

Wojciech SALSKI

Metodyka badań mezoskopowych zjawisk tektonicznych w wyrobiskach górniczych

WSTĘP

Rozpoznanie budowy tektonicznej terenu za pomocą wierceń ma z reguły charakter ogólny i jest niewystarczające dla potrzeb górnictwa. Funkcjonowanie kopalni wymaga dalszego kontynuowania badań w tym zakresie. Badania te obejmują przede wszystkim rejestrowanie i rozpoznawanie elementów przestrzennego ułożenia złoża, przebiegu fałdów oraz dyslokacji nieciągłych. Bardzo istotną rolę w ogólnym rozpoznawaniu warunków geologicznych terenu spełniają badania szczelinowatości i spękań w skałach. Mogą one być prowadzone w celu rozwiązywania zagadnień hydrogeologicznych, tektonicznych, geologiczno-inżynierskich oraz złożowych. Każdy z wymienionych problemów w czasie wykonywania obserwacji wymaga zwrócenia uwagi na nieco inne zjawiska.

Istnieją jednak również pewne elementy, które określane są bez względu na to, jakiej problematyce badania te mają służyć. Do takich należą przede wszystkim pomiary przestrzennego ułożenia spękań, umożliwiające określenie, jakie kierunki są dominujące. Dane te, jak również obserwacje charakteru i morfologii spękań stanowią punkt wyjścia do rozważań na temat wieku i genezy tych form. Na całokształt badań szczelinowatości i spękań składają się następujące zagadnienia:

1. Masowe pomiary azymutów płaszczyzn spękań oraz wielkości i kierunku kątów upadu w podziale na bloki tektoniczne i serie litologiczne.

2. Obserwacje morfologii spękań i powierzchni ślizgowych, obejmujące spostrzeżenia na temat stopnia rozwarcia spękań, charakteru powierzchni, obecności rys, pionowego lub poziomego zasięgu oraz charakteru wypełnienia szczelin.

3. Ustalenie związku przestrzennego i czasowego między spękaniami i uskokami a strukturami fałdowymi.

4. Obserwacje wtórnej mineralizacji, związanej ze spękaniami i szczelinowatością skał.

5. Ilościowe określenie zjawisk szczelinowatości i spękań oraz ich zmienności w przestrzeni.

6. Obserwacje krasu rozwijającego się w skałach węglanowych na bazie szczelinowatości.

7. Określenie wieku zjawisk tektonicznych oraz związanych z nimi wtórnych procesów.

Wymienione zagadnienia uwzględniane są na ogół we wszystkich kierunkach badań szczelinowatości i spękań w skałach, posiadają jednak różną rangę. Z punktu widzenia potrzeb hydrogeologii najistotniejsze jest ilościowe wyrażenie stopnia szczelinowatości skał, wielkości rozwarcia szczelin, określenie wodonośnego charakteru poszczególnych systemów spękań oraz ewentualnych przejawów krasowienia skał węglanowych. W badaniach tektonicznych dominującą rolę odgrywa określenie przestrzennego ułożenia głównych kierunków spękań, ich związku z uskokami i strukturami fałdowymi oraz wyjaśnienie genezy spękań. W problematyce geotechnicznej zjawiska szczelinowatości i spękań odgrywają dużą rolę ze względu na znaczny wpływ, jaki wywierają na urabialność skał oraz zachowanie się warstw stropowych w wyrobiskach eksploatacyjnych. Dla powyższych celów konieczna jest przede wszystkim znajomość przebiegu spękań w górotworze, ich zasięg, częstotliwość występowania oraz stopień rozwarcia. W badaniach złożowych zasadniczą rolę odgrywają obserwacje wtórnej mineralizacji poszczególnych systemów szczelin, z wyróżnieniem rodzaju minerałów, ich współzależności wiekowej oraz wpływu tych zjawisk na wartość użyteczną złoża. Posiada to szczególnie duże znaczenie w rozpoznawaniu złóż typu żyłowego. Szeroki zakres badań tektonicznych wykonanych w kopalniach Lubin i Polkowice na monoklinie przedsudeckiej umożliwił dokonanie szeregu spostrzeżeń na temat metody pomiarów spękań w wyrobiskach górniczych. Zagadnienia te rzutują w poważnym stopniu na wiarygodność wyników obserwacji i pomiarów, dlatego też mają duże znaczenie praktyczne.

W związku z opracowaniem niniejszego tematu pragnę złożyć serdeczne podziękowanie Panu Prof. drowi Józefowi Obercowi za okazaną mi pomoc i cenne uwagi.

WPLYW ORIENTACJI WYROBISK GÓRNICZYCH NA WYNIKI POMIARÓW SPĘKAŃ

Badania struktur ciągłych i uskoków w kopalniach nie różnią się od badań tych form na powierzchni ziemi. Natomiast obserwacje szczelinowatości i spękań w skałach mają odmienny charakter w wyrobiskach górniczych niż w naturalnych odsłonięciach. W kopalni istnieje z reguły możliwość wykonania wielkiej ilości pomiarów na małej powierzchni. Ponadto roboty górnicze udostępniają często dla obserwacji różne serie litologiczne w tym samym rejonie. Można tu porównywać charakter i kierunki spękań w profilu pionowym. Z drugiej strony — liniowe zorientowanie wyrobisk górniczych narzuca pewne rygory przy wykonywaniu pomiarów.

W celu określenia wpływu usytuowania wyrobisk na uzyskane wyniki wykonano zestawienia pomiarów z pojedynczych chodników oraz grupy wyrobisk różnie zorientowanych względem siebie (fig. 1, 2). Roz-

kład systemów spękań jest w znacznym stopniu uzależniony od przestrzennego zorientowania powierzchni, na których dokonuje się obserwacji. Prawidłowością jest tutaj spotegowany udział spękań równoległych, a przede wszystkim skośnych do ociosów. Słabo natomiast reprezentowane są spękania prostopadłe. Podobne zjawisko obserwowane było przez A. W. Peka i J. J. Lisycynę (1963) w jednej z kopalń Związku Radzieckiego w granitoidach i rogowcach.

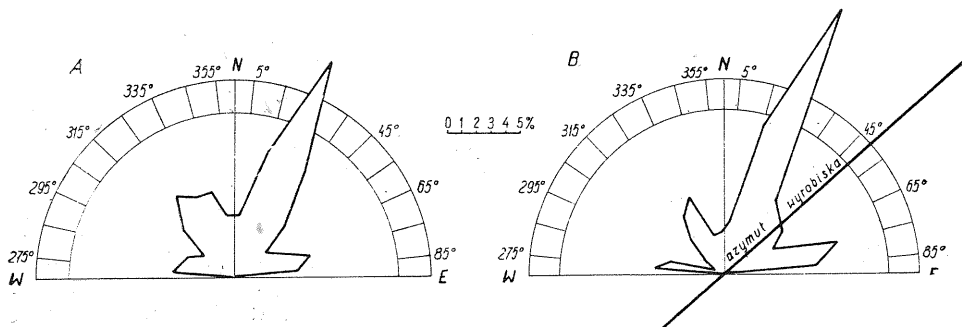


Fig. 1. Zestawienie wyników pomiarów spękań z wyrobisk różnie zorientowanych (A) oraz pojedynczego chodnika (B); seria wapienno-dolomitowa cechsztynu, rejon szybów głównych kopalni Polkowice

Comparison of the results of measurements of fractures in mine workings of different orientation (A) and in a single gangway (B); limestone-dolomite series of Zechstein age; vicinity of main shafts in mine Polkowice

Przyczyną tego jest najprawdopodobniej wpływ urabiania skał za pomocą materiałów wybuchowych, co powoduje szczególnie wyraźne uzewnętrzanie ukrytych uprzednio spękań (ciosu) przebiegających pod ostrymi kątami w stosunku do ociosów wyrobisk górniczych (bliższe określenie tego kąta wyjaśnia fig. 4). Spękania prostopadłe do obserwowanych powierzchni niewątpliwie występują również, jednak uchodzą uwagi wykonującego pomiary ze względu na przyleganie ścian pęknięć do siebie. Sytuacje takie nie zaznaczają się w przypadku szczelin otwartych lub wtórnie zmineralizowanych.

Powyższe zagadnienia wyraźnie ilustruje zestawienie pomiarów przeprowadzonych w skałach wapienno-dolomitowych w rejonie szybów głównych kopalni Polkowice (fig. 1). Z róży spękań obejmującej pomiary pochodzące z różnie zorientowanych wyrobisk górniczych wynika, że występują tutaj następujące systemy spękań:

Kierunek spękań	Procentowy udział poszczególnych kierunków spękań
NNE — SSW	44,0
NNW — SSE	28,5
W — E	27,5

Powyższy układ odpowiada obiektywnie istniejącemu rozkładowi kierunków spękań w górotworze. Wyniki obserwacji wykonanych w tym samym rejonie w pojedynczym chodniku przedstawiają się następująco:

Kierunek spękań	Procentowy udział poszczególnych kierunków spękań
NNE — SSW	52,5
ENE — WSW	26,0
NNW — SSE	21,5

W pomiarach wykonanych w pojedynczym chodniku, jak wynika z porównania obydwu zestawień, zaznacza się wyraźny wzrost udziału spękań o kierunku NNE — SSW. Taką system spękań tworzy kąt ostry z linią wyrobiska, co zaważyło na dalszym jego wyeksponowaniu. Ponadto obserwuje się odchylenie kierunku W — E na ENE — WSW oraz wyraźne zmniejszenie się udziału spękań o kierunku NNW — SSE.

Przytoczony wyżej przykład (fig. 1) dotyczył sytuacji, w której główny system spękań ma przebieg zbliżony do osi wyrobisk. W takim układzie różnice między różami spękań nie są zbyt wyraźne. Odmienna sytuacja ma miejsce w przypadku, kiedy główny kierunek spękań tworzy z osią wyrobiska kąt zbliżony do prostego.

W rejonie szybów głównych kopalni Lubin na podstawie pomiarów przeprowadzonych w różnie zorientowanych wyrobiskach górniczych stwierdzono następujące kierunki spękań:

Kierunek spękań	Procentowy udział poszczególnych kierunków spękań
NNW — SSE	28
NE — SW	25
NNE — SSW	21
N — S	14
W — E	12

Róża spękań (fig. 2 A) obejmuje wszystkie pomiary spękań z tego rejonu. Uzyskany obraz jest więc najbardziej zbliżony do rzeczywistego układu spękań w tym rejonie i stanowi wzorzec porównawczy dla wyników pomiarów z poszczególnych chodników. Dla lepszego zobrazowania wpływu kierunku wyrobiska na układy systemów spękań pomiary wykonano dla dwóch grup chodników: o przebiegu NW — SE (fig. 2 B) oraz NE — SW (fig. 2 C). Z wyrobisk o kierunku NW — SE uzyskano następujący układ spękań:

Kierunek spękań	Procentowy udział poszczególnych kierunków spękań
W — E	37
NNW — SSE	34
N — S	17
NE — SW	12

Porównując obydwie zestawienia zauważa się generalnie, że wyeksponowane zostały kierunki tworzące ze ścianami wyrobiska kąt ostry. System W — E odgrywający w tym rejonie rolę podrzędną uzyskał wyraźną przewagę (37%). Zwiększył się również udział spękań o kierunku NNW — SSE oraz N — S, natomiast silnie zredukowana została ilość spę-

kań o kierunku NE — SW. Całkowitemu wyeliminowaniu uległ system NNE — SSW.

Pomiary przeprowadzone w chodnikach o przebiegu NE — SW wykazały znacznie odbiegający od poprzedniego układ spękań:

Kierunek spękań	Procentowy udział poszczególnych kierunków spękań
ENE — WSW	41
NNW — SSE	33
NNE — SSW	20
W — E	6

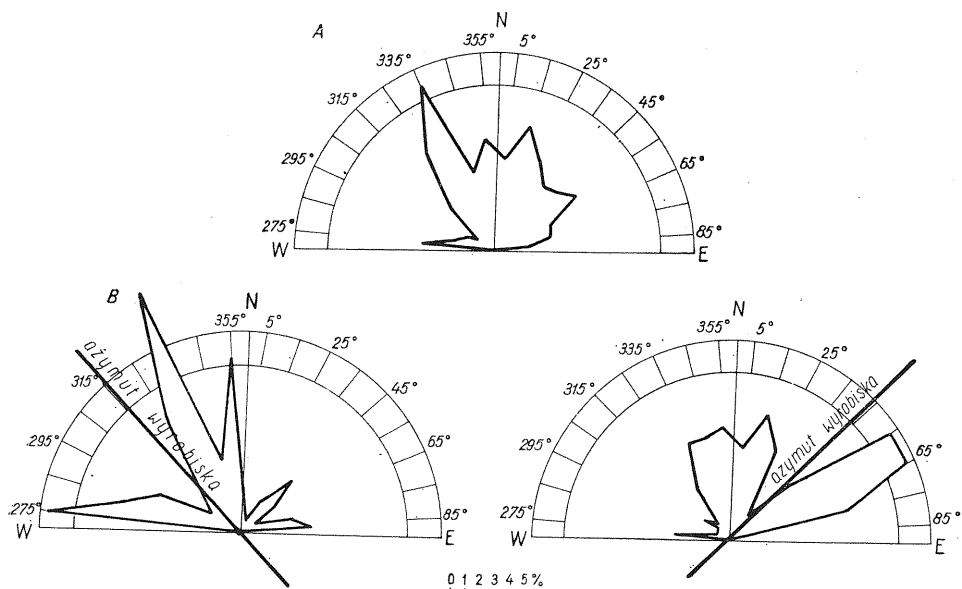


Fig. 2. Zestawienie wyników pomiarów spękań z wyrobisk o różnej orientacji przestrzennej; seria wapienno-dolomitowa cechsztynu, rejon szybów głównych kopalni Lubin

Comparison of the results of measurements of fractures in mine workings of different spatial orientation; limestone-dolomite series of Zechstein age; vicinity of main shafts in mine Lubin

A — chodniki przecinające się; B — chodniki o przebiegu NW — SE; C — chodniki o przebiegu NE — SW

A — crossing gangways; B — gangways running in a NW — SE direction; C — gangways running in a NE — SW direction

W stosunku do róży spękań charakteryzującej w pełni omawiany obszar (fig. 2 A) obserwuje się wyraźne zmiany. Kierunek NE — SW uległ odchyleniu na ENE — WSW oraz wzrósł w nim znacznie ilościowy udział spękań. Na podkreślenie zasługuje fakt, że liczniej reprezentowany jest również kierunek NNW — SSE, tworzący ze ścianami wyrobiska kąt zbliżony do prostego. Spowodowane jest to występowaniem w tej grupie spękań dużych powierzchni nieciągłości oraz żył gipsu, które są łatwe do zaobserwowania. Zredukowaniu uległ system spękań W — E, natomiast całkowitej eliminacji system N — S.

Jak wynika z przedstawionych obserwacji, pomiary wykonane w jednym wyrobisku o stałej orientacji przestrzennej dają nieprawidłowy obraz kierunków spękań. Spowodowane tym zmiany dotyczą dwóch wielkości, a mianowicie procentowego udziału spękań w poszczególnych systemach oraz przesunięć kątowych niektórych kierunków spękań. Z reguły wzrasta udział spękań w kierunkach układających się pod kątem ostrym w stosunku do osi wyrobiska oraz następuje zubożenie kierunków prostopadłych do ścian wyrobiska. Zjawisko to wykazuje wyraźną zależność od charakteru litologicznego skał. Zaznacza się dużo wyraźniej w skałach o małej zwięzłości. Różnice między diagramami spękań obejmującymi pomiary wykonane w szeregu wyrobisk górniczych wzajemnie przecinających się i w pojedynczym chodniku w mniejszym stopniu należy położyć także na karb różnic ilości pomiarów.

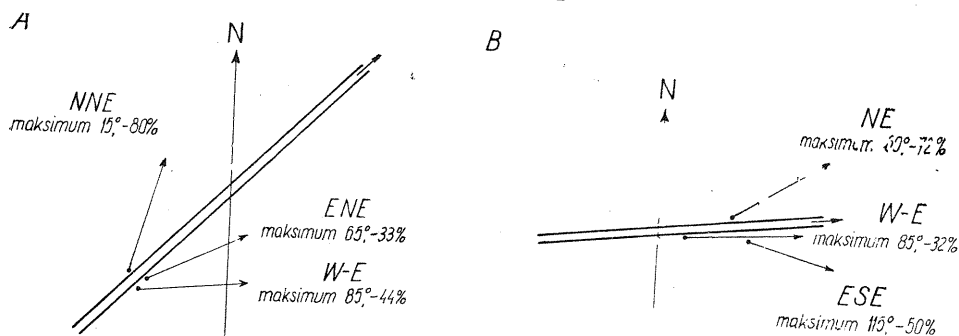


Fig. 3. Układy dominujących kierunków spękań na ociosach wyrobisk chodnikowych

Systems of predominanting fracture directions on drift sides

A — łupki miedzionośne, rejon szybów głównych kopalni Lubin; B — piaskowce białego spągowca, rejon szybu wschodniego kopalni Lubin

A — copper-bearing shales, vicinity of main shafts in the mine Lubin; B — sandstones of Weissliegendes age, vicinity of the east shaft in the mine Lubin

Z powyższych rozważań nasuwa się praktyczny wniosek co do metodyki badań szczelinowatości i spękań w warunkach kopalnianych: pomiary należy przeprowadzać w chodnikach wzajemnie prostopadłych i na jednakowej długości. Spełnienie tego warunku jest podstawą do uzyskania rzeczywistego obrazu spękań występujących w badanej partii górotworu. Zasada ta winna być szczególnie rygorystycznie przestrzegana w skałach o niskich parametrach wytrzymałościowych.

Pomiary spękań w kopalniach przeprowadzane są z reguły w wyrobiskach chodnikowych, których szerokość waha się przeważnie w granicach 2,5—3 m, a tylko w sporadycznych przypadkach osiąga 4—5 m. W związku z tym wyłania się pytanie czy pomiary spękań wykonywać należy na jednym czy też na obydwu ociosach chodnika? W celu rozwiązania tego problemu przeprowadzono badania w różnych seriach litologicznych, zestawiając spękania dla obydwu ociosów chodników (fig. 5)¹. Wykazały one, że układ spękań na przeciwnych ociosach tego samego wyrobiska jest różny. W stropie i spągu chodnika zjawisko to nie zaznacza się.

¹ Za 100% przyjmowano liczbę pomiarów na jednym ociosie; jeżeli liczba uwidoczniiona na rysunkach nie osiąga wartości 100%, oznacza to, że reszta przypada na kierunki rozproszone.

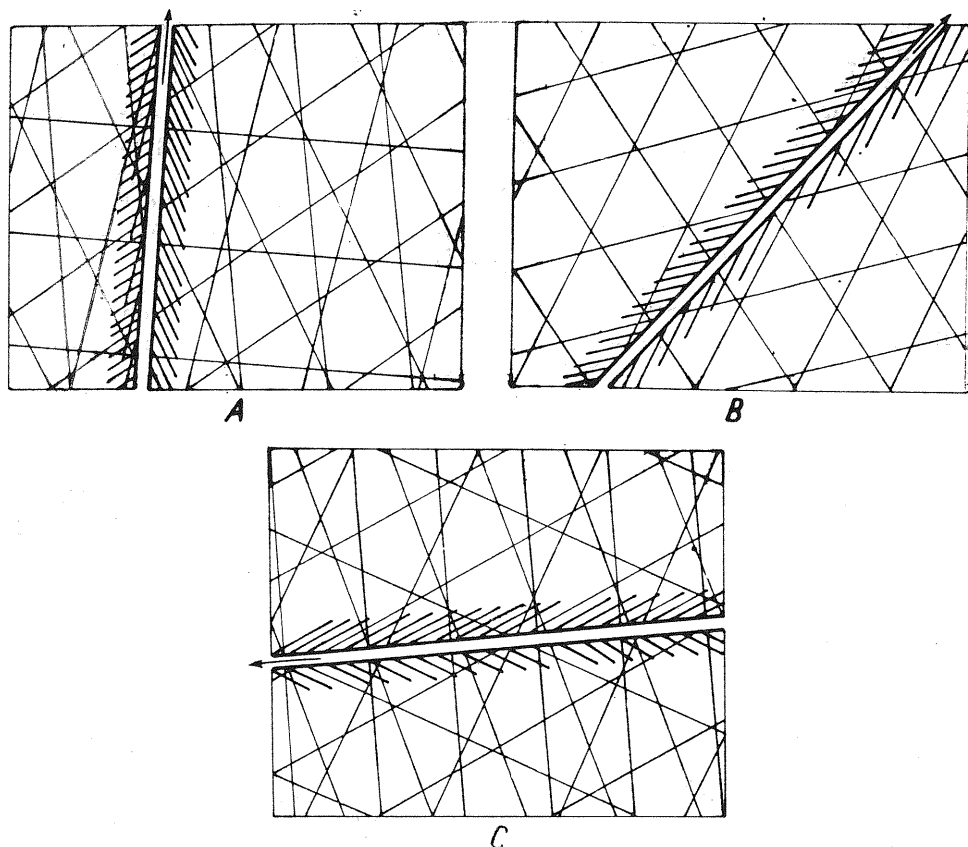


Fig. 4. Wpływ kierunku postępu chodnika i jego orientacji na wyeksponowanie określonych systemów spękań

Influence of the development direction of a gallery and of its orientation upon the exposition of the determined fracture systems

A — seria wapienno-dolomitowa cechsztynu, rejon szybów głównych kopalni Lubin; dominujące kierunki spękań w chodniku: NE—SW, NNE—SSW, NNW—SSE. B — seria wapienno-dolomitowa cechsztynu, rejon szybów głównych kopalni Polkowice; dominujące kierunki spękań w chodniku: ENE—WSW, NNE—SSW. C — piaskowce białego spągowca, rejon szybu wschodniego kopalni Lubin; dominujące kierunki spękań w chodniku: ENE—WSW, WNW—ESE

A — limestone-dolomite series of Zechstein age, vicinity of main shafts in the mine Lubin; predominating fracture directions in a gangway: NE—SW, NNE—SSW, NNW—SSE. B — limestone-dolomite series of Zechstein age, vicinity of main shafts in the mine Polkowice; predominating fracture directions in a gangway: ENE—WSW, NNE—SSW. C — sandstones of Weissligendes age, vicinity of the east shaft in the mine Lubin; predominating fracture directions in a gangway: ENE—WSW, WNW—ESE

Pomiary w łupkach miedzionośnych w rejonie szybów głównych kopalni Lubin (fig. 3 A) wykazały, że na jednym odciosie bardzo wyraźnie dominuje kierunek NNE — SSW, który stanowi 80% wszystkich spękań, natomiast na drugim przeważa system W — E (44%) oraz ENE — WSW (33%). W rejonie szybu wschodniego kopalni Lubin analogiczne zjawisko stwierdzono w piaskowcach białego spągowca (fig. 3 B). Na północnym odciosie chodnika występują głównie spękania o kierunku NE — SW, stanowiące 70%, a po stronie południowej dominuje kierunek WNW — ESE

(50%) i W — E (32%). Z przytoczonych przykładów wynika, że nie jest rzeczą obojętną czy mierzymy spękania po jednej stronie chodnika, czy też po obydwu.

Na właściwy wybór metodyki zasadniczy wpływ wywiera jednak charakter litologiczno-strukturalny skał, w których przeprowadzamy obserwacje. W łupkach miedzionośnych przeważają spękania drobne (o małym zasięgu), dlatego też słuszne jest wykonywanie pomiarów po obydwu stronach chodników. W serii wapienno-dolomitowej cechsztynu występują natomiast liczne spękania o dużym zasięgu, przecinające całe wyrobiska. W tej sytuacji wykonywanie pomiarów na obydwu ociosach tego samego chodnika uprzywilejowuje kierunek, do którego należą duże spękania, ponieważ rejestrowane są one wówczas dwukrotnie. Wynika stąd wniosek, że w skałach, w których zaznaczają się duże powierzchnie nieciągłości, obserwacjami należy obejmować przeciwne ociosy w dwóch różnych, równoległych chodnikach.

Przeprowadzone badania nasuwają również spostrzeżenia na temat związku między generalnym ustawieniem powierzchni spękań a kierunkiem postępu chodnika. Okazuje się, że wyeksponowane grupy spękań na obydwu ociosach tworzą ze sobą kąt ostry, zwrócony w kierunku postępu chodnika (fig. 4). Powyższa prawidłowość związana jest niewątpliwie z rozkładem sił w czasie kruszenia skał za pomocą materiału wybuchowego.

Opierając się na przedstawionych wnioskach co do właściwego wyboru ociosu wyrobiska oraz wpływu orientacji wyrobiska na wyniki pomiarów spękań, rozpatrzono schematyczne układy spękań z niektórych rejonów szybów (fig. 4 A, B, C). Na wykreślonej w uproszczony sposób siatkę spękań wrysowano wyrobiska górnicze o określonej orientacji. Pamiętając o zasadzie, że najlepiej uzewnętrzniają się spękania przebiegające pod ostrymi kątami do ociosu chodnika, można przewidzieć, które systemy spękań zaznaczą się wyraźniej, a które słabiej. Dane uzyskane na drodze teoretycznych przewidywań pokrywają się na ogół z obserwacjami przeprowadzonymi bezpośrednio w kopalni.

Z sytuacji uwidocznionej na fig. 4 A wynika, że w rejonie szybów głównych kopalni Lubin w chodniku o podanej orientacji i określonym kierunku postępu — w serii wapienno-dolomitowej — dominują następujące systemy spękań: NE — SW, NNE — SSW i NNW — SSE. W układzie przedstawionym na fig. 4 B wyeksponowane zostały spękania o kierunku ENE — WSW i NNE — SSW, natomiast w piaskowcach białego spągowca w rejonie szybu wschodniego, w chodniku o przebiegu równoleżnikowym, przeważa grupa spękań ENE — WSW i WNW — ESE (fig. 4 C).

GRAFICZNE PRZEDSTAWIANIE WYNIKÓW POMIARÓW ORAZ ICH PORÓWNYWANIE

Pomiary spękań wymagają opracowania graficznego, które umożliwia wyciągnięcie wniosków co do ogólnego charakteru tych zjawisk. W tym celu stosowane są diagramy spękań, wśród których można wyróżnić dwa rodzaje. Pierwszy stanowią diagramy uwzględniające wyłącznie azymuty spękań; należy tutaj powszechnie stosowana róża spękań. Drugi typ re-

prezentują tzw. diagramy konturowe, uwzględniające zarówno azymuty, jak i wielkości kątów upadu spękań.

Przy konstruowaniu diagramów konturowych istotną rzeczą jest wybór właściwej metody odwzorowania obrazu z powierzchni kuli na płaszczyznę. Powszechnie stosowana w geologii strukturalnej równopowierzchniowa siatka Schmidta, w przypadku zdecydowanej przewagi spękań stromo zapadających, stwarza trudności natury graficznej. Zmniejszanie się odległości między równoleżnikami ku obwodowi siatki potęguje zagęszczenie izolinii przy obwodzie diagramu i wpływa ujemnie na jego czytelność, dlatego też przy rozwiązywaniu zagadnień tektonicznych na badanym terenie posługiwano się siatką równoodrzutowującą (A. B. Wistelius, 1958). W odwzorowaniu tym odstęp między równoleżnikami jest stały. W związku z tym izolinie w peryferycznych częściach diagramu ulegają mniejszemu skupieniu. Zdaniem A. B. Witeliusa (1958) siatka równoodrzutowująca wywołuje najmniejsze deformacje i w związku z tym jest dogodniejsza dla badań strukturalnych aniżeli siatka stereograficzna (Wulfa) czy równopowierzchniowa (Schmidta). W przypadku mniejszej ilości pomiarów, rzędu kilkudziesięciu, stosuje się też diagramy punktowe, na których skupienia punktów informują w sposób ogólny o koncentracjach spękań i ich nachyleniu. Wymienione diagramy mają również zastosowanie przy odwzorowaniu innych zjawisk tektonicznych jak: osie fałdów, przebieg rys ślizgowych, żył oraz uskoków.

W badaniach mezoskopowych zjawisk tektonicznych bardzo istotną rolę odgrywa zagadnienie metody porównywania uzyskanych wyników z pomiarów przebiegu uskoków, systemów spękań oraz osi fałdów i lineacji. Rozpoznawanie budowy tektonicznej danego obszaru często wymaga rozstrzygnięcia czy diagramy obejmujące obserwacje z różnych rejonów lub serii litologicznych są do siebie podobne czy też nie. Trudność w rozwiązywaniu tych zagadnień polega na tym, że w procesie porównywania wyników obserwacji znaczny udział ma subiektywna ocena badacza. Spowodowane jest to brakiem bliższego sprecyzowania kryteriów, kiedy określone układy tektoniczne należy uznać za identyczne, podobne lub wyraźnie różniące się. Szczególnie dużą rolę odgrywa to w badaniach zjawisk szczelinowatości i spękań ze względu na masowy ich charakter. Punktem wyjścia dla porównywania wyników obserwacji tektonicznych w tym zakresie są diagramy konturowe lub róże spękań. Bez względu jednak na to, jakim zestawieniem graficznym posługujemy się, musi ono obejmować reprezentatywną ilość pomiarów. Jeżeli poszczególne rejon-y lub serie litologiczne obejmują różne zakresy obserwacji, róże spękań można konstruować i porównywać dopiero po przeliczeniu ilości spękań w klasach na procenty. W celu ustalenia podobieństwa dwóch róż spękań należy określić ilość głównych kierunków, ich rozmieszczenie przestrzenne oraz procentowy udział spękań w poszczególnych systemach.

W odniesieniu do diagramów konturowych o podobieństwie ich można rozstrzygać na podstawie wyznaczonego maksimum poszczególnych systemów spękań oraz przebiegu i stopnia zagęszczenia izolinii. Porównując różne układy tektoniczne można wreszcie wykorzystywać dane z diagramów konturowych i róż spękań łącznie. Metodę taką zastosowano w niniejszym opracowaniu przy ustalaniu reprezentatywnego zakresu pomiarów w badaniach zjawisk szczelinowatości i spękań.

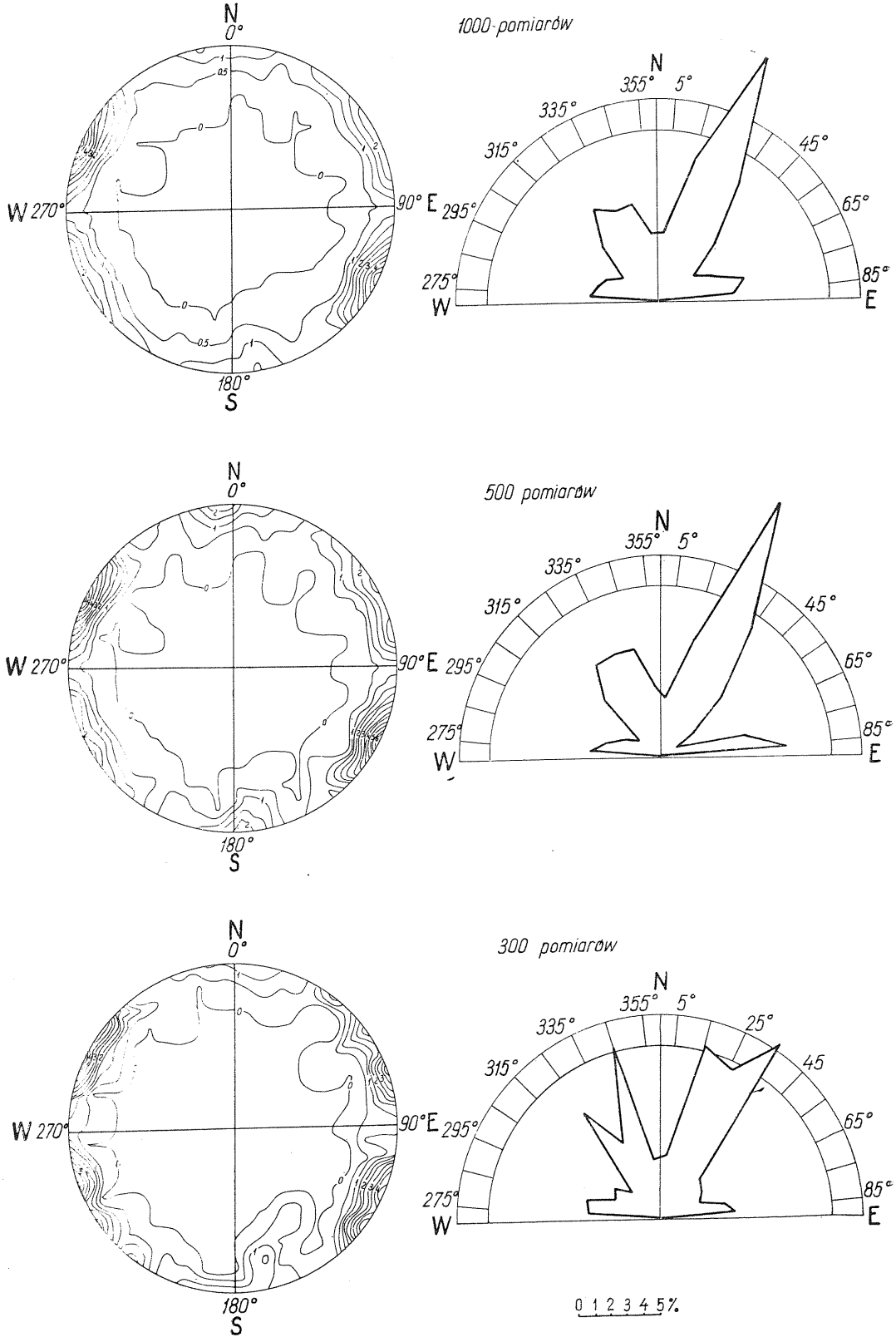


Fig. 5. Zależność układu kierunku spękań od ilości pomiarów; seria wapienno-dolomitowa cechsztynu, rejon szybów głównych kopalni Polkowice
 Dependence of the system of fracture directions upon the quantity of measu-

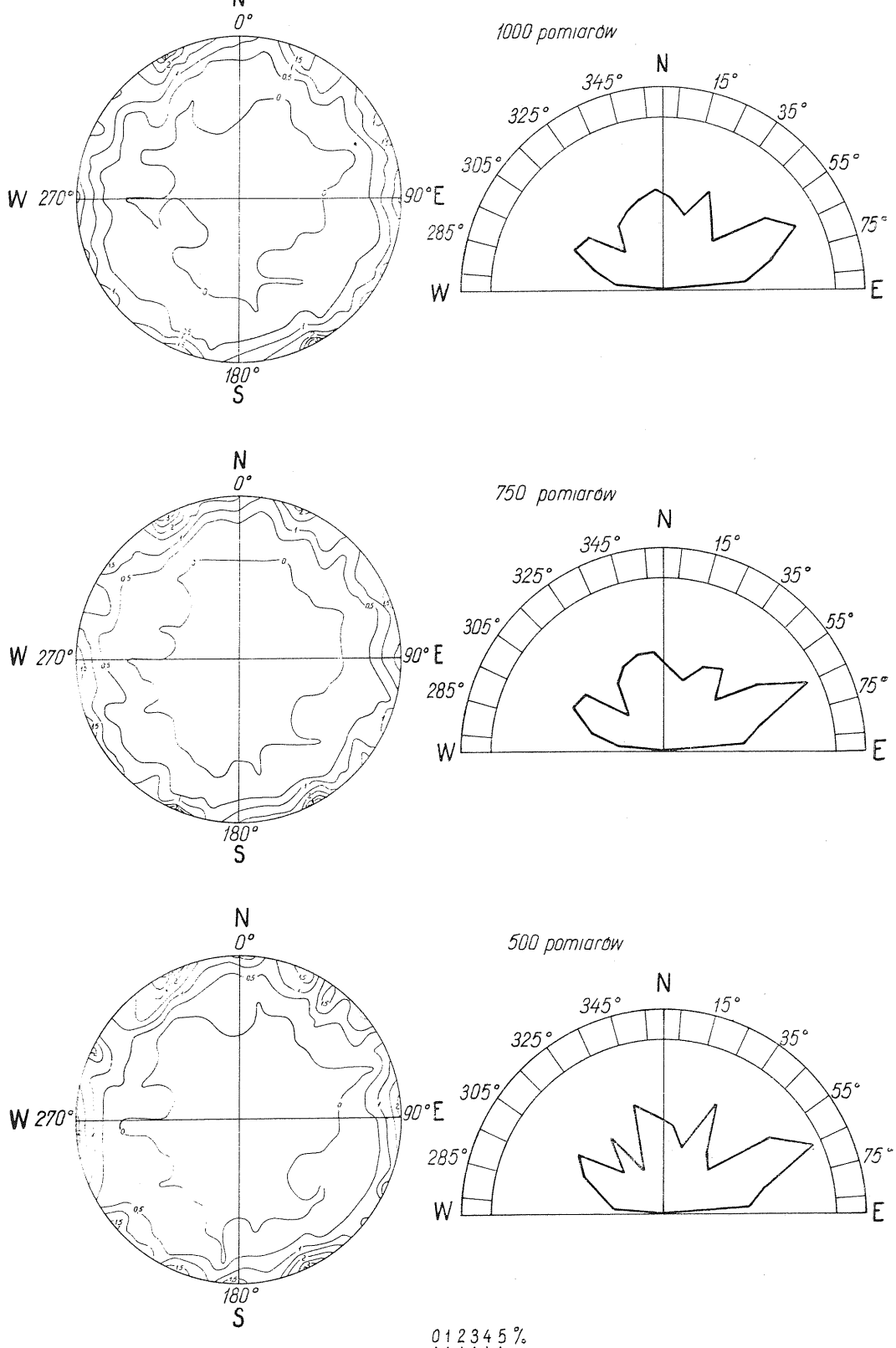


Fig. 6. Zależność układu kierunków spękań od ilości pomiarów; piaskowce białego spągowca, rejon szybu wschodniego kopalni Lubin
 Dependence of the system of fracture directions upon the quantity of measu-

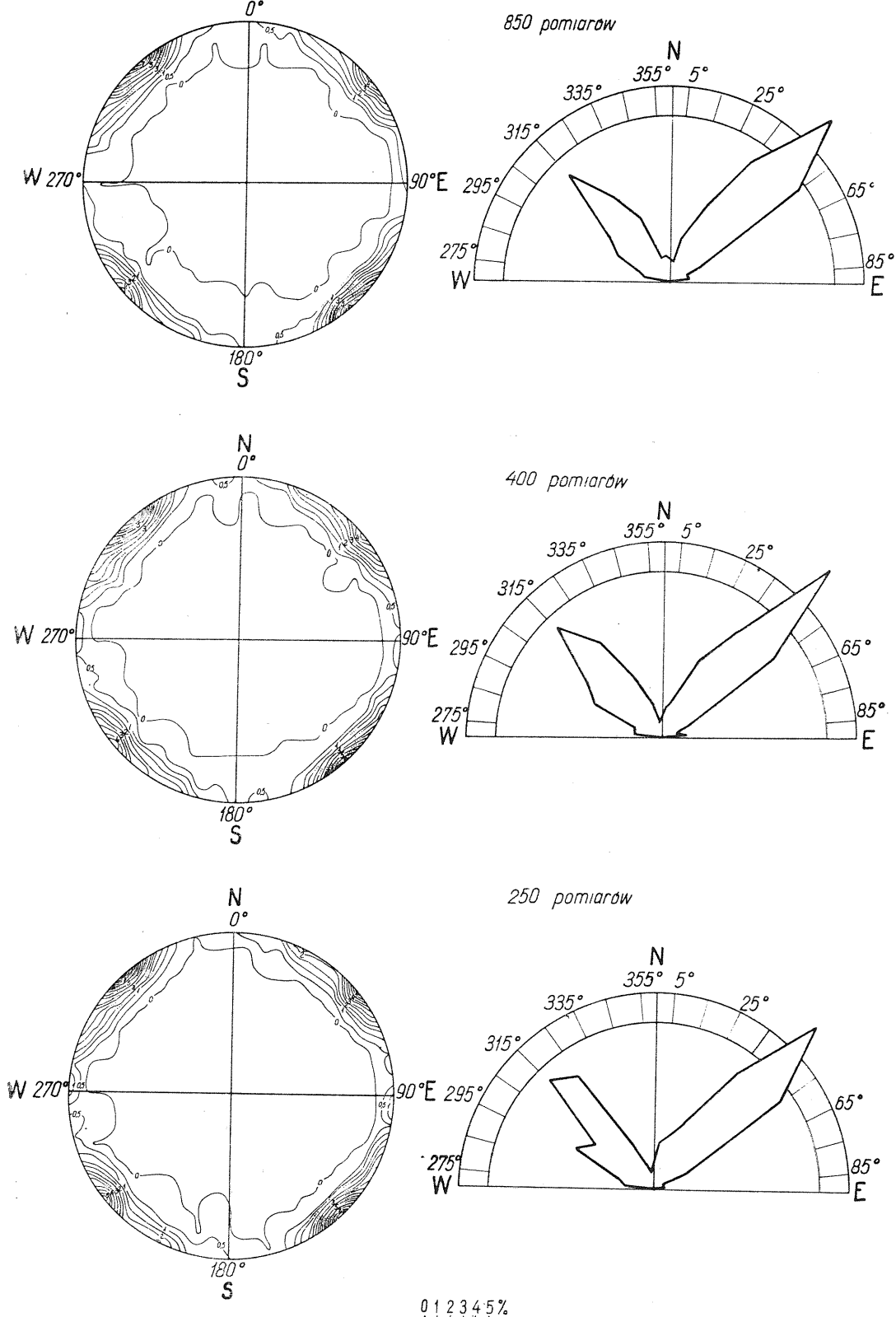


Fig. 7. Zależność układu kierunków spękań od ilości pomiarów; seria margli miedzionożnych, kopalnia Nowy Kościół

Dependence of the system of fracture directions upon the quantity of measurements; series of copper-bearing marls, Nowy Kościół mine.

Przedstawiony sposób oceny podobieństwa dwóch diagramów może być obarczony znacznym błędem subiektywnym. Dlatego też do porównywania wyników badań szczelinowatości i spękań w skałach stosowane są metody statystyczne (M. Nieć, J. Szczepańska, 1968). Polegają one na sprawdzeniu postawionej hipotezy, że dwa badane rozkłady odpowiadające dwóm zbiorom obserwacji są do siebie niepodobne. Do najczęściej stosowanych metod w badaniach strukturalnych należy test χ^2 i test Kołogomorowa. Zasady posługiwania się powyższymi testami przedstawione zostały w cytowanej pracy M. Niecia i J. Szczepańskiej.

Próby wykorzystania metod statystycznych do porównywania diagramów spękań z obszaru kopalni Lubin i Polkowice wykazały ograniczony zasięg ich stosowalności. Jeżeli rozpatrywane układy spękań przesunięte są w stosunku do siebie kątoowo, test wskazuje na brak jakiegokolwiek podobieństwa, pomimo że w obrębie tych układów zgodna jest ilość kierunków spękań, ich wzajemne proporcje oraz orientacja. Powyższy wynik podważa istnienie związków genetycznych między poszczególnymi systemami spękań w porównywanych diagramach, pomimo że współzależność taka jest często oczywista.

Przy masowych pomiarach i obserwacjach spękań istotnym zagadnieniem jest odróżnianie spękań pochodzenia tektonicznego od powstałych w wyniku działania innych czynników. Szczególne znaczenie ma to w badaniach wykonywanych w wyrobiskach górniczych z uwagi na liczny udział powierzchni nieciągłości, powstałych w wyniku stosowania materiałów wybuchowych. W związku z tym nasuwa się wątpliwość czy istnieje możliwość rozróżniania tych dwóch grup spękań oraz czy uzyskany z pomiarów rozkład kierunku spękań odzwierciedla obiektywnie istniejący stan tych zjawisk w górotworze. W odniesieniu do spękań i szczelin wtórnie zmineralizowanych lub reprezentowanych przez duże płaszczyzny nie można mieć zastrzeżeń co do ich tektonicznego pochodzenia. Problem dotyczy przede wszystkim spękań drobnych, o charakterze zwartym i nie mających na swych powierzchniach cech morfologicznych, wskazujących na ich genezę. W tym przypadku na ogół przyjmuje się, że spękania o równych ścianach, wykraczające poza obręb jednej ławicy są pochodzenia tektonicznego. Spękania powstałe pod wpływem działania materiałów wybuchowych odznaczają się przeważnie niewielkim zasięgiem poziomym i pionowym oraz wykazują nieregularny przebieg. Dużą rolę w ocenie genezy tych zjawisk odgrywa niewątpliwie doświadczenie i „opatrzenie się” geologa prowadzącego badania. Zdarza się również, że skały posiadają zdolność do pęknięcia pod wpływem działania bodźców mechanicznych wzdłuż określonych powierzchni, zorientowanych na ogół analogicznie jak spękania widoczne. W tej sytuacji odróżnianie spękań pierwotnie istniejących w górotworze od powstałych w wyniku robót górniczych jest praktycznie niemożliwe, lecz zarazem nie wpływa na zmianę wyników badań.

ZAGADNIENIE REPREZENTATYWNEGO ZAKRESU POMIARÓW

Jednym z najważniejszych problemów metodycznych w badaniach szczelinowatości i spękań w skałach jest zagadnienie zakresu i ilości obserwacji, koniecznych do scharakteryzowania tych zjawisk. Sprowadza

się to do wyjaśnienia dwóch kwestii, a mianowicie: 1 — określenia minimalnej ilości pomiarów umożliwiającej wykonanie zestawienia graficznego oraz 2 — określenia reprezentatywnej ilości pomiarów dla badanego obiektu. Problemy te często są w literaturze ze sobą utożsamiane, stąd też wynika mylny pogląd, że zakres 80—100 pomiarów w pełni wystarczy do zestawienia przestrzennego zjawisk szczelinowatości i spękań danego rejonu (J. Siembab, 1967).

Co do pierwszego zagadnienia doświadczenie wskazuje, że zakres kilkudziesięciu pomiarów wystarczy do konstruowania róży spękań. Może on się wahać od około 50 do około 100 pomiarów, w zależności od ilości systemów spękań oraz stopnia skomplikowania budowy tektonicznej terenu. Dla diagramów konturowych ilość ta musi być większa z uwagi na to, że uwzględnianie kątów upadu powoduje większy rozrzut pomiarów. Oczywiście, uzyskany w ten sposób obraz spękań w większości przypadków ma charakter orientacyjny i w znacznym stopniu może odbiegać od rzeczywistości.

Bardziej skomplikowany problem stanowi określenie, jaka ilość pomiarów jest reprezentatywna dla badanego obszaru lub jego części. Zrozumiałe jest, że im większa jest ilość pomiarów, tym dokładniejszy otrzymujemy stan wiadomości o orientacji przestrzennej szczelinowatości i spękań danego terenu lub serii litologicznej. Z drugiej strony — istnieje pewna graniczna ilość pomiarów, po której przekroczeniu stopień rozpoznania nie ulega już istotnym zmianom, o ile nie zmieniają się kierunki spękań. Wielkość ta uzależniona jest w warunkach kopalnianych przede wszystkim od ilości systemów spękań oraz wyrazistości ich występowania, nie jest więc stała i może się wahać w szerokich granicach. Przy rozwiązaniu tego zagadnienia rozpatrywano zmienne ilości pomiarów dla kilku rejonów o zróżnicowanych układach kierunków spękań. Z ogólnej ilości obserwacji (zazwyczaj 1000) wybierano drogą losowania lub eliminacji określoną ilość pomiarów np. 300, 500, 750. Dla każdego zbioru obserwacji wykonano oddzielny diagram konturowy oraz róże spękań (fig. 5—7).

Przyjęto zasadę, że dwa diagramy o różnej ilości pomiarów należy uznać za identyczne lub bardzo zbliżone, jeżeli wyciągnięte wnioski co do występowania systemów spękań w jednym i w drugim przypadku są takie same.

Badania tego typu, przeprowadzone dla serii węglanowej cechsztynu w rejonie szybów głównych kopalni Polkowice, wykazały przy różnych ilościach pomiarów następujące układy spękań (fig. 5):

Liczba pomiarów	Kierunki spękań	Maksimum na diagramach konturowych	Procentowy udział spękań
1000	NNE — SSW	25°/205°/	44
	NNW — SSE	338°/158°/	29
	W — E	80°/260°/	27
500	NNE — SSW	25°/205°/	44
	NNW — SSE	347°/167°/,330°/150°/	32
	W — E	87°/267°/	24
300	NNE — SSW	25°/205°/,37°/217°/	44
	NNW — SSE	340°/160°/,325°/145°/	29
	W — E	256°,97°	21
	NW — SE	308°/128°/	6

Porównując poszczególne diagramy zauważa się stopniową generalizację spękań przy wzroście zakresu obserwacji. Zestawienia wykonane dla 500 i 1000 pomiarów wykazują daleko idące podobieństwo, natomiast diagram opracowany na podstawie 300 pomiarów jest odmienny. Przede wszystkim zaznacza się na nim dwudzielność systemu NNE — SSW i NNW — SSE oraz słabo zarysowuje się czwarty kierunek NW — SE. Dwudzielność systemu NNW — SSE jest na tyle duża, że nie pozwala na jednoznaczную interpretację (maksimum 325° można ewentualnie traktować jako kierunek NW — SE). Różnice między diagramem obejmującym 500 i 1000 obserwacji polegają przede wszystkim na niewielkich przesunięciach kątowych niektórych maksimumów oraz dwudzielności kierunku NNW — SSE (przy 500 pomiarach). W jednym i drugim przypadku występują takie same systemy spękań, skupiające prawie identyczny procent spękań. Wynika stąd wniosek, że zakres 500 pomiarów jest reprezentatywny dla omawianej serii w rejonie szybów głównych kopalni Polkowice i dalsze obserwacje nie wprowadzają istotnych zmian.

Tego samego typu badania spękań przeprowadzono w piaskowcach białego spągowca w rejonie szybu wschodniego kopalni Lubin. Badania te mają istotne znaczenie z uwagi na to, że spękania w serii piaskowcowej charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem kątów upadu oraz nie tworzą tak wyraźnych płaszczyzn jak w utworach wapienno-dolomitowych. Powoduje to duży rozrzut pomiarów, a w związku z tym należy przypuszczać, że reprezentatywny zakres pomiarów będzie również duży. Przy różnych zakresach obserwacji (fig. 6) uzyskano następujące rozkłady kierunków spękań:

Liczba pomiarów	Kierunki spękań	Maksimum na diagramach konturowych	Procentowy udział spękań
1000	ENE — WSW	$60^\circ/240^\circ/$	32
	NNW — SSE	$340^\circ/160^\circ, 323^\circ$	32
	N — S	$0^\circ/180^\circ/$	na rózny spękań brak
	NNE — SSW	$25^\circ/205^\circ, 40^\circ/220^\circ/$	17
	WNW — ESE	$290^\circ/110^\circ/$	19
750	NNW — SSE	$338^\circ/158^\circ/$	33
	N — S	$358^\circ/178^\circ/$	na rózny spękań brak
	ENE — WSW	$63^\circ/243^\circ/$	31
	WNW — ESE	$292^\circ/112^\circ/$	20
	NNE — SSW	$35^\circ/215^\circ, 25^\circ/205^\circ/$	16
500	ENE — WSW	$65^\circ/245^\circ/$	33
	N — S	$355^\circ/175^\circ/$ na rózny spękań NNW-SSE	22
	WNW — ESE	$293^\circ/113^\circ/$	19
	NNE — SSW	$25^\circ/205^\circ/$	17
	NW — SE	$125^\circ, 140^\circ/320^\circ/$	9
	W — E	$272^\circ/92^\circ/$	na rózny spękań brak

Diagramy obejmujące 750 i 1000 pomiarów wykazują szereg cech wspólnych. Zarówno na jednym, jak i na drugim występuje taka sama ilość zbliżonych kierunków tektonicznych. Charakterystyczną cechą obydwu jest obecność systemu N — S, który nie wyodrębnia się na rózach spękań i łączy się z kierunkiem NNW — SSE. Drobną różnicą zaznacza

się jedynie w systemie spękań NNW — SSE, wykazującym na diagramie opartym na 1000 pomiarów dodatkowe maksimum odpowiadające azymutowi 323° . Diagram konturowy oparty na 500 pomiarach różni się wyraźnie od poprzednich. Zaznacza się na nim szósty kierunek W — E, który nie znajduje odbicia w róży spękań oraz występuje ponadto system spękań NW — SE. Na diagramie tym brak jest natomiast kierunku NNW — SSE, który zastąpiony został całkowicie przez system N — S, a zarysowuje się wyraźnie na róży spękań.

Z przedstawionych danych wynika, że dla piaskowców białego spągowca w rejonie szybu wschodniego kopalni Lubin reprezentatywny jest zakres 750 pomiarów. Badania wykazały ponadto, że większe różnicowanie kątów upadu spękań wpływa zarazem na powstawanie różnic między diagramami konturowymi i różami spękań. Te ostatnie ujmują materiał pomiarowy w sposób bardziej zgeneralizowany. Ilość kierunków i położenie maksimów na różach spękań i diagramach konturowych nie zawsze się ze sobą pokrywa. W pewnych sytuacjach konieczne jest więc równoczesne sporządzenie dwóch typów diagramów z uwagi na wzajemne ich uzupełnianie się.

Rozpatrywane dotychczas zakresy pomiarów spękań dotyczyły układów złożonych z trzech i czterech kierunków. W celu pełnego scharakteryzowania wahań reprezentatywnej ilości obserwacji należało również rozpatrzyć układ najprostsz, utworzony przez dwa sprzężone systemy spękań. W badanej części monokliny przedsudeckiej zjawisko takie nie występuje i dlatego posłużono się danymi z kopalni Nowy Kościół, położonej w zapadlisku północnosudeckim. Za udostępnienie wyników pomiarów spękań z tego rejonu składam serdeczne podziękowanie mgrowi inż. F. Zaczkowi.

Podobnie jak w poprzednich przypadkach rozpatrywano pomiary w określonym bloku geologicznym. Dotyczą one margli miedzionośnych cechsztynu. Charakterystyka kierunków spękań przy różnych zakresach pomiarów przedstawia się następująco:

Liczba pomiarów	Kierunki spękań	Maksimum na diagramach konturowych	Procentowy udział spękań
850	NE — SW	$50^\circ/230^\circ/$	57
	NW — SE	$320^\circ/140^\circ/$	43
400	NE — SW	$47^\circ/227^\circ/$	54
	NW — SE	$320^\circ/140^\circ/$	46
250	NE — SW	$45^\circ/225^\circ/$	55
	N — S	$3^\circ/183^\circ/$	na róży spękań nie zaznacza się
	NW — SE	$320^\circ/140^\circ, 295^\circ/115^\circ/$	45

Z porównania zestawień graficznych (fig. 7) oraz przytoczonych wyżej danych wynika, że diagramy konturowe obejmujące 850 i 400 pomiarów można uznać za analogiczne. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku występują te same kierunki spękań o identycznych lub bardzo zbliżonych maksimach i podobnym procentowym udziale spękań. Diagram konturowy opracowany na podstawie 250 pomiarów różni się natomiast dość wyraźnie. Przejawia się to w dwudzielności systemu spękań NW — SE oraz dodatkowym zagęszczeniu punktów w okolicach azymutu

3°/183°, które odpowiada kierunkowi N — S. Z powyższych stwierdzeń wynika, że za reprezentatywny należy uznać diagram konturowy, opracowany na podstawie 400 pomiarów. Różnica ilościowa między badanymi zbiorami obserwacji, z których jeden w pełni charakteryzuje zjawiska szczelinowatości i spękań (400 pomiarów), a drugi jest niewystarczający (250 pomiarów), upoważnia do przyjęcia za reprezentatywny dla danego terenu zakres około 350 pomiarów. Przedstawiony układ spękań z kopalni Nowy Kościół można uznać za najprostszy z uwagi na występowanie wyłącznie dwóch sprzężonych systemów spękań o stromych kątach upadu, co zapewnia maksymalne koncentracje punktów na diagramie konturowym. Z powyższych względów otrzymany wynik 350 pomiarów należy uznać za dolną granicę reprezentatywności obserwacji w badaniach szczelinowatości i spękań.

Porównując zestawienie graficzne w formie róży spękań dla 400 i 250 obserwacji zauważa się duże podobieństwo w układzie głównych kierunków. Wynika stąd wniosek, że przy tego typu diagramach zakres pomiarów może być mniejszy i w pełni reprezentatywny jest zbiór 250 obserwacji.

Dla obszaru kopalni Nowy Kościół wykonany został diagram konturowy spękań w serii margli miedzionośnych, zawierający 5000 pomiarów (F. Zaczek, 1966). Uzyskano na nim analogiczny układ kierunków spękań jak na diagramach obejmujących 400 i 850 pomiarów. Ma on jedynie mniejsze zagęszczenie izolinii w poszczególnych maksimach, co wskazuje na większy rozrzut. Związane jest to jednak z występowaniem w niektórych partiach kopalni znacznie większych upadów warstw, co z kolei zmniejsza stromość nachylenia spękań i powoduje większy rozrzut punktów na diagramie.

Badania nad reprezentatywnym zakresem pomiarów szczelinowatości i spękań wskazują na duże wahania tego zakresu. Przy zestawieniach graficznych w postaci diagramów konturowych zmienia się on od około 350 do około 900 pomiarów. W układzie tektonicznym badanej części monokliny przedsudeckiej reprezentatywna jest zazwyczaj liczba około 500—750 pomiarów.

Liczba pomiarów charakteryzująca w pełni dany rejon uzależniona jest od dwóch czynników, a mianowicie: ilości systemów spękań oraz stopnia ich koncentracji w diagramach. Elementy te wzajemnie się na siebie nakładają i trudno jest rozgraniczyć, który z nich odgrywa większą rolę. Pod pojęciem stopnia koncentracji spękań należy rozumieć wielkość przedziału określonego azymutami rozciągłości i kątami upadu spękań w danym systemie. Im większa jest liczba kierunków spękań oraz mniejsza ich wyrazistość, tym większa reprezentatywna liczba pomiarów. Wynika stąd wniosek, że badana wielkość jest w pewnych granicach charakterystyczna dla określonych formacji na danym terenie.

Dlatego też szerzej zakrojone pomiary szczelinowatości i spękań w skałach, wykonywane na obszarze o nie rozpoznanej szczegółowo budowie tektonicznej, winny być poprzedzone pracami metodycznymi. Ogólny układ spękań, rozpoznany na podstawie reprezentatywnej ilości pomiarów, nie może być odnoszony do dowolnej powierzchni. Jest on w pełni prawdziwy wyłącznie dla rejonu, w którym wykonano pomiary. Uzyskany obraz kierunków spękań można ewentualnie odnosić do więk-

szego obszaru, jeżeli stanowi on określony blok, o mało zróżnicowanej budowie. Z reguły jednak na większym terenie kierunki spękań zmieniają się i wówczas wyniki pomiarów trzeba zestawić na kilku diagramach obejmujących mniejsze powierzchnie.

Zakład Doświadczalny
przy Kombinacie Górniczo-Hutniczym Miedzi
w Lubinie

Nadesłano dnia 15 listopada 1971 r.

PIŚMIENNICTWO

- NIEC M., SZCZEPAŃSKA J. (1968) — Porównanie diagramów spękań metodami statystycznymi. *Kwart. geol.*, **12**, p. 983—991, nr 4. Warszawa.
- SIEMBAW J. (1967) — Pomiar szczelinowatości skał w kopalniach węgla. *Prz. górn.*, **23**, p. 68—74, nr 2. Katowice.
- ZACZEK F. (1966) — Mała tektonika południowej części niecki złotoryjskiej. *Rudy i Metale Nieżelazne*, **11**, p. 583—587, nr 11. Katowice.
- ВИСТЕЛИУС А. Б. (1958) — Структурные диаграммы. Изд. Акад. Наук СССР. Москва.
- ПЭК А. В., ЛИСИЦИНА И. И. (1965) — К методике изучения трещинной тектоники. *Геология рудных месторождений*, **7**, стр. 80—83, № 2.

Войцех САЛЬСКИ

МЕТОДИКА МЕЗОСКОПИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Резюме

В процессе эксплуатации месторождений полезных ископаемых существенную роль играют тектонические исследования, как ввиду возможности более детального определения геометрических особенностей месторождения, так и инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Необходимость таких исследований обуславливается фактом недостаточной изученности тектоники в период документальной обработки месторождения. Принимая во внимание характерные особенности среды, имеющей место в шахте, характер геологических исследований здесь иной, чем на обнажениях на поверхности земли. Линейная ориентация горных выработок, разработка пород взрывными веществами, а также неразборчивость многих мелких структурных форм в значительной мере влияют на правдивость результатов.

Работы над методикой измерений и наблюдений трещин и трещиноватости пород в медных шахтах на Предсудетской монклинали дали возможность сформулировать следующие выводы:

1. Пространственная ориентировка горных выработок существенно влияет на расположение трещин, установленное на основании измерений. Горные работы приводят к осо-

бенно четкому проявлению поверхности трещин, расположенных под острым углом к стенам выработок. В то же время не проявляются трещины, расположенные перпендикулярно. Таким образом вышеописанная картина не отражает естественных пропорций между направлениями трещин, имеющими место в горном массиве. Действительное положение направлений трещин можно получить только при помощи измерений, проведенных во взаимно перпендикулярных штреках и на одном и том же расстоянии.

2. На противоположных стенах одного и того же штрека виднеются различные направления трещин. При проведении измерений следует принимать во внимание обе поверхности. В случае мелких трещин с малой протяженностью это могут быть противоположные стены того же самого штрека. При наличии больших трещин, прорезающих всю горную выработку, невозможно держаться этого принципа, так как такие трещины регистрировались бы дважды. В этом случае измерения следует проводить на противоположных стенах в двух различных, параллельных штреках.

3. Верная интерпретация результатов исследований в значительной мере зависит от подбора соответствующих методов графического синтеза материалов измерений, а также от умелого их сравнения. Можно хорошо представить результаты измерений как в виде розы трещин, так и в виде контурных диаграмм ввиду того, что они взаимно дополняют друг друга.

4. Детальность изучения явления трещиноватости и трещин в большей степени обусловлена представительностью объема измерений. Эта величина колеблется в широких границах и зависит от количества направлений трещин на данной территории, а также от степени их рассеянности. Представленные измерения трещин в отдельных сериях перми и триаса в юго-восточной части Предсудетской моноклинали проводятся в основном в объеме 500—700 измерений.

Wojciech SALSKI

A METHOD OF MESOSCOPIC INVESTIGATIONS OF TECTONIC PHENOMENA IN MINE WORKINGS

Summary

Tectonic investigations are very important during the exploitation of mineral deposits, mainly on account of the possibility of determining both the geometrical properties of the deposit more in detail and the engineering-geological and hydrogeological conditions. In addition to this, the necessity of carrying out such investigations results from the insufficient reconnaissance of tectonics during the working out of the geological report. On account of particular features of the environment represented by a mine, the character of geological research is different from that in the opencast mines. Linear orientation of mine workings, extraction of rock material using explosives, and invisibility of numerous small structural forms strongly affect the credibility of the results obtained.

The works carried out on measurement and observation methods of rock fractures and jointing in copper ore mines within the Fore-Sudetic monocline allowed the author to draw the following conclusions:

1. Spatial orientation of mine workings considerably affects the fracture system observed during measurements. Mine works make that fracture planes running at

an acute angle to the walls of mine workings become more visible, though fractures oriented perpendicularly remain invisible. Thus, the above picture does not reflect natural proportions between the directions of fractures in the rock massif. The actual directions of fractures can be presented only with the aid of the measurements made in the mutually perpendicular galleries, and along the same distance.

2. At the opposite walls of the same gallery different directions of fractures can be observed. Thus, the measurements should comprise both planes. In the case of fine fractures on small planes these can be the opposite walls of the same gallery. The presence of strong fractures cutting the entire mine workings makes the retention of this principle impossible, since such fractures would be recorded twice. In this situation measurements should be made at the opposite walls in two parallel galleries.

3. The appropriate interpretation of the results of investigations considerably depends upon the choice of the methods of graphical synthesis of the measurement materials, and upon the competence for making the comparison of these materials. It is advisable to present the results of measurements both in the shape of the rose of fractures and in the form of contour diagrams, mainly due to their complementary character.

4. The preciseness in the reconnaissance of the phenomena of jointing and fractures notably depends on the representativeness of the range of measurements. This value ranges considerably and depends upon the quantity of fracture directions in a given area, and upon the degree of their scatter. The representative range of fracture measurements for the individual Permian and Triassic series within the south-eastern part of the Fore-Sudetic monocline is predominantly contained in an interval of 500—750 measurements.