

UKD 551.243.004.14:622.831.013:622.352 gabro(438 – 35 wałbrzyskie, Braszowice)

Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI

Zastosowanie badań tektonicznych w górnictwie odkrywkowym na przykładzie kamieniołomu Braszowice

Określono przebieg i udział ilościowy głównych kierunków spękań i stref tektonicznych. Ze względu na zróżnicowany wpływ spękań na stateczność ścian kamieniołomu w zależności od zasięgu powierzchni nieciągłości i kątów nachylenia wydzielono trzy grupy spękań. Ujawnienie podstawowych cech anizotropii strukturalnej masywu gabrowego pozwoliło na wyznaczenie najkorzystniejszej orientacji ścian eksploatacyjnych w kamieniołomie. Poza aspektem praktycznym badania umożliwiły poznanie niektórych prawidłowości tektoniki masywu gabrowego.

WSTĘP

Prowadzenie bezpiecznej eksploatacji odkrywkowej złóż surowców mineralnych wymaga zbadania warunków geologicznych, szczególnie zaś tektoniki. Rozpoznanie to powinno zmierzać do sformułowania prostego modelu górotworu, obrazującego przestrzenną orientację powierzchni osłabień oraz do określenia udziału poszczególnych kierunków spękań i częstotliwości ich występowania. Szczególną uwagę należy zwrócić na kierunek i kąt zapadania dużych powierzchni nieciągłości (uskoki, strefy tektoniczne), które chociaż występują pojedynczo będą oddziaływać w istotny sposób na stateczność ścian odkrywki. W Polsce tylko w niewielu publikacjach geologicznych omawia się praktyczne wykorzystanie badań tektonicznych (S. Kozłowski, 1959; L. Wójcik 1971; J. Gliński, 1969), w przeciwieństwie do zagranicy, gdzie – zwłaszcza w ostatnich latach – obserwuje się wszechstronny rozwój tej dziedziny. Dotyczy to również polowych i laboratoryjnych prac geologiczno-inżynierskich zmierzających do uściślenia szeregu cech górotworu podawanych zwykle w formie opisowej (E. Hoek, J. Pray, 1981).

W artykule przedstawiono wyniki badań tektonicznych wykonanych w kamieniołomie gabra Braszowice koło Ząbkowic Śląskich. Wyniki te posłużyły do wyzna-

czenia kierunków bezpiecznej eksploatacji, wysokości wyrobiska oraz ustalenia granicznego nachylenia powierzchni nieciągłości gwarantującego stateczność ściany (S. Frelkiewicz i in., praca w druku).

Pomiary i obserwacje pozwoliły określić model górotworu oraz ustalić podstawowe wnioski dla działalności górniczej. Istotą tego modelu jest podział masywu gabrowego na bloki związane siłami tarcia oraz wyznaczenie położeń nachylonych powierzchni przecinających całe ściany odsłonięcia.

CHARAKTERYSTYKA GEOLOGICZNA TERENU BADAŃ

Kamieniołom Braszowice zlokalizowany jest w obrębie skał gabrowych, które wraz z serpentynitami tworzą masyw znany pod nazwą masywu Grochowej – Braszowic lub Brzeźnicy. Znajduje się on w odległości 6 km na południowy zachód od Ząbkowic Śląskich. Na powierzchni terenu skały zasadowe zaznaczają się równoleżnikowym ciągiem wzniesień. Gabra tworzą wzgórze Bukowczyk (fig. 1), na którego zboczu usytuowany jest kamieniołom a ponadto występują u podnóża południowych zboczy Góry Mnich. Masyw serpentynitowo-gabrowy leży w bezpośrednim sąsiedztwie głównego uskoku sudeckiego. Skały Grochowej – Braszowic wraz z analogicznymi masywami Sobótki, Szklar i Nowej Rudy stanowią wieniec intruzji zasadowych i ultrazasadowych okalających krę sowiogórską (*Geologia i surowce mineralne Polski*, 1970). Zdaniem J. Oberca (1960, 1972) są one

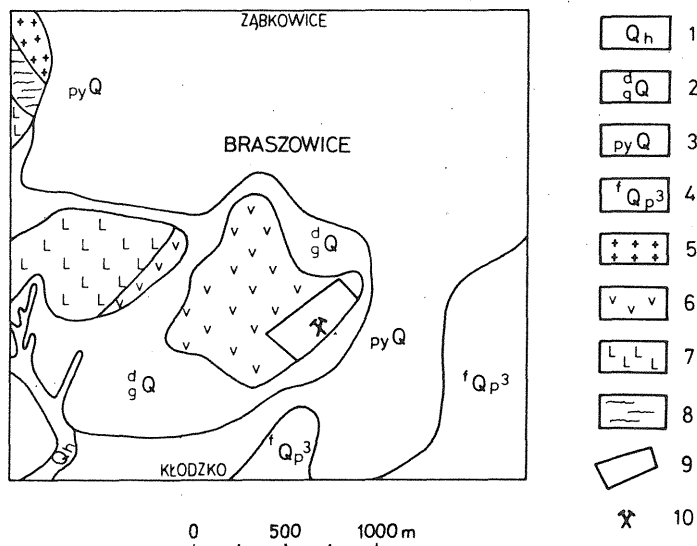


Fig. 1. Wycinek mapy geologicznej okolic Braszowic według J. Jerzmańskiego.

A fragment of geological map of the vicinities of Braszowice after J. Jerzmański

Czwartorzęd: 1 – gliny i mady, 2 – gliny deluwialne z rumoszem skalnym, 3 – gliny pylaste, 4 – żwiry tarasu rzecznicznego; karbon górny: 5 – granodioryt; starszy paleozoik: 6 – gabra, 7 – serpentynit; prekambry: 8 – łupki łuszczycowe; 9 – obszar udokumentowanego złoza gabra; 10 – kamieniołom

Quaternary: 1 – tills and mads, 2 – deluvial loams with rock debris, 3 – silty loams, 4 – gravels of river terrace; Upper Carboniferous: 5 – granodiorite; Lower Paleozoic: 6 – gabbro, 7 – serpentinite; Precambrian: 8 – micaeous schists; 9 – area of proven gabbro deposit; 10 – quarry

proterozoiczne i powstały w efekcie ruchów młodoasyntyjskich, z którymi wiąże się wyciskanie z podłoża gnejsów bloku Gór Sowich, natomiast według L. Jamrozika (1980) intruzje gabrowe są paleozoiczne – przeddewońskie.

Serpentynity występujące na obrzeżeniu masywu gabrowego stanowią produkt przeobrażenia perydotytów, które w całym kompleksie skał zasadowych i ultrazasadowych reprezentują utwór najstarszy. Młodsze od nich gabra w obrębie masywu Grochowej – Braszowic kontaktują z serpentynitami od południa, wnikając w nie licznymi apofizami. Miąższość intruzji gabra nie jest znana. Najmłodsze utwory w tym kompleksie reprezentowane są przez żyły magnezytu, koncentrujące się głównie w dwóch systemach kierunkowych: NE–SW i NW–SE. Kąty ich zapadania wahają się w granicach od 40 do 70° (Z. Gajewski, 1966). Mineralizacja magnezytowa związana jest wyłącznie z serpentynitami.

Gabra eksploatowane w kamieniołomie Braszowice charakteryzują się zielonoszarą barwą, strukturą gruboziarnistą, a niekiedy porfirową. S. Maciejewski (1968) podkreśla petrologiczne podobieństwo gabr i serpentynitów w masywach Sobótki, Szklar i Brzeźnicy.

Lokalnie w niektórych strefach zaznacza się tekstura kierunkowa. Gabro odsłonięte w kamieniołomie Braszowice cechuje w przewodzie drobnoblokowa podzielnosc i stosowane jest do produkcji tłuczni, klinkera i gysu. Charakteryzuje się zwartą, masywną strukturą tła skalnego i dużą wytrzymałością, z wyjątkiem silnie zwiertzałej części stropowej oraz stref tektonicznych.

Wykonane dotychczas pomiary spękań w skałach gabrowo-serpentynitowych ujawniły złożone układy. K. Chmura i J. Sułkowski (1965) stwierdzili w serpentynitach masywu Wir pięć orientacji spękań o maksimach wyznaczonych azymutami 138 i 122° (kierunek NW–SE), 104° (WNW–ESE), 90° (W–E) oraz 54° (NE–SW). Podobnie w pięciu zespołach o bardzo zbliżonej orientacji grupują się żyły magnezytu. W gabrach Sobótki H. Buczek (1953) wydzielił trzy podstawowe kierunki spękań: NW–SE, N–S i NE–SW. Oznacza to daleko posuniętą generalizację wyników badań, albowiem w poszczególnych odsłonięciach występują także inne kierunki: WNW–ESE, NNE–SSW oraz W–E. Są one jednak reprezentowane podrzędnie i w zmiennych proporcjach.

W kamieniołomie Braszowice L. Jamrozik (1975) wykonał pomiary lineacji, foliacji oraz spękań, wyróżniając w nich trzy systemy: tensyjny kierunek NW–SE o azymucie 320° oraz dwa kierunki ze scinania o przebiegu NNE–SSW i upadach 52° E oraz 44° W. Z diagramu konturowego zamieszczonego w cytowanym artykule wynika, że reprezentowane są również inne kierunki, m. in. NE–SW i W–E. Układ spękań w kamieniołomie Braszowice jest zatem bardziej skomplikowany aniżeli sugeruje to autor.

METODYKA POMIARÓW SPĘKAŃ ORAZ GRAFICZNEGO PRZEDSTAWIENIA WYNIKÓW

Badania tektoniczne w odsłoniętym w kamieniołomie masywie gabrowym obejmowały pomiary orientacji przestrzennej spękań i szczelin. Zarejestrowano także ich charakterystyczne cechy jakościowe, jak gęstość rozmieszczenia i zasięg, kształt i morfologię powierzchni oraz charakter wtórnego wypełnienia mineralnego. Pomiary oraz zestawienie wyników wykonano osobno dla poszczególnych ścian kamieniołomu ze względu na to, że orientacja powierzchni, wzdłuż której wykonuje się obserwacje, wpływa niekiedy w znacznym stopniu na rozkład kierunków spękań



Fig. 2. Szcik sytuacyjny kamieniołomu Braszowice

Location sketch of the Braszowice quarry

1 – granica obszaru górniczego; 2 – szczeliny; 3 – stręły tektoniczne; 4 – ściany kamieniołomu; 5 – warstwyce powierzchni terenu

1 – boundaries of mining area; 2 – fissures; 3 – tectonic zones; 4 – quarry walls; 5 – contours of terrain surface

(W. Salski, 1972). Pomiary prowadzono na ścianach S, NW, W i N (fig. 2), natomiast nie wykonano ich na ścianie NE, ze względu na pokrywający ją rumosz skalny.

Podczas badań terenowych zwrócono szczególną uwagę na szczeliny tektoniczne, obejmujące zasięgiem całą wysokość odsłonięcia i wypełnione wtórnym materiałem mineralnym. Szczeliny te stanowią ważny element w rozważaniach nad statecznością masywu skalnego i kierunkiem bezpiecznej eksploatacji.

Wyniki pomiarów tektonicznych zestawiono w postaci róży sępań (fig. 3, 5) oraz diagramów punktowych (fig. 4) i diagramu konturowego (fig. 6). Róże i diagramy sporządzono dla wydzielonych ścian kamieniołomu oraz dla całego obiektu łącznie. Zbiorcze zestawienia graficzne wykonano na podstawie 437 pomiarów. Zarówno sumaryczna liczba obserwacji, jak i rozmieszczenie ich na powierzchniach różnie zorientowanych względem siebie zapewniają dostateczną reprezentatywność badań. Dla bardziej obiektywnego porównywania zestawień graficznych, odpowiadających zbiorom o różnej liczebności, przy konstruowaniu róży sępań liczby pomiarów zostały wyrażone w procentach. Diagramy kołowe stanowią odwzorowanie punktów położonych na górnej półkuli. Poza wymienionymi konstrukcjami sporządzono schemat rozmieszczenia głównych kierunków

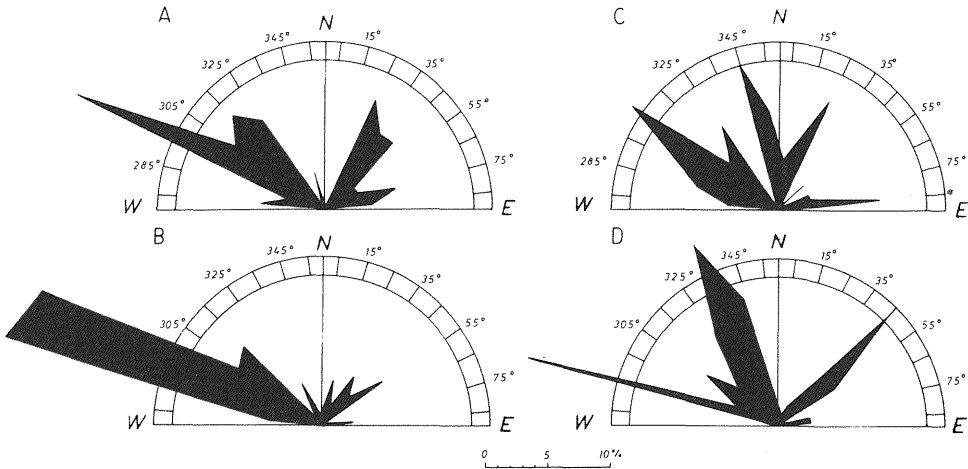


Fig. 3. Róże spękań: A – ściana S (106 pomiarów), B – ściana NW (138 pomiarów), C – ściana W (77 pomiarów), D – ściana N (116 pomiarów)

Rose diagrams: A – S wall of the quarry (106 measurements), B – NW wall (138 measurements), C – W wall (77 measurements), D – N wall (116 measurements)

spękań dla całego kamieniołomu (fig. 7) oraz wykresy kątów zapadania spękań (fig. 8)

Materiał graficzny posłużył do wyznaczenia zasadniczych kierunków nieciągłości tektonicznych oraz obliczenia procentowego udziału w nich spękań (tab. 1). Umożliwia to dokonanie oceny wpływu spękań na stateczność ścian kamieniołomu oraz wnioskowanie co do wyboru najkorzystniejszego usytuowania frontu eksploatacji.

CHARAKTERYSTYKA KIERUNKÓW SPĘKAŃ

Układ spękań, jaki ujawniły pomiary tektoniczne w kamieniołomie gabra, jest bardzo złożony. Wyrazem tego jest występowanie na poszczególnych ścianach 5 lub 6 kierunków spękań o zmieniającym się położeniu maksimum, znaczne wahania procentowego udziału spękań, zróżnicowanie kątów zapadania oraz zmienny zasięg przestrzenny. Obserwuje się to zarówno na różnych odcinkach odsłonięcia, jak i przy porównywaniu zestawień graficznych sporządzonych dla poszczególnych ścian oraz dla całego kamieniołomu.

Dominującą rolę odgrywa system spękań WNW – ESE. Na zbiorczej róży spękań (fig. 5) stanowi on 57% wszystkich obserwacji. Jego maksimum wyznacza azymut 295° i mieści się on w szerokim przedziale od 275 do 335°. Zdecydowanie przeważają spękania stromo zapadające, głównie pod kątem od 80 do 90° zarówno na S, jak i na N (fig. 6). W obrębie tego systemu występują szczeliny wypełnione wtórnie kwarcem i magnezytem oraz zwietrzeliną skał. Najwyraźniej uzewnętrzniają się one w ścianach NW i N (fig. 2). Szerokość tych stref waha się od kilku do kilkunastu, a pojedynczo nawet kilkudziesięciu centymetrów.

Omawiany system spękań na poszczególnych odcinkach odsłonięcia jest re-

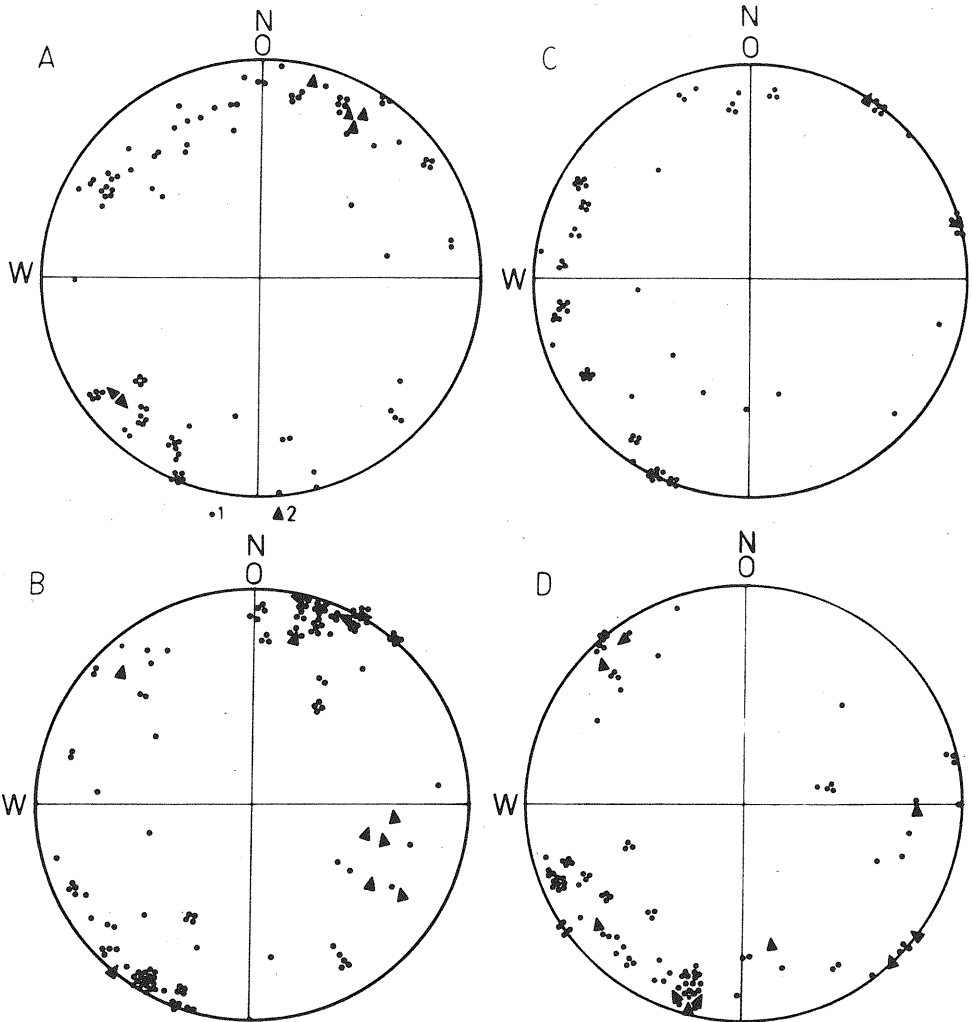


Fig. 4. Diagramy punktowe: A – ściana S, B – ściana NW, C – ściana W, D – ściana N kamieniołomu

Point diagrams: A – S wall of the quarry, B – NW wall, C – W wall, D – N wall

1 – spękania o zasięgu do kilku metrów; 2 – spękania i szczeliny o zasięgu powyżej 10 m
 1 – fractures up to a few meters long; 2 – fractures and fissures over 10 m long

prezentowany przez dwa kierunki: WNW – ESE i NW – SE. Uwidacznia się to na wszystkich różach spękań dla kolejnych ścian kamieniołomu. Maksima tych kierunków najczęściej tworzą ze sobą kąt 20° . Ze względu na zmiany ich położenia, na zbiorczej różzie spękań łączą się one w jeden system. Na diagramie konturowym kierunek NW – SE zaznaczony jest niezbyt wyraźnie przez „zakole” izolinii 1,5% w okolicach punktu 220/75. Wskazuje ono asymetryczny rozkład upadów z przewagą na SW. Spękania o kierunku WNW – ESE i NW – SE stanowią przede wszystkim grupę najliczniejszą; na ścianie NW skupia aż 74% wszystkich spękań

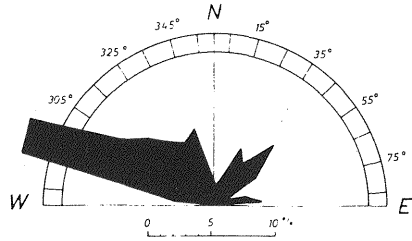


Fig. 5. Zbiorcza róża spękań (437 pomiarów)
Summative rose diagram (437 measurements) of fractures

(tab. 1). Spośród obu kierunków na wszystkich ścianach kamieniołomu wyraźną przewagę mają spękania WNW – ESE (fig. 3).

W obrębie tego zespołu dominuje na ogół symetryczny rozkład upadów na N i na S. Uwidaczniają to zwłaszcza diagramy punktowe zestawione dla ściany S i W (fig. 4A, C). W przypadku ściany NW (fig. 4B) zaznacza się nieznaczna przewaga powierzchni ciosowych pochylonych na północ w przedziale kątów od 70 do 90°. Dotyczy to przede wszystkim spękań o niewielkim zasięgu, natomiast na dużych płaszczynach obserwuje się głównie zapadanie zbliżone do pionowego. Przykładem wyraźnej asymetrii w zapadaniu spękań o kierunku WNW – ESE jest ściana N

Tabela 1

Charakterystyka głównych kierunków spękań

Odsloneńcia	Kierunek spękań, położenie maksimum w stopniach oraz procentowy udział spękań					
	WNW – ESE	NW – SE	NE – SW	NNW – SSE	NNE – SSW	W – E
Ściana S	295° 28 _o	315° 23 _o	75° 10 _o	345° 4 _o	25° 27 _o	95° 8 _o
	51 _o					
Ściana NW	285° 61 _o	315° 13 _o	35°; 55° 14 _o	335° 6 _o	15° 6 _o	—
	74 _o					
Ściana W	305° 35 _o	325° 10 _o	45° 3 _o	345° 21 _o	25° 16 _o	85° 15 _o
	45 _o					
Ściana N	285° 21 _o	305° 11 _o	45° 23 _o	335° 40 _o	—	75°; 85° 5 _o
	32 _o 32 _o					
Łącznie dla całego kamieniołomu	295° 57 _o		45° 13 _o	345° 12 _o	25° 10 _o	85° 8 _o

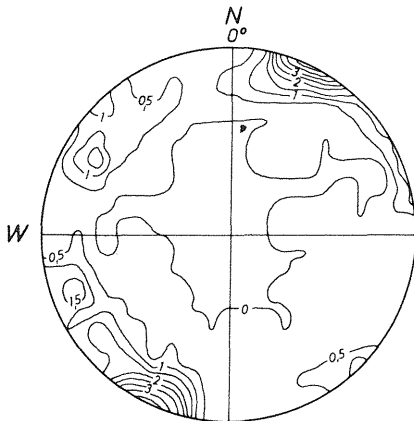


Fig. 6. Diagram konturowy spękań
Contour diagram of fractures

(fig. 4D); zdecydowana większość powierzchni zapada na S pod kątem od 70 do 85°.

W systemie spękań NW–SE asymetryczny rozkład upadów jest znacznie powszechniejszy. Równomierny rozkład nachylenia powierzchni na NE i SW zaznacza się jedynie na ścianie S (fig. 4A). Pozostałe odcinki kamieniołomu charakteryzują się zdecydowaną przewagą spękań zapadających na SW: na ścianie NW i W głównie pod kątem około 80° (fig. 4B, C), i na ścianie N od 55 do 90° (fig. 4D).

Analiza diagramów punktowych wskazuje na daleko idące zróżnicowanie kierunków i kątów zapadania spękań w obrębie poszczególnych ścian kamieniołomu.

Drugi co do liczebności w badanym masywie gabrowym jest system spękań NE–SW. Występuje on na wszystkich ścianach kamieniołomu, a także wyraźnie uzewnętrznia się na zbiorczych zestawieniach graficznych. Procentowy udział spękań waha się od 3 do 23%, a położenie maksimum tego kierunku przypada najczęściej na azymut 45°. Wyjątek stanowi ściana S, na której centrum tego systemu jest znacznie przesunięte i wyznacza je azymut 75° (fig. 3A).

Na ścianie NW spękania o przebiegu NE–SW grupują się w postaci dwóch maksimumów, o azymucie 35 i 55° (fig. 3B). Zdecydowana większość powierzchni systemu NE–SW zapada stromo, mniejsze upady w granicach od 60 do 80° skierowane są przede wszystkim ku północnemu zachodowi (fig. 6). Na poszczególnych ścianach kamieniołomu zaznacza się jednak pewne zróżnicowanie zarówno kątów nachylenia powierzchni spękań, jak i kierunków ich zapadania. Na ścianie S uwiadcza się zdecydowana przewaga upadów na NW, przy szerokim przedziale kątów od 50 do 85° i braku powierzchni pionowych. Podobna sytuacja zaznacza się na ścianie W, jednak upady grupują się głównie w zakresie od 75 do 80°. Na ścianie NW powierzchnie spękań nachylone są na dwie strony; w kierunku SE dominują kąty od 40 do 70°, natomiast w kierunku NW upady są bardziej strome

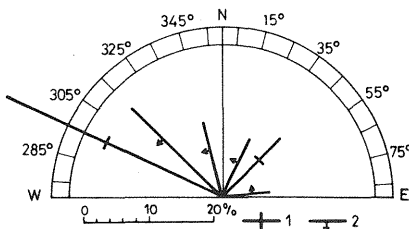


Fig. 7. Schemat rozmieszczenia głównych kierunków spękań

Scheme of distribution of major fracture directions
1 – kierunek z przewagą spękań pionowych lub o stromym nachyleniu (ponad 80°); 2 – kierunek spękań o nachyleniu poniżej 80°

1 – direction with predominance of vertical and steep (over 80°) fractures; 2 – direction of fractures dipping at angle below 80°

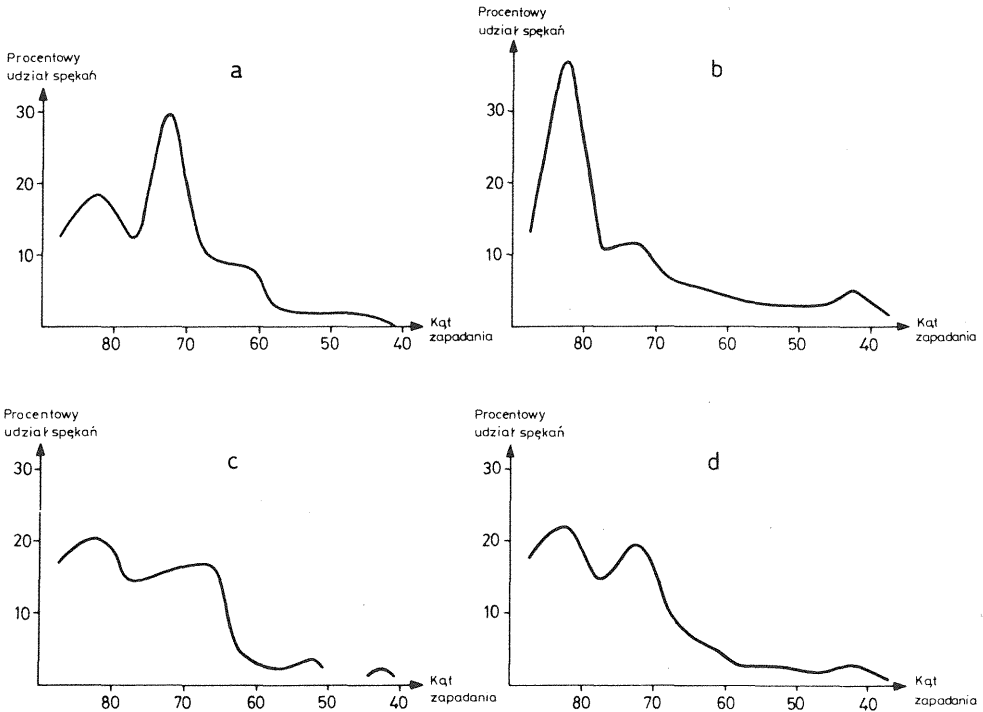


Fig. 8. Wykresy zapadania spękań

Graphs of dip of fractures

a – ściana S; b – ściana NW; c – ściana N; d – zbiorczy wykres dla całego kamieniołomu

a – S wall of the quarry; b – NW wall; c – N wall; d – summative graph for the whole quarry

i wahają się od 60 do 85°. Na dużych powierzchniach rozkład upadów jest symetryczny. Na ścianie N wyraźnie dominują spękania pionowe, natomiast nieliczne nachylone pod kątem mniejszym od 90° zapadają głównie na NW.

W obrębie systemu NE – SW najliczniejszą grupę stanowią spękania o niewielkim zasięgu przestrzennym, tj. do 2 m, sporadycznie jednak spotyka się powierzchnie do kilku metrów, nachylone pod kątem od 45 do 60°.

Kolejny zbliżony co do liczebności do systemu NE – SW jest system NNE – SSE, skupiający 12% spękań. Na poszczególnych ścianach kamieniołomu udział spękań tego systemu waha się w szerokich granicach od 4 do 40%. Wyraźnie liczniejsze spękania zaznaczają się w północnej części odkrywki (fig. 3D, 4D). Maksimum tego kierunku wyznacza azymut 345°, z wyjątkiem ścian NW i N (azymut 335°).

Na diagramie konturowym (fig. 6) ujawnia się bardzo wyraźna asymetria w zapadaniu spękań tego systemu; zdecydowana większość nachylona jest na W pod kątem od 70 do 80°. Uwidacznia to centrum położone w punkcie 250/75° i obwiedzione izolacją o wartości 1,5%. Układ ten podyktowany jest prawie wyłącznie przebiegiem spękań na ścianie N, gdzie kierunek NNW – SSE reprezentowany jest przez 40% powierzchni zapadających prawie wyłącznie na zachód pod kątem od 45 do 85° (fig. 4D). Na ścianie W przeważają spękania strome, jednak w przypadku kątów mniejszych od 90° dominują upady na W (fig. 4C). Na pozostałych odcinkach odsłonięcia kierunek NNW – SSE reprezentowany jest zupełnie podrzędnie, co

udaremnia wyciąganie wniosków na temat prawidłowości zapadania spękań.

Wśród rozpoznanych w kamieniołomie systemów spękań niezbyt licznie reprezentowany jest kierunek NNE–SSW, skupiający 10% wszystkich spękań. Na poszczególnych ścianach odsłonięcia udział ich waha się od 6 do 27% (tab. 1), przy czym na ścianie N spękań tych brak (fig. 3D). Najliczniejsze spękania systemu NNE–SSW mają azymut 25° (fig. 5). Charakterystyczną cechą tego systemu jest bardzo wyraźna asymetria zapadów, wyrażająca się głównie pochyleniem na W. Na diagramie konturowym (fig. 6) zaznacza się to zagęszczeniem izolinii wokół punktu $300/70^\circ$. Wybitna przewaga upadów skierowanych na zachód zaznacza się w ścianie S i W; w pierwszym przypadku koncentrują się one przede wszystkim w przedziale kątów od 50 do 85° , w drugim zaś pod kątem około 75° . Odmienna jest sytuacja na ścianie W, na której występują nieliczne duże powierzchnie o nachyleniu od 45 do 55° na wschód (fig. 4B).

Wśród spękań zarejestrowanych w kamieniołomie Braszowice najmniej liczne są spękania o kierunku W–E. Ich procentowy udział waha się od 5 do 15% , a ogółem dla całego obiektu wynosi 8% (tab. 1). Na ścianie NW system ten w ogóle nie został ujawniony. Położenie jego maksimum zmienia się od 75 do 95° . Ze względu na zbyt duży rozrzut azymutów rozciągłości oraz kątów zapadania, system ten nie zaznacza się na diagramie konturowym. W obrębie tego kierunku nie spotyka się dużych powierzchni o zasięgu kilku czy kilkunastu metrów, jak ma to miejsce w przypadku pozostałych systemów. Wyraźną przewagę mają spękania zapadające na północ; na ścianie S pod kątem od 60 do 90° , a na ścianie W od 70 do 75° . Na ścianie N spękania W–E są wprawdzie bardzo nieliczne, ale wszystkie zarejestrowane pochyłone są na S.

Zebrany materiał pomiarowy, poza charakterystyką rozciągłości kierunków spękań, umożliwił dokonanie krótkiej analizy rozkładu kątów zapadania powierzchni nieciągłości mechanicznej w skałach. Wykresy kątów zapadania spękań (fig. 8) mają charakter wielomodalny. Najliczniejsze klasy obejmują przedziały upadów: $81-85^\circ$ i $71-75^\circ$. W pierwszej klasie – w zestawieniu łącznym dla całości kamieniołomu – mieści się 22% wszystkich spękań, a dla poszczególnych ścian od 18 do 37% spękań. Druga klasa obejmuje 19,5% spękań, przy czym dla poszczególnych ścian od 11,5 do 30%. Ponadto na wykresach zaznacza się również niewielkie maksimum odpowiadające przedziałowi od 41 do 45° .

Dwa najliczniejsze przedziały upadów, tj. $81-85^\circ$ i $71-75^\circ$ nie zajmują wobec siebie określonej kolejności pod względem procentowego udziału. Na ścianie S spękania klasy $81-85^\circ$ wynoszą 18,3%, a klasy $71-75^\circ$ – 29,8%. Na ścianie NW mamy sytuację odwrotną – bardziej strome upady reprezentowane są przez 36,9% spękań, a mniej strome przez 11,6%.

Przyczyną wielomodalnego rozkładu kątów zapadania spękań jest występowanie w obrębie niektórych kierunków licznych grup spękań o bardziej połączonych kątach zapadania. Dotyczy to kierunków NW–SE, NNW–SSE oraz NNE–SSW. Stosunkowo liczne są także przypadki raptownej zmiany kąta zapadania wzdłuż powierzchni utrzymujących niezmienny azymut rozciągłości. Na podstawie pomiarów przeprowadzonych na ścianie S i NW stwierdzono, że kąty zapadania spękań $\leq 65^\circ$ są reprezentowane w systemie NE–SW i NW–SE w 7%, a w systemie W–E w 3%.

Analiza rozkładu kątów zapadania spękań obok pewnych prawidłowości ujawniła duże lokalne zróżnicowanie nachylenia analogicznie jak w przypadku azymutów spękań. Charakterystycznym zjawiskiem jest ogólna asymetria zapadania spękań w całym masywie gabrowym. Wyraża się to zdecydowaną przewagą upadów na zachód wśród spękań, które w obrębie kierunków NW–SE, NNW–

SSE i NNE – SSW tworzą centra o przedziałach kątów od 65 do 80°. Ponadto stwierdzono, że po wyeliminowaniu powierzchni pionowych oraz powierzchni o azymucie 0° (180°) 68% wszystkich spękań zapada na zachód, a jedynie 32% na wschód.

BLOCZNOŚĆ MASYWU SKALNEGO

Różnorodność kierunków spękań, ich zasięgu przestrzennego, gęstości oraz kątów zapadania sprawia, że oddziaływanie poszczególnych grup spękań na stateczność ścian eksploatacyjnych jest bardzo zróżnicowane. Czynniki te decydują także o dużym rozrzucie wymiarów bloków skalnych. Z punktu widzenia wpływu spękań na geomechaniczne cechy masywu gabrowego w kamieniołomie można wydzielić trzy grupy spękań.

Pierwszą grupę stanowią najwyraźniej uwidaczniające się pionowe lub stromo nachylone szczeliny o długości co najmniej kilkudziesięciu metrów przecinające ściany kamieniołomu na całej wysokości (tabl. I, fig. 9; tabl. II, fig. 11). Nierzadko są to strefy tektoniczne, którym towarzyszą serie gęsto rozmieszczonych równoległych spękań, wywołujących złupkowanie gabra. Wspomniane strefy mają orientację WNW – ESE i NW – SE, tj. zgodną z głównym kierunkiem spękań. Występują na wszystkich ścianach odkrywki w nieregularnych odstępach od 3 do 36 m (fig. 2). Jest to zatem system spękań nie tylko najliczniejszy, ale skupiający zarazem największe powierzchnie.

Drugą grupę stanowią spękania głównie systemu NNE – SSW oraz w mniejszym stopniu NE – SW, o połączonych upadach w granicach od 40 do 60° skierowanych przede wszystkim na wschód (tabl. II, fig. 11, 12). W sumie zaledwie kilka tego typu powierzchni przecina poprzecznie ściany kamieniołomu na odcinku do kilkudziesięciu metrów. Najwyraźniejsze są one na ścianie NW i N. Szczególne znaczenie ma powierzchnia o orientacji 15/45° E, która przecina ścianę NW od dna kamieniołomu do górnej krawędzi odsłonięcia na długości kilkudziesięciu metrów. Mimo że spękania te są nieliczne, odgrywają bardzo istotną rolę, bowiem na zachodnich ścianach kamieniołomu powodują powstawanie płaskich półek, sprzyjających obsuwaniu się dużych bloków skalnych. Naruszanie stateczności ścian kamieniołomu jest szczególnie duże w strefach przecinania się rozległych powierzchni nieciągłości mechanicznej o orientacji NNE – SSW i NE – SW, nachylonych pod ostrymi kątami, ze stromo zapadającymi szczelinami o przebiegu WNW – ESE i NW – SE. Stan zagrożenia stwarzają również powierzchnie o orientacji NNE – SSW i NE – SW zapadające w kierunku zachodnim. Sprzyjają one powstawaniu „przewieszek” prowadzących do obrywania się bloków skalnych, zwłaszcza w okresach wzmożonych opadów atmosferycznych.

Trzeci typ spękań stanowią różnokierunkowe powierzchnie nieciągłości o niewielkim zasięgu, wywołujące drobnoblokową podzielność masywu gabrowego (tabl. I, fig. 10). Zasięg ich waha się zazwyczaj od kilkudziesięciu centymetrów do 3 m. Spękania te reprezentują wszystkie kierunki, jakie zostały zarejestrowane podczas pomiarów tektonicznych. Często wzajemnie się przecinają, a ich intensywność decyduje o zróżnicowaniu wymiarów bloków gabra.

Z punktu widzenia stateczności ociosów szczególną uwagę zwraca fakt krzyżowania się pewnych zespołów spękań. Nieciągłości o orientacji WNW – ESE i NW – SE podobnie jak NNE – SSE i NE – SW tworzą ze sobą kąt około 20°. Powoduje to formowanie się charakterystycznych klinów skalnych i wypadanie ich z masywu.

Ponadto na zachodnich ścianach kamieniołomu (ściana NW i N) krzyżują się podstawowe kierunki spękań o ogólnej orientacji NW–SE oraz NE–SW, co prowadzi do utraty stateczności ociosu niekiedy na znacznej wysokości ściany (tabl. I, fig. 9).

Ilościowe ujęcie gęstości spękań w odsłoniętym w kamieniołomie Braszowice masywie gabrowym nastęrcza znaczne trudności ze względu na różnorodność kierunków, zróżnicowany zasięg przestrzenny, a także obecność spękań eksploatacyjnych powstających w wyniku robót strzałowych. W związku z tym natężenie gęstości spękań ulega lokalnie dużym wahaniom. Wykonane na dostępnych ścianach badania wykazują, że rozstaw spękań zmienia się od 0,226 do 0,73 m. Wyjątkowo w strefach tektonicznych, gdzie obserwuje się silne zruszenie górotworu, rozstaw spękań wynosi 0,07 m. W efekcie mamy do czynienia ze zmienną rozpiętością wymiarów bloków skalnych, których przeważająca część mieści się w przedziale od 0,02 do 0,2 m³. Liczne są także bloki o objętości od 0,2 do 1 m³, a tylko w pojedynczych przypadkach o objętości do 2 m³.

PODSUMOWANIE WYNIKÓW

Układ spękań rozpoznany w kamieniołomie Braszowice jest bardzo złożony, czego wyrazem jest występowanie sześciu systemów spękań, asymetryczny rozkład upadów, zarówno co do kątów, jak i kierunku, oraz lokalne zróżnicowanie przewagi i liczebności głównych zespołów spękań. Większość z wymienionych cech została stwierdzona również przez H. Buczka (1953) w gabrach masywu Sobótki. Ta analogia sugeruje, że niektóre rysy wewnętrznej tektoniki intruzji zasadowych występujących w otoczeniu bloku sowiogórskiego mają powszechniejszy charakter, a nie odnoszą się tylko do pojedynczych masywów.

Wielokierunkowość układu spękań, zmieniające się w różnych strefach odsłonięcia położenie maksimum głównych systemów spękań oraz wyraźne wahania ich liczby w ogromnym stopniu utrudniają geometryczną i genetyczną interpretację zjawisk tektonicznych w kamieniołomie.

Przedstawiony w niniejszym artykule materiał obserwacyjny i uogólnienia odbiegają w znacznym stopniu od wcześniejszych spostrzeżeń z tego terenu, poczynionych przez L. Jamrozika (1975).

Grupując poszczególne kierunki spękań w zespoły przecinające się pod kątem prostym, można wyróżnić następujące pary kierunków: WNW – ESE i NNE – SSW, NW – SE i NE – SW oraz NNW – SSE i W – E.

W pierwszej z wydzielonych par wyraźnie dominuje zespół spękań WNW – ESE, który zarazem jest najliczniej reprezentowany wśród ogółu wyróżnionych na tym terenie grup spękań. Zdecydowana przewaga stromo ustawionych powierzchni o dużym zasięgu przestrzennym, a także obecność licznych szczelin wypełnionych wtórnie substancją mineralną albo zwietrzeliną skał otaczających, wskazują na tensyjny charakter omawianego systemu. Analogiczna geneza jest mu przypisywana przez L. Jamrozika (1975). Powierzchnie o przebiegu NNE – SSW, zorientowane prostopadle do scharakteryzowanego kierunku, stanowią jeden z podrzędniejszych zespołów spękań. Typową ich cechą jest wyraźna przewaga upadów na zachód, aczkolwiek występują również duże, lecz nieliczne płaszczyzny nachylone na wschód. Obydwa wymienione kierunki, tj. WNW – ESE i NNE – SSW, obejmują łącznie 52% spękań.

Drużga para kierunków prostopadłych do siebie, przesunięta jest w stosunku

do poprzedniej o kąt 20° , mierzony zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Fakt ten dowodzi, że interferujące ze sobą zespoły spękań WNW – ESE i NW – SE oraz NNE – SSW i NE – SW (fig. 7) należy traktować jako samodzielne kierunki tektoniczne. Liczniej reprezentowany jest kierunek NW – SE, w obrębie którego zaznacza się wyraźna przewaga powierzchni zapadających pod kątem około 75° na SW. Współwystępują z nimi także spękania stromo zapadające, o dużym zasięgu przestrzennym, których cechy morfologiczne wskazują na pochodzenie tensyjne. Wśród spękań o przebiegu NE – SW dominują natomiast strome upady o symetrycznym rozkładzie. Omówiona para kierunków skupia łącznie 28% spękań.

Najbardziej podrzędną rolę odgrywa para kierunków NNW – SSE i W – E. Tworzą one ze sobą kąt zbliżony do prostego i obejmują wspólnie 20% spękań. Wśród powierzchni o orientacji NNW – SSE lokalnie wyraźnie dominują upady na W pod kątem około 70° . Asymetrię w nachyleniu spękań obserwuje się również w obrębie kierunku W – E, najczęściej wyrażoną przewagą upadów na północ.

Przedstawiony schemat łączenia spękań w pary kierunków wzajemnie do siebie prostopadłych nie jest dostatecznie uzasadniony genetycznie i ma przede wszystkim charakter geometryczny. Pozwala on jednak na dokonanie pewnych spostrzeżeń ogólniejszych. W najliczniej reprezentowanych zespołach spękań, przecinających się pod kątem prostym, w jednym z kierunków zdecydowanie dominują strome i pionowe upady, w drugim natomiast asymetryczne nachylenia na północ lub na zachód. Sprowadzając rozmieszczenie poszczególnych kierunków spękań do IV i I ćwiartki koła azymutowego, wszystkie mniej strome i dominujące upady skierowane są przeciwnie do ruchu wskazówek zegara (fig. 7).

Układ spękań w kamieniołomie gabra Braszowice jest na tyle skomplikowany, że trudno uzasadniać jego powstanie jednokrotną deformacją, jak to czyni L. Jamrozik (1975). Wielokierunkowość orientacji spękań, wielomodalne rozkłady kątów zapadania, a także współwystępowanie w obrębie jednego systemu kierunkowego powierzchni o różnej genezie dowodzą, że cały ten układ został wytworzony co najmniej w dwóch fazach tektonicznych. Wyrazem zróżnicowanej genezy spękań reprezentujących zespół o jednej rozciągłości jest obecność zarówno pionowych szczelin, jak i gładkich powierzchni zapadających pod kątami bardziej połogimi. Taka sytuacja ma np. miejsce w przypadku kierunku NW – SE. Według H. Buczka (1953) w gabrach masywu Sobótki przejawem starszej tektoniki przedgranitowej są systemy spękań WNW – ESE i N – S.

Charakterystyczną cechą spękań w gabrach Braszowice jest daleko posunięte, lokalne zróżnicowanie proporcji ilościowych spękań w poszczególnych kierunkach, a w mniejszym stopniu także liczby kierunków oraz ich orientacji (tab. 1). Zjawisko to ujawnia się w kamieniołomie na niewielkich odcinkach, a zatem nie może być uwarunkowane zmianami w pierwotnym polu naprężeń. Natomiast słuszne wydaje się przypuszczenie, że przyczyną jest lokalne zróżnicowanie odporności gabra na działanie sił tektonicznych (H. Buczek, 1953).

To zróżnicowanie tektoniczno-strukturalne masywu gabrowego wywiera istotny wpływ na charakter i stopień zagrożenia poszczególnych ścian wyrobiska eksploatacyjnego ze strony obrywających się bloków skalnych. Stąd wynika konieczność dokonywania okresowych obserwacji tektonicznych oraz ich syntetycznego opracowywania dla bieżących potrzeb eksploatacji.

W kształtowaniu stateczności ścian kamieniołomu dominujące znaczenie mają szczeliny o przebiegu WNW – ESE wraz z towarzyszącymi im strefami równoległych spękań oraz położe nachylone powierzchnie o orientacji NNE – SSW i upadzie skierowanym zarówno na W, jak i na E.

Pomiary i obserwacje zachowania się masywu skalnego podczas eksploatacji

mają znaczenie praktyczne (S. Frelkiewicz i in., praca w druku). Nie podejmując szerzej tego tematu należy stwierdzić, że na podstawie badań tektonicznych określono model ściany kamieniołomu zbudowanej z bloków związanych jedynie siłami tarcia. W niekorzystnym wariacie ściana ta przecięta jest ponadto powierzchnią nieciągłości zapadającą w kierunku wyrobiska. Wychodząc z warunków granicznej równowagi elementarnego bloku skalnego obliczono, że przy nachyleniu tej powierzchni większym od 42° może nastąpić utrata stateczności ściany. Jeżeli uwzględnimy wpływ zawodnienia, zwłaszcza wiosną i jesienią, kąt ten obniży się znacznie. Na podstawie znajomości przestrzennego układu spękań oraz rozwiązań analitycznych określono, że przy aktualnym układzie ścian odkrywki bezpieczeństwo robót uzyska się prowadząc eksploatację w kierunku NE z azymutem w granicach od 15 do 45° . Ściana może mieć wówczas wysokość około 30 m przy nachyleniu 80° . Najniekorzystniejsze warunki panują natomiast na ścianach zachodnich, gdzie jest możliwość utraty stateczności ociosu lub jego fragmentów z uwagi na obecność powierzchni nieciągłości zapadających w kierunku E pod kątem około 55° .

Zakłady Badawcze i Projektowe Miedzi „Cuprum”
Wrocław, Pl. 1-go Maja 1/2
Ministerstwo Hutnictwa i Przemysłu Maszynowego
Warszawa, ul. Krucza 38/42
Nadesłano dnia 2 maja 1983 r.

PIŚMIENNICTWO

- BUCZEK H. (1953) – Spękania skalne masywu Sobótki. Roczn. Pol. Tow. Geol., **22**, p. 123–176, nr 2.
- CHMURA K., SUŁKOWSKI J. (1965) – Główne kierunki spękań w wirowskim masywie serpentynitowym. Prz. Geol., **13**, p. 320–322, nr 7.
- FRELKIEWICZ S., KIJEWSKI P., SALSKI W. (praca w druku) – Warunki stateczności ścian w kamieniołomie gabra „Braszowice” na tle szczelinowatości masywu. Prz. Geol.
- GAJEWSKI Z. (1966) – Serpentytyny Grochowej–Braszowic i związana z nimi mineralizacja magnezytowa. W: Z Geologii Ziemi Zachodnich, p. 451–458. Wrocław.
- GEOLOGIA I SUROWCE MINERALNE POLSKI (1970) – Biul. Inst. Geol., **251**.
- GLIŃSKI J. (1969) – Wpływ podzielności naturalnej złoża na usytuowanie frontu robót. Gór. Odkrywk., **3**.
- HOEK E., PRAY J. (1981) – Rock slope engineering. Inst. Min. Metal., 1981. London.
- JAMROZIK L. (1975) – Tektonika gabr masywu gabrowo-serpentytowego Braszowic–Brzeźnicy (Sudety). Prz. Geol., **23**, p. 245–246, nr 5.
- JAMROZIK L. (1980) – Złoża surowców skalnych prekambryjskiego i staropaleozoicznego magmatyzmu bazytowego Dolnego Śląska. Gospodarka surowcami skał litych na Dolnym Śląsku. Mat. Konf., p. 185–196. PAN Oddział we Wrocławiu.
- KOZŁOWSKI S. (1959) – Projektowanie eksploatacji kamienia budowlanego na podstawie znajomości spękań skał. Prz. Gór., **15**, p. 53–64, nr 1–2.
- MACIEJEWSKI S. (1968) – Ultrabasic and basic rock in the framework of the Góry Sowie gneissic block. Biul. Inst. Geol., **222**, p. 107–124.
- OBERC J. (1960) – Podział geologiczny Sudetów. W: Czterdziestu lat Instytutu Geologicznego, 1919–1959. Pr. Inst. Geol., **30**, cz. 2.
- OBERC J. (1972) – Budowa geologiczna Polski. t. IV – Tektonika, cz. 2. Sudety i obszary przyległe. Inst. Geol. Warszawa.

- SALSKI W. (1972) – Metodyka badań mezoskopowych zjawisk tektonicznych w wyrobiskach górniczych. *Kwart. Geol.*, 16, p. 978–994, nr 4.
- WÓJCIK L. (1971) – Układ spękań w granitach strzebińskich i ich wpływ na właściwości ciosowe lub naruszenie stateczności ociosu kamieniołomu. *Pr. Nauk. Inst. Geotechn. Pol. Wrocław. Konferencje*, nr 11; 2. Wrocław.

Пётр КИЕВСКИЙ, Войцех САЛЬСКИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В КАРЬЕРНОЙ РАЗРАБОТКЕ НА ПРИМЕРЕ КАМЕННОЛОМНИ БРАШОВИЦЕ

Резюме

Карьерная разработка залежей полезных ископаемых требует все более глубокого изучения тектоники, для того, чтобы использовать эти данные для надлежащего планирования фронта эксплуатационных работ и обеспечения их безопасности. В каменоломне Брашовице около Зомбковиц Шленских (фиг. 1, 2), где добывается габбро, производились замеры пространственной ориентировки трещин, плотности их распределения, размеры и морфологические особенности. Результаты представлены: графически, в виде розы трещин (фиг. 3, 5) и диаграмм (фиг. 4, 6), на графике углов падения (фиг. 8) и на таблице (таб. 1). В сумме выполнено 437 замеров, вполне обеспечивающих представительность анализа.

Трещины складываются в очень сложную систему, как во всей каменоломне, так и в отдельных стенах (фиг. 2, табл. 1). Выделяется шесть направлений, группирующихся в ассоциации, пересекающиеся под прямым углом. Таким путем, исходя из геометризации выделены следующие пары направлений: ЗСЗ—ВЮВ и ССВ—ЮЮЗ; СЗ—ЮВ и СВ—ЮЗ, а также ССЗ—ЮЮВ и З—В.

Ввиду блочности массива, выделено три группы трещин независимо от направления. Первая объединяет вертикально или круто падающие терцины или тектонические зоны, пересекающие стены каменоломни по всей их высоте. Эта группа трещин ориентирована в ЗСЗ—ВЮВ и СЗ—ЮВ направлении и является наиболее четким элементом тектоники в каменоломне.

Вторая группа ориентирована в СВ—ЮЗ направлении и отличается пологим падением 30–60°, обычно восточной направленности. Такие нарушения, хотя и немногочисленные, ослабляют стабильность западных стен каменоломни.

Третья группа объединяет трещины размером в несколько метров, проходящие во всех выше отмеченных направлениях. Они разбивают массив на мелкие блоки, благодаря чему локально воздействуют на стабильность целых стен и их фрагментов.

Для разработки существенное значение имеет факт пересечения пологих поверхностей с некоторыми системами вертикальных трещин (ЗСЗ—ВЮВ или СЗ—ЮВ) и скрещивание вертикальных трещин, благодаря чему образуются клинья скал, выпадающие из стен выработки, что создает угрозу безопасности работ.

В итоге изучения решено, что для обеспечения безопасности работ и улучшения условий разработки, следует продолжать работы в СВ направлении, придерживаясь азимута 15–45°. Наиболее опасными для разработки являются западные стены, ввиду чего их эксплуатацию следует прекратить.

Piotr. KIJEWSKI, Wojciech SALSKI

THE USE OF TECTONIC DATA IN OPEN-STRIP MINING AT THE EXAMPLE OF THE BRASZOWICE QUARRY

Summary

Tectonic data have appeared to be of marked value for appropriate selection of exploitation front in open-strip mining and reduction of hazard in the works, which results in increase of demand for tectonic surveys. In the Braszowice gabbro quarry near Żąbkowice Śląskie (Figs. 1, 2), there were taken measurements of spatial orientation, spacing, extent and morphology of fractures. The obtained results were plotted in rose (Figs. 3, 5) and other diagrams (Figs. 4, 6), graphs of angle of dip (Fig. 8) and tabulated (Table 1). There were taken 437 measurements so the obtained results may be regarded as sufficiently representative.

The pattern of fractures in rocks appears highly complex when analysed in the scale of the whole quarry as well as in individual walls (Fig. 2, Table 1). There may be differentiated six directions, grouped in assemblages oriented normal to one another. On the basis of geometric premises, the following pairs of directions have been differentiated: WNW-ESE and NNE-SSW, NW-SE and NE-SW, and NNW-SSE and W-E.

Moreover, three groups of fractures have been differentiated with reference to block separateness in rock massif and not their orientation. First of these groups comprises vertical to steep dipping fissures and tectonic zones which cut quarry walls throughout their height. The WNW-ESE and NW-SE directions predominate in this group and the forms represent tectonic elements best displayed in this quarry.

The second group comprises fractures usually NE-SW oriented and dipping eastwards at low angles, from 30 to 60°. Discontinuities of that type are rather innumerable but, nevertheless, they bear a negative effect on stability of western walls in the quarry.

The third group comprises minor fractures, up to a few meters long and representing all the directions recorded here. The fractures are responsible for block separateness in the rock massif and, therefore, for local instability of walls or their parts.

The crossing of the low-angle discontinuities and those of individual systems of vertical ones (WNW-ESE or NW-SE oriented) and of discontinuities belonging to the latter systems is important from the point of view of open-strip mining practice. It usually leads to origin of rock wedges and falls of such wedges from rock face, creating serious hazard for miners.

The studies showed that the mining works will be safer and at the same time conducted under more favourable conditions when they are mainly carried out to the north-east, in azimuth varying from 15 to 45°. Conditions prevailing in western walls of the quarry were found to be the least favourable so these walls should not be subjected to exploitation.

TABLICA I

Fig. 9. Fragment ściany S i NW z obecnością dużych powierzchni nieciągłości pionowych lub o stromym nachyleniu. Widoczne są także płasko nachylone powierzchnie zapadające w kierunku wyrobiska
Fragments of S and NW walls, displaying vertical and steeply dipping discontinuities and some others, dipping at low angle towards the mining works

Fig. 10. Przykład bloczności skał gabrowych na ścianie S. Płasko nachylone powierzchnie nieciągłości stanowią półki skalne. Podziałka (biała) o długości 0,5 m

An example of block separateness of gabbro rocks in the S wall of the quarry. Low-angle discontinuities marked as rock ledges. Scale (white) - 0.5 m long

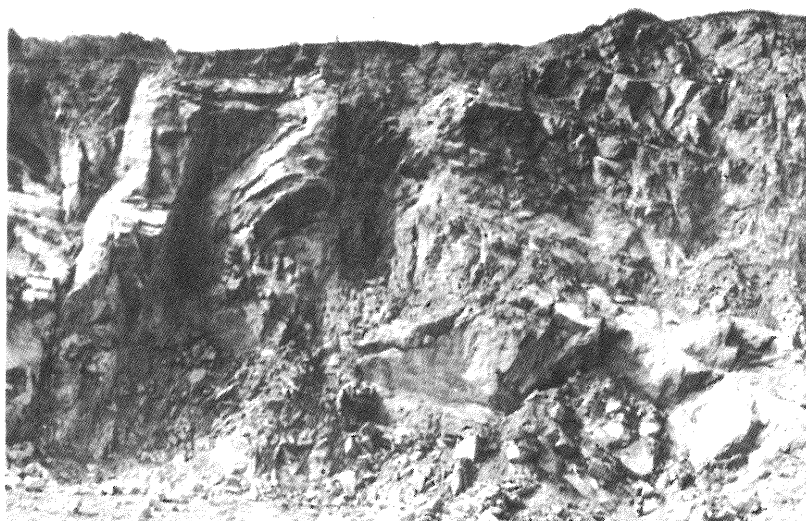


Fig. 9



Fig. 10

Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI – Zastosowanie badań tektonicznych w górnictwie odkrywkowym na przykładzie kamieniołomu Braszowice

TABLICA II

Fig. 11. Strefa spękań pionowych z obecnością powierzchni płasko zapadającej w kierunku wyrobiska. Tego typu powierzchnie obniżają stateczność ociosu. Ściana NW

Zone of vertical fractures, with discontinuities inclined at low angle towards the mining works. Discontinuities of the latter type reduce stability of quarry walls. NW wall of the quarry

Fig. 12. Pojedyncza powierzchnia zapadająca w stronę wyrobiska, ułatwiająca zsuwanie bloków lub utratę stateczności ociosu. Ściana W

A single discontinuity inclined towards the mining works and, therefore, facilitating slide of blocks and reducing stability of quarry wall. W wall of the quarry

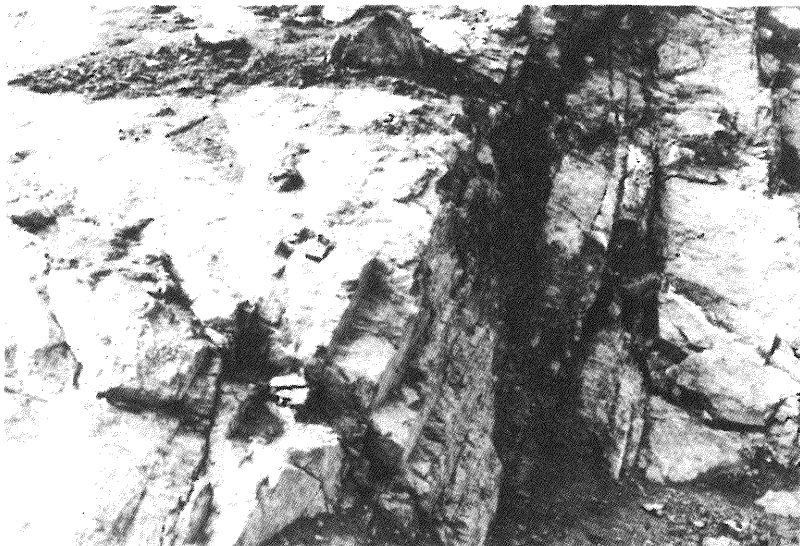


Fig. 11



Fig. 12

Piotr KIJEWSKI, Wojciech SALSKI – Zastosowanie badań tektonicznych w górnictwie odkrywkowym na przykładzie kamieniołomu Braszowice