

## AUTOMATYZACJA OPRACOWANIA DIAGRAMÓW SPEKAŃ PRZY UŻYCIU EMC

UKD 551.252(064.21):681.3.06 Odra 1304

Jedną z najczęściej stosowanych form przedstawiania wyników pomiarów orientacji spekań są diagramy konturowe sporządzane na równopowierzchniowej siatce Lamberta Schmidta. Opracowanie diagramu jest czynnością żmudną i pracochłonną, realizowaną w trzech etapach. Pierwszy obejmuje naniesienie punktów na diagram, w wyniku czego powstaje diagram punktowy. Każdy punkt jest rzutem punktu przebicia normalnej do spekania z powierzchnią półkuli, której podstawę stanowi wykreślony diagram. W drugim etapie określa się względną częstość punktów na powierzchni diagramu, a w trzecim przeprowadza interpolację izolinii zagęszczenia punktów.

Uzyskany obraz orientacji spekań nie jest wolny od błędów, których źródłem są stosowane odwzorowania powierzchni półkuli na płaszczyznę i uproszczone metody określania częstości obserwacji i ich wyrównywania w poszczególnych przedziałach kątowych biegu i upadu przeprowadzone na diagramie. Częstości te określa się i wyrównuje najczęściej za pomocą prostego szablonu krążkowego na podstawie regularnej, kwadratowej siatki punktów (węzłów), naniesionych na diagram.

Wymienione trudności sprawiły, że wielokrotnie podejmowano już próby zastosowania maszyn cyfrowych do wykonywania diagramów spekań. Jednej z najbardziej udanych prób dokonał G. Warnre (6). Opracowany przez niego program na maszynie UNIVAC 1108 w języku FORTRAN został adoptowany na maszynę ODRA 1304 i poszerzony o podprogramy, umożliwiające analizę statystyczną wyników pomiarów.

Założeniem programu jest wprowadzenie takiej procedury obliczenia i wyrównywania względnej częstości obserwacji w poszczególnych przedziałach ką-

towych, która nie byłaby obciążona żadnymi błędami. Praktycznie jest to możliwe tylko wówczas, gdy zliczenie punktów projekcyjnych, reprezentujących spekania, będzie wykonywane na powierzchni kuli przed ich rzutowaniem na płaszczyznę. Opracowany przez G. Warnre algorytm umożliwia taką operację.

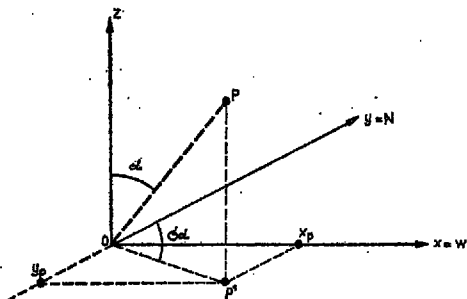
Po wykonaniu obliczeń częstości i ich wyrównaniu, odwzorowanie powierzchni półkuli na płaszczyznę można przeprowadzić dowolną metodą. Jej wybór nie ma wpływu na uzyskany obraz przestrzennej orientacji spekań. Najdogodniej — jak to uczynił autor programu — jest posłużyć się odwzorowaniem Wulfa, które dzięki temu, że jest odwzorowaniem równokątnym umożliwia dokonywanie pomiarów kątowych na diagramie i przekształceń zarejestrowanego układu spekań. Warto przypomnieć, że opracowanie diagramów na siatce Wulfa, która nie jest odwzorowaniem równopowierzchniowym, nastęrcza normalnie dużo trudności. Do zliczania punktów na powierzchni siatki trzeba stosować krążki o średnicy zmiennej w zależności od położenia węzła wyrównania względem środka diagramu (szablony Prokina).

Każde spekanie przedstawiamy za pomocą punktu przebicia powierzchni kuli przez normalną do płaszczyzny spekania. Jeżeli promień kuli = 1, wówczas kąt zapadania  $\alpha$  i kąt kierunku zapadania  $\sigma_\alpha$  są współrzędnymi sferycznymi, określającymi położenie punktu w przestrzeni. Współrzędne te można zamienić na kartezjańskie w oparciu o proste wzory (ryc. 1):

$$x = \sin \alpha \sin \sigma_\alpha$$

$$y = \sin \alpha \cos \sigma_\alpha$$

$$z = \cos \alpha$$



Ryc. 1. Zmiana współrzędnych sferycznych na kartezjańskie (objaśnienia w tekście)

Fig. 1. Conversion of spherical coordinates into Cartesian (explanations in the Polish text).

Kąt między pionową osią z a normalną do spekania jest równy kątowi zapadania.

Dla wyznaczonej siatki punktów na diagramie stanowiących węzły wyrównania należy znaleźć ich odwzorowanie na powierzchni kuli. Dla siatki Wulfa mamy (ryc. 2):

$$\beta = 2 \arctg(\alpha)$$

$$\gamma = \arctg \frac{x}{y}$$

gdzie

$$\alpha = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Mając wartości  $\beta$  i  $\gamma$ , można znaleźć współrzędne kartezjańskie punktów wyrównania. Wartości  $\beta$  i  $\gamma$  wylicza się dla każdego danego węzła wyrównania. Zliczanie punktów reprezentujących pomiary spekań wykonuje się w obrębie kolistych sektorów o powierzchni wynoszącej 1% w stosunku do powierzchni półkuli. Sektor taki można wyznaczyć w oparciu o odpowiednio dobrany kąt  $\varphi$ . Jest to kąt wierzchołkowy stożka wspartego na okręgu sektora, w obrębie którego dokonuje się zliczania punktów, i z wierzchołkiem znajdującym się w środku kuli (ryc. 3). Każdorazowo zlicza się tylko te punkty, dla których odległość kątowa od węzła wyrównania mierzona kątem  $\delta$  jest mniejsza lub równa  $\varphi$ . Kąt  $\delta$  można określić ze wzoru:

$$\delta = \arccos |x_b x_a + y_b y_a + z_b z_a|$$

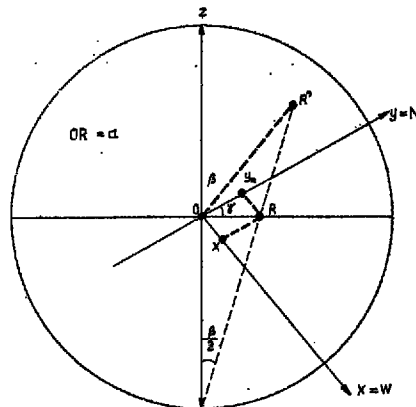
gdzie:  $x_a, y_a, z_a$  — współrzędne węzła wyrównania,  
 $x_b, y_b, z_b$  — współrzędne danego punktu.

Ilość punktów zliczonych wokół każdego węzła wyrównania  $n_i$  przelicza się w procentach w stosunku do całkowitej ilości punktów reprezentujących pomiarzone spekania.

Na diagramie w miejscu każdego węzła wyrównania wydrukowany zostaje symbol odpowiadający klasie częstości, w obrębie której znajduje się wyliczona wartość  $n_i$ %. Stosowane są symbole alfaumeryczne od 0 do 9, a następnie od A do Z dla przedziałów klasowych o szerokości 1%.

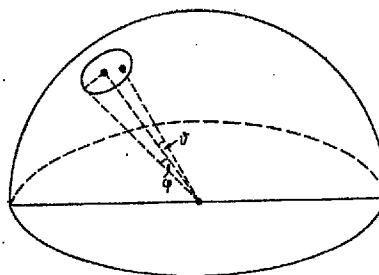
Wydruk diagramu może być zrealizowany w dwu wersjach, tzw. długiej i krótkiej. W wersji długiej wartości  $n_i$  wylicza się dla węzłów wyrównania rozmieszczonych w regularnej siatce na powierzchni diagramu. W wersji krótkiej węzłami wyrównania są same punkty, stanowiące odwzorowanie poszczególnych spekań (metoda Lowe-Eitler).

Uzupełnienie programu stanowi podprogram pozwalający na obrót diagramu o dowolny kąt w przestrzeni. Istnieją tu dwie możliwości:



Ryc. 2. Zasada rzutowania „węzłów wyrównania” na powierzchnię kuli (objaśnienia w tekście)

Fig. 2. Principle of projection of „counting points” on surface of sphere (explanations in the Polish text).



Ryc. 3. Zasada zliczania punktów projekcyjnych zgrupowanych wokół „węzła wyrównania”

Fig. 3. Principle of counting projection points clustered around „counting points”

a) obrót jest określony przez dwa kąty obrotu w płaszczyźnie pionowej  $\delta$  i płaszczyźnie poziomej  $\eta$ ,

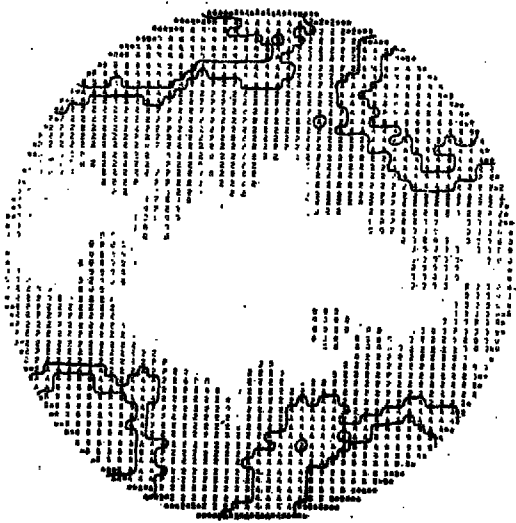
b) zadane są elementy ułożenia układu odniesienia, kierunek zapadania i kąt upadku, przed i po obrocie, a kąty obrotu w płaszczyźnie pionowej i poziomej są wyliczane.

Drugi z wymienionych wariantów rotacji dotyczy wypadku, gdy mamy za zadanie odwzorzyć elementy ułożenia spekań przed ich wyruszeniem z pierwotnego położenia, np. w czasie fałdowania. Elementami ułożenia układu odniesienia przed rotacją są wówczas kierunek i kąt zapadania warstwowania. Jeśli założymy, że w trakcie fałdowania nie następowała rotacja w płaszczyźnie poziomej, wówczas możemy przyjąć, że po obrocie, sprowadzającym układ do pierwotnego położenia, rozciągłość warstw nie ulega zmianie, a kąt upadku wynosi  $0^\circ$ .

**Zmiany i uzupełnienia programu.** Program w wersji oryginalnej wykorzystuje wyniki pomiarów spekań notowanych systemem amerykańskim, w którym zapis przedstawia się przykładowo w sposób następujący:

N 20 E, 50

Pierwsze trzy symbole oznaczają kierunek zapadania określony przez symbole ćwiartki koła azymutalnego (NE) i azymut liczony w obrębie ćwiartki (od kierunku N ku E). Za kierunek  $0^\circ$  przyjmuje się odpowiednio kierunek N lub S. Czwarty symbol po przecinku oznacza kąt zapadania.



Ryc. 4. Przykład diagramu spękań opracowanego na EMC Odra 1304

Fig. 4. Example of fracture diagramme processed using computer ODRA 1304.

Program adaptowany na ODRE dostosowano do zapisu najczęściej stosowanego w Polsce, w którym podaje się kierunek zapadania mierzony od kierunku N, zgodnie z ruchem wskazówek zegara (od 0 do 360°) i kąt upadu, np. 275/34. Coraz częstsze zastosowanie w praktyce kompasów z podziałem w gradach skłoniło nas do uzupełnienia programu podprogramem przeliczania gradów na stopnie. Drugie uzupełnienie dotyczy analizy statystycznej pomiarów spękań. Zasady jej są następujące: w wypadku gdy w orientacji spękań nie można wyróżnić uprzywilejowanych kierunków, a więc gdy rozkład elementów zalegania jest równomierny dla każdej wydzielonej części diagramu, można określić spodziewaną ilość obserwacji. Wyniesie ona:

$$m_i = N \frac{S_i}{S}$$

gdzie:  $N$  — liczba wszystkich obserwacji,

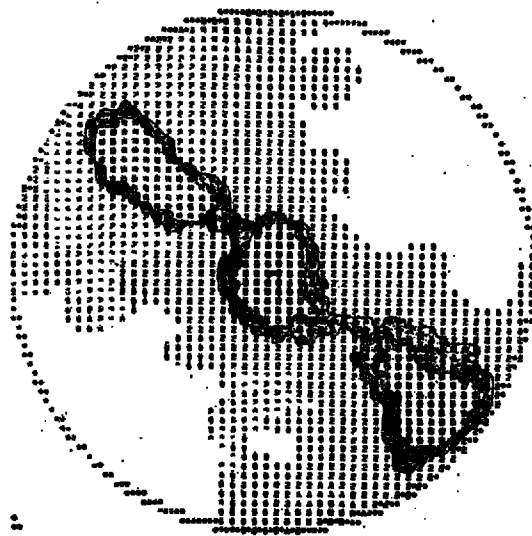
$S_i$  — powierzchnia wydzielonego sektora na półkuli, w obrębie którego zlicza się punkty projekcyjne,

$S$  — powierzchnia półkuli.

Rzeczywista liczba punktów zliczanych w wyznaczonych sektorach półkuli  $n_i$  jest różna od  $m_i$ . Wartości  $n_i$  możemy uznać za zmienne losowe, a przyjmując określony poziom istotności możemy badać czy obserwowane różnice między wartościami  $m_i$  i  $n_i$  są istotne. Istotność takiej różnicy informuje nas o tendencji do skupiania lub rozpraszania obserwacji, a więc o występowaniu istotnej statystycznej orientacji spękań.

Jeśli założymy, że  $n_i$  jako zmienna losowa przy  $N \rightarrow \infty$  ma rozkład normalny prawdopodobieństwa, wówczas dla wyliczonej z góry wartości  $m_i$  możemy wyliczyć wartości maksymalne  $n_{i\max}$ , które jeszcze dopuszczają przyjęcie hipotezy, że nie ma istotnych różnic między obserwowaną wartością  $n_i$  a oczekiwaną  $m_i$ . A. B. Wistelius (vide J. Krokowski;) zaproponował do określenia wartości  $n_{i\max}$  wzór:

$$n_{i\max} = \frac{N(2m_i + t^2) + \sqrt{t^2 N^2 + 4t^2 N m_i (N - m_i)}}{4(t^2 + N)}$$



Ryc. 5. Diagram spękań jak na ryc. 4 po obrocie o kąt  $\eta = 45^\circ$  i  $\delta = 90^\circ$

Fig. 5. Fracture diagramme such as that from Fig. 4, rotated by the angle  $\eta = 45^\circ$  and  $\delta = 90^\circ$ .

gdzie  $t$  jest standaryzowaną zmienną losową rozkładu normalnego. Wartości  $t$  dla odpowiednich poziomów istotności wynoszą:

poziom istotności	$t$
0,05	1,96
0,01	3,29

Dla każdego poziomu istotności otrzymamy po dwie wartości  $n_{i\max}$ ,

które oznaczymy  $n_\alpha$  i  $n_{\alpha'}$ ,  
przy czym  $n_\alpha < n_{\alpha'}$ .

W zależności od stosunku obliczonych wartości  $n_i$  do  $n_\alpha$  można wydzielić na diagramach spękań kilka stref:

- 1) strefę rozproszenia  $n_i \leq n_{0,01}$ ,
- 2) strefę przejściową między strefą rozproszenia a strefą równomiernego rozkładu  $n_{0,01} < n_i \leq n_{0,05}$ ,
- 3) strefę równomiernego rozkładu spękań  $n_{0,05} < n_i \leq n_{0,05'}$ ,
- 4) strefę przejściową między strefą rozkładu równomiernego a strefą koncentracji  $n_{0,05} < n_i \leq n_{0,01'}$ ,
- 5) strefę koncentracji  $n_i > n_{0,01'}$ .

W programie przyjęto, że testowanie przeprowadza się w stosunku do ilości punktów skupionych wokół każdego węzła wyrównania. Ponieważ każdemu węzłowi przypisuje się stałą powierzchnię sektora półkuli, w obrębie którego zlicza się punkty projekcyjne spękań, wobec tego  $m_i = \text{const}$ . Na diagramie są wydrukowane symbole odpowiednio przyporządkowane wydzielonym 5 strefom (dla stref 1–3 symbole 0, 1, 2, dla strefy 4 i 5 symbole A i B).

**Dalsze możliwości programu.** Program został adaptowany przede wszystkim do opracowywania wyników pomiarów spękań. Może jednakże być wykorzystany także do opracowywania dowolnych pomiarów kierunkowych przedstawianych w rzucie stereograficznym, np. pomiarów lineacji, wyników pomiarów dokonywanych na stoliku uniwersalnym itp.

**Czas pracy.** Program dla ok. 100–200 pomiarów realizuje obliczenia na maszynie i wydruk diagramu w bardzo różnym czasie, zależnie od rodzaju użytej maszyny. Ilustruje to poniższe zestawienie:

maszyna	czas obliczenia
UNIVAC 1108	0,1— 0,2 min.
BESM 6	4 — 8 min.
BESM 4	30 — 40 min.
ODRA 1304	60 —120 min.

Czas obliczeń można skrócić, przyjmując mniejszą gęstość węzłów wyrównania.

#### LITERATURA

1. Bonyun D., Stevens G. — A general purpose computer program to produce geological stereo net diagrams. [In:] Data Processing in Biology and Geology. London, 1974.

#### SUMMARY

The programme for construction of contour diagrams of fractures, prepared by G. Warnre, is adapted for computer ODRA 1304. It is supplemented by subroutines of conversion of grades into degrees and by statistical analysis of concentration of fractures performed according to A. B. Wistelius's method.

2. Krokowski J. — Statystyczne opracowanie spekał ciosowych wapieni środkowego triasu i górnej jury między Krakowem a Chrzanowem. Zesz. nauk. AGH, ser.: Geologia, 1974, z. 19.
3. Spencer A. B., Glabaugh P. S. — Computer program for fabric diagrams. Amer. J. Sci., vol. 265, 1967.
4. Szatagin N. N., Sandomirskij S. A. — Postrojenije krugowych diagramm na EWM. Izv. ANSSSR, sier. geolog., 1974, nr 9.
5. Warnre G. — Fortran IV Program for Construction of Pi Diagrams with the Univac 1108 Computer. Kansas Geol. Surv. Comp. Contr., vol. 12, 1969.

#### РЕЗЮМЕ

Программа составления контурных диаграмм трещиноватости, составленная Г. Варнре, была преобразована для обработки на ЭВМ Одра-1304. Она была дополнена подпрограммами перевода градусов в градусы и статистического анализа концентрации трещин в определенных системах методом, предложенным А. Б. Вистелиусом.