia stropu serii złożowej
Map of the second degree trend surface of the top of productive series

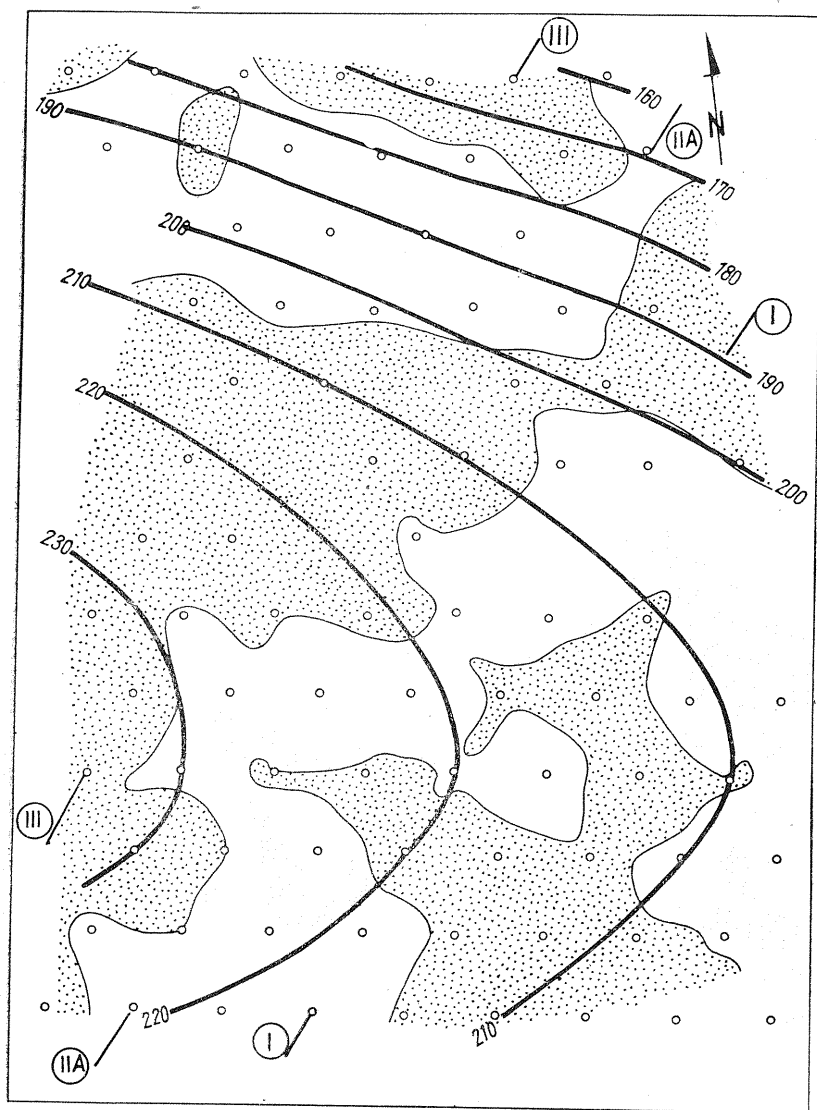


Fig. 6. Mapa powierzchni trendu drugiego stopnia spągu serii złożowej
 Map of the second degree trend surface of the bottom of productive series

Objaśnienia jak na fig. 5

Explanations as in Fig. 5

1 — otwory wiertnicze; 2 — izolinie powierzchni trendu; 3 — dodatnie odchyłki od wartości trendowych; 4 — przekroje geologiczne
 1 — boreholes; 2 — contour lines of the trend surface; 3 — positive deviations from the trend values; 4 — geological cross sections

Z tabeli wynika, że w przypadku spągu serii złożowej prawidłowości jego ułożenia można opisać za pomocą wielomianów 1 i 2-go stopnia. Prawidłowości ułożenia stropu serii złożowej opisują natomiast wielomiany stopnia 2 i 3-go. Na fig. 4—7 zestawiono mapy trendów i odchyłek.

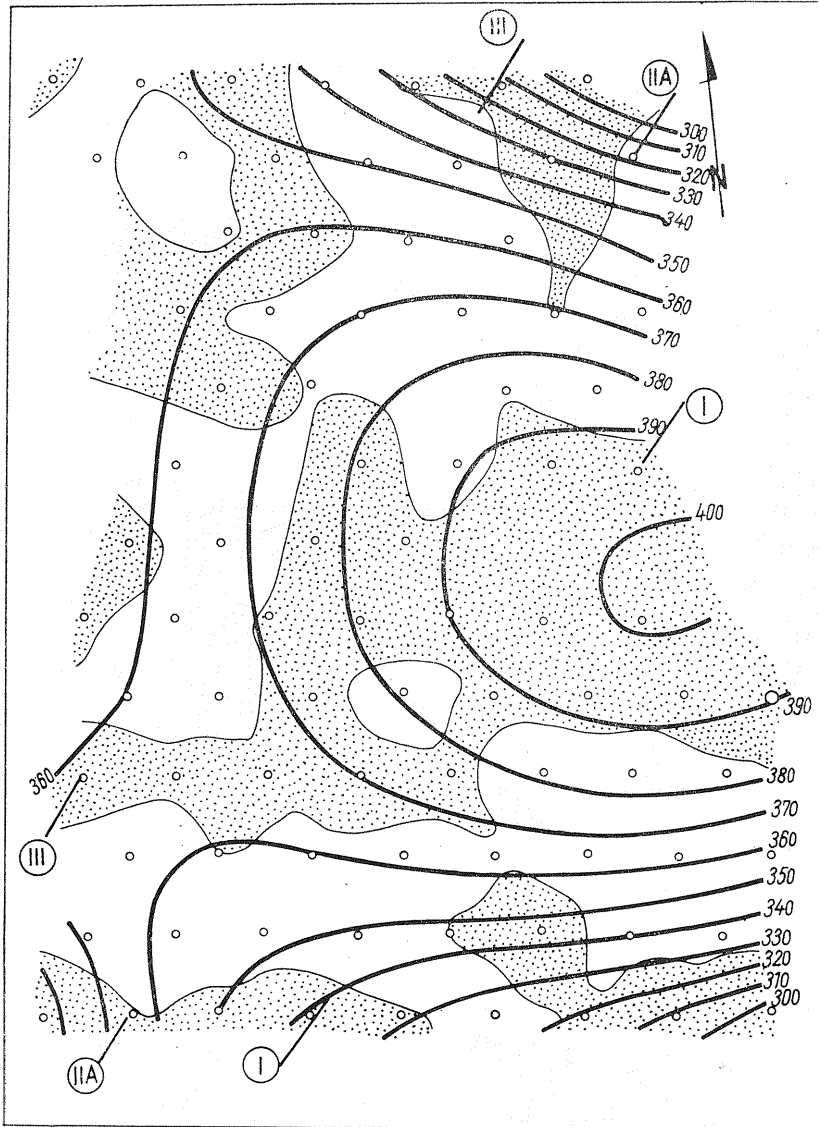


Fig. 7. Mapa powierzchni trendu trzeciego stopnia stropu serii złożowej
 Map of the third degree trend surface of the top of productive series
 objaśnienia jak na fig. 5
 Explanations as in Fig. 5

PRÓBA INTERPRETACJI

Porównując mapy trendów stropu i spągu serii złożowej nietrudno zauważyć, że powierzchnie 2-go stopnia mają bardzo podobne ułożenie. Ilustrują to dobrze przekroje przedstawione na fig. 8. Zarówno na mapach (fig. 5, 6), jak i na przekrojach zaznacza się wyraźnie antyklinalne wypiętrzenie obu powierzchni w centralnej partii badanego obszaru. Można je wiązać z naciskami tektonicznymi działającymi w kierunku N-S lub uważać to za rezultat nierównomiernej kompaktacji utworów miocenijskich, leżących na nierównym podłożu kambryjskim.

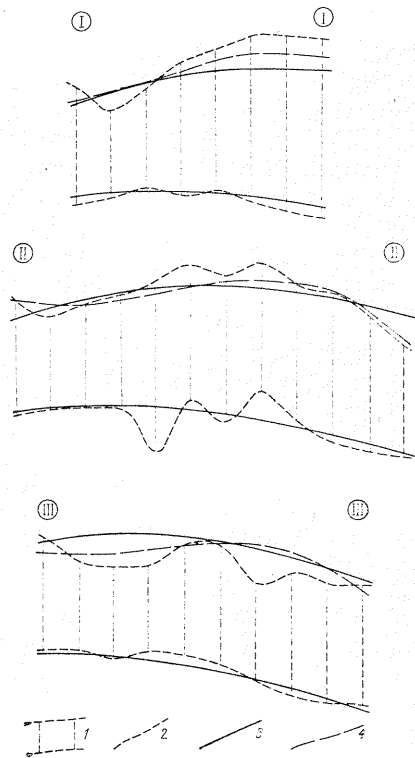


Fig. 8. Przekroje z map powierzchni trendów drugiego i trzeciego stopnia

Cross sections from the maps of trend surfaces of the second and third degree

1 — otwory wiertnicze; 2 — rzeczywiste powierzchnie stropu i spągu serii złożowej; 3 — powierzchnie trendów drugiego stopnia; 4 — powierzchnia trendu trzeciego stopnia stropu serii złożowej

1 — boreholes; 2 — real surfaces of the top and bottom of productive series; 3 — trend surfaces of the second degree; 4 — trend surface of the third degree of the top of productive series

Na przekrojach można również zaobserwować zmniejszanie się miąższości serii złożowej w kierunku południowym. Zjawisko to dobitniej ilustruje porównanie map trendów 1-go stopnia (fig. 4). W przypadku spągu serii złożowej powierzchnia trendu 1-go stopnia wykazuje wyraźny upad w kierunku NE pod kątem ok. $0,7^\circ$. W ułożeniu powierzchni stropowej natomiast nie można prześledzić wyraźnego kierunku zapadania. Aproksymacja trendu za pomocą wielomianu 1-go stopnia daje płaszczyznę prawie poziomą, położoną na wysokości równej średniej rzędnej stropu serii złożowej. Śledząc ułożenie obu płaszczyzn na przekroju (fig. 9), uzyskujemy wyraźny obraz zmian miąższości w kierunku równoległym do zapadania warstw. Powyższe zmiany miąższości można wiązać bądź to

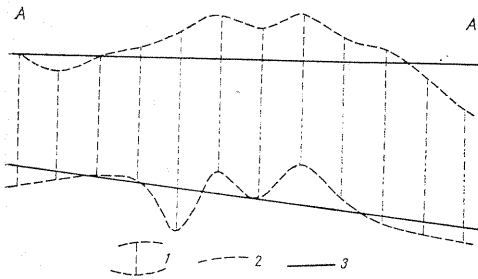


Fig. 9. Przekrój z mapy powierzchni trendów pierwszego stopnia

Cross section from the map of trend surface of the first degree

1 — otwory wiertnicze; 2 — rzeczywiste powierzchnie stropu i spągu serii złożowej; 3 — powierzchnie trendów

1 — boreholes; 2 — real surface of the top and bottom of productive series; 3 — trend surfaces

z pierwotnym nachyleniem dna zbiornika sedymentacyjnego, bądź też z erozją serii chemicznej przed osadzeniem wyżej leżących iłów. W przypadku spągu serii złożowej powierzchnie trendowe 1 i 2-go stopnia całkowicie tłumaczą prawidłowości jej ułożenia.

Morfologia stropu serii jest bardziej skomplikowana, gdyż aproksymacja powierzchni trendu za pomocą wielomianu 3-go stopnia (fig. 7) ujawnia jeszcze jej prawidłowości. Sugeruje to, że rzeźba powierzchni stropowej była kształtowana przez dodatkowe czynniki, które nie miały wpływu na morfologię powierzchni spągowej. Czynnikiem takim mogły być procesy krasowe, stwierdzone w złożach siarki, lub erozja serii złożo

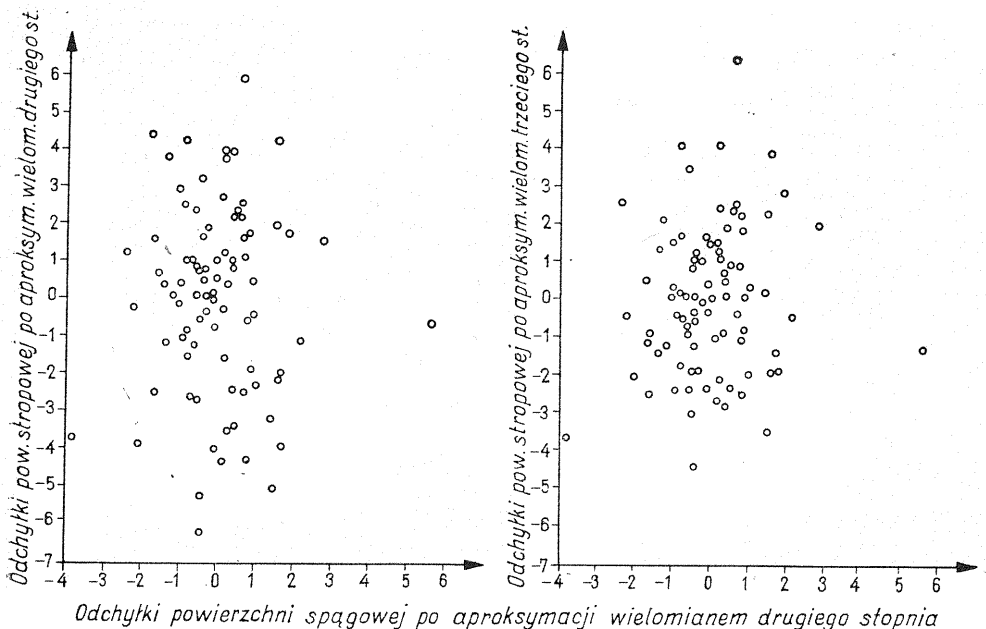


Fig. 10. Wykres korelacyjny odchyłek rzędnych stropu i spągu od wartości trendowych

Correlation diagram of the deviations of ordinates of the top and bottom from the trend values

wej przed osadzeniem wyżej leżących ilów, za czym przemawiałyby wspomniane zmniejszanie się jej miąższości w kierunku przeciwnym do zapadania.

Aproksymowane powierzchnie trendowe nie wyjaśniają całkowicie obserwowanej zmienności rzeźby powierzchni stropowej i spągowej. Odchyłki rzędnych stropu i spągu od wartości trendowych są wzajemnie nie skorelowane (fig. 10). Można więc przyjąć, że reprezentują one lokalne formy morfologiczne, których geneza jest inna w przypadku spągu, inna w przypadku stropu serii. W przypadku spągu odzwierciedlają one zapewne pierwotną rzeźbę dna zbiornika, w którym sedymentowały osady chemiczne, zaś w przypadku stropu drobne formy morfologiczne związane są z rzeźbą krasową.

PODSUMOWANIE

Analiza trendów zastosowana do badania morfologii stropu i spągu serii złożowej wykazuje jej poligeniczność. Można sformułować hipotezę, że czynnikami kształtującymi obecnie obserwowaną morfologię powierzchni spągowej, obok pierwotnej rzeźby dna zbiornika sedymentacyjnego, były również procesy tektoniczne, w przypadku powierzchni stropowej obok zjawisk tektonicznych również procesy erozyjno-krasowe. Na obecność zjawisk krasowych wskazują zaburzenia mikrotektoniczne w bezpośrednim nadkładzie serii złożowej, których powstanie wiąże się z procesem ługowania wapieni siarkonośnych pod nadkładem ilastym (M. Nieć, 1970; M. Nieć, J. Szczepańska, 1970; J. Górecki, 1973). Do podjęcia bądź odrzucenia hipotezy o erozyjnym zniszczeniu powierzchni stropowej brak jest dostatecznych danych obserwacyjnych. Warto jednak zasygnalizować potrzebę weryfikacji tej hipotezy z uwagi na jej znaczenie w rozważaniach nad syn- czy epigenezą złoża.

Instytut Hydrogeologii
i Geologii Inżynierskiej AGH
Kraków, ul. Mickiewicza 30
Nadesłano dnia 1 października 1973 r.

PIŚMIENNICTWO

- GÓRECKI J. (1973) — Przyczynek do mikrotektoniki złoża siarki w Jeziórku k. Tarnobrzega. Zesz. nauk. AGH, nr 361, Geologia, z. 17, p. 157—163. Kraków.
- KRUMBEIN W. C., GRAYBILL F. A. (1965) — An Introduction to Statistical Models in Geology. N. York.
- NIEĆ M. (1970) — Morfologia stropu złóż siarki i jej wpływ na mikrotektonikę skał nadkładu. Roczn. Pol. Tow. Geol., 40, p. 325—339. Kraków.
- NIEĆ M., SZCZEPAŃSKA J. (1970) — Zaburzenia mikrotektoniczne złoża siarki w Grzybowie i w jego nadkładzie. Tech. Poszukiwań, z. 34, p. 24—29. Warszawa.
- PAWŁOWSKI S. (1968) — Geology of Sulphur Deposits in Poland. Intern. Geol. Congr. Rep. XXIII Ses. Proc. Sec. 8., p. 249—267. Prague.

Ежя ГУ РЕЦКИ, Марек НЕЦ

МОРФОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕРЫ — ПОПЫТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Резюме

Морфология кровли и подошвы месторождения серы дифференцирована. Для выявления закономерностей рельефа этих поверхностей применен анализ трендов. Аппроксимация проведена при помощи многочленов первой, второй и третьей степени.

При сравнении карт трендов обеих поверхностей можно обнаружить наличие непрерывных деформации. Они могут быть вызваны или тектонической деятельностью или уплотнением. Кровля имеет более дифференцированный рельеф, чем подошва. Она вероятно подверглась карстовым процессам или эрозии. Уменьшение мощности месторождения в направлении противоположном погружению говорит о эрозионном срезе месторождения до осаждения младших пород.

Jerzy GÓRECKI, Marek NIEĆ

MORPHOLOGY OF SULPHUR DEPOSIT — A MATHEMATICAL ANALYSIS

Summary

Trend surface analysis was applied for studying top and bottom surface morphology of sulphur deposit with the aim to determine factors controlling the shape of these surfaces. Polynomials of the first, second and third degree were applied.

A comparison of the second degree trends of both surfaces enable us to detect the presence of some continuous deformations produced by tectonic activity or compactness. The top surface is more complicated than the bottom one. It was probably submitted to karst or erosional processes. A decrease in thickness of the deposit in the direction opposite to the dip suggests the erosion before the deposition of the overlying clays.