

Piotr Małkowski, Tadeusz Majcherczyk*, Zbigniew Niedbalski**

ANALIZA ROZKŁADU WSTRZĄSÓW GÓROTWORU W REJONIE ŚCIANY B-1 POKŁADU 403/3 W ASPEKcie WYBRANYCH CZYNNIKÓW GÓRNICZYCH I GEOLOGICZNYCH**

1. Wstęp

Wstrząsy górotworu zaliczane są do jednych z największych zagrożeń naturalnych, towarzyszących podziemnej eksploatacji górniczej. Analiza czasowych, przestrzennych i energetycznych rozkładów wstrząsów rejestrowanych na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego pokazuje, że mają one dwojaką naturę. Większość zjawisk sejsmicznych niskoenergetycznych można ściśle powiązać z prowadzoną eksploatacją, natomiast zjawiska wysokoenergetyczne najczęściej związane są z nakładaniem się pól naprężeń eksploatacyjnych, względnie tektonicznych. Wstrząsy takie klasyfikuje się wówczas jako eksploatacyjne i regionalne [4].

Wśród czynników sprzyjających powstawaniu zjawisk sejsmicznych wymienia się przede wszystkim naturalną skłonność górotworu do akumulowania energii sprężystej. Energia ta jest jednak zawsze wyzwolana w miejscach koncentracji naprężeń, powodowanej głównie nadmiernym bądź niewłaściwym rozcięciem złoża węgla, względnie występowaniem naturalnych dyslokacji warstw skalnych — uskoków [3, 4, 7, 12]. Sekwencyjne pęknięcie warstw skalnych może prowadzić do tworzenia się nowych płaszczyzn neotektonicznych [10, 11].

W niniejszym artykule przedstawiono analizę zaistniałych zjawisk sejsmicznych zarejestrowanych w trakcie eksploatacji pokładów 403/1 i 403/3. Scharakteryzowano rozkład wstrząsów w stosunku do przesuwanego się frontu eksploatacyjnego, uwzględniając oddziaływanie krawędzi eksploatacyjnych, pozostawionych w pokładzie filarów oraz uskoków.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Praca wykonana w ramach prac statutowych AGH, nr umowy 11.11.100.588/TM

2. Wpływ deformacji oraz uskoków na sejsmiczność górotworu

W wyniku prac eksploatacyjnych następuje ugięcie warstw stropowych ponad eksploatowanym pokładem. Wyeksploatowanie dużych objętości pokładów węgla kamiennego na różnych głębokościach jest przyczyną dużych ugięć warstw skalnych, a także obniżen powierzchni terenu dochodzących do kilkunastu, a niekiedy kilkudziesięciu metrów. Tworzące się wewnątrz górotworu ugięcia warstw skalnych powodują zwiększenie naprężeń efektywnych, co może powodować przekroczenie wartości krytycznych. Prowadzi to do powstania pęknięcia, które jest źródłem rozładowania energii [7, 8].

Należy też zwrócić uwagę, że powstałe podczas eksploatacji górniczej wsporniki w stropie wybieranego pokładu przeciwstawiają się przesuwni mas skalnych względem siebie. Doprowadzają one niekiedy do spowolnienia bądź zatrzymania deformacji, pomimo powstania w górotworze wyraźnej strefy nieciągłości [2, 7]. Wzrost naprężeń ścinających wywołanych ugięciem doprowadza w końcu do pokonania tych oporów, czemu towarzyszy uwolnienie zakumulowanej energii. Jednak okres wstrzymania rozwoju deformacji górotworu odgrywa bardzo ważną rolę w rozpoznaniu procesu przygotowania ośrodka do wstrząsu.

Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że postęp procesu deformacji w górotworze, mający charakter przesunięcia mas skalnych w strefie nieciągłości, może prowadzić do szczególnie niebezpiecznego wyładowania energii. W górotworze następuje tworzenie się stref przemieszczeń lub uruchamianie już istniejących stref nieciągłości. Masy skalne zaczynają się przesuwać, czemu może towarzyszyć emisja sejsmiczna proporcjonalna do prędkości zsuwu. Następuje wówczas rozwój liniowej strefy zsuwania, wzdłuż której następuje emisja energii sejsmicznej [7].

Jeżeli istnieją strefy osłabień w warstwach stropowych, takie jak strefy uskokowe, strefy osłabień w wyniku oddziaływania krawędzi lub długotrwałego postoju frontu eksploatacyjnego lub też naturalnej łupności skał, to ryzyko powstania w tych strefach gwałtownych relaksacji energetycznych wyraźnie rośnie [2, 8, 9]. Nadmierna koncentracja energii jest tu więc swojego rodzaju katalizatorem prowadzącym do zaistnienia zjawiska sejsmicznego — wstrząsu eksploatacyjnego.

Należy zauważyć, że eksploatacja górnicza w Górnos Śląskim Zagłębiu Węglowym prowadzona jest najczęściej w złożu, w którym występują zaburzenia geologiczne o charakterze tektonicznym. W górotworze karbońskim zbudowanym głównie z naprzemianległych warstw piaskowców, iłowców i mułowców strefy uskokowe ze względu na silne spękania skał są strefami osłabienia.

W rejonach nieciągłości tektonicznych zmniejszenie wytrzymałości skał jest przyczyną zjawisk dynamicznych, które w większości przypadków mają następujących charakter [6]:

- Uskok powoduje zwiększenie naprężeń ściskających w warstwie wstrząsogennej (głównie piaskowcu) zalegającym nad pokładem. Wybieranie warstwy węgla powoduje dodatkowy wzrost tych naprężeń, co w rezultacie może doprowadzić do nagłego zniszczenia piaskowca połączonego z dynamicznym wyładowaniem energii, co w wyrobiskach objawia się w postaci wstrząsu lub tapnięcia;

- Pod wpływem prowadzonej eksploatacji następuje nagłe przemieszczenie warstw na płaszczyźnie uskoku. Przesunięcie to może w bardzo krótkiej chwili czasowej spowodować nagłą zmianę stanu naprężenia w rejonie uskoku, co w konsekwencji prowadzi do tąpnięcia.

Na podstawie obserwacji wstrząsów rejestrowanych podczas eksploatacji złóż węgla w Polsce można stwierdzić, że aktywność uskoku jest potwierdzona występowaniem wstrząsów o różnych energiach w bezpośrednim ich sąsiedztwie. Istotny wpływ na energię i możliwość wystąpienia wstrząsu ma lokalizacja eksploatacji w skrzydle uskoku. Według dotychczasowych badań można przyjąć, że najczęściej wstrząsów wysokoenergetycznych (o energiach rzędu 10^5 - 10^6 J) pojawia się w skrzydle zrzuconym, nawet przy stosunkowo niedużych zrzutach uskoku [9].

Analiza wyników badań stanu naprężeń w strefach przyuskokowych wskazuje, że największe koncentracje naprężeń występują do odległości 40 m od płaszczyzny uskoku, a podwyższony stan naprężenia nawet do 70 m od niego. Warstwy stropowe, np. piaskowca, są zatem wstępnie naprężone i wyęteżone jeszcze przed eksploatacją. Naprężenia w rejonie pokładu węgla mogą ponad dwukrotnie przekraczać jego wytrzymałość na ściskanie [6].

Należy także zwrócić uwagę na fakt istnienia naturalnych neotektonicznych kierunków pęknięć skorupy ziemskiej, tzw. lineamentów. Ich rozkład na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego ma najczęściej kierunek NW–SE lub ENE–WSW [10, 11]. Nakładanie się kierunków regionalnych uskoku w utworach karbońskich z kierunkami lineamentów oraz kierunkami form morfologicznych dodatkowo sprzyja generowaniu wstrząsów wysokoenergetycznych [4, 11].

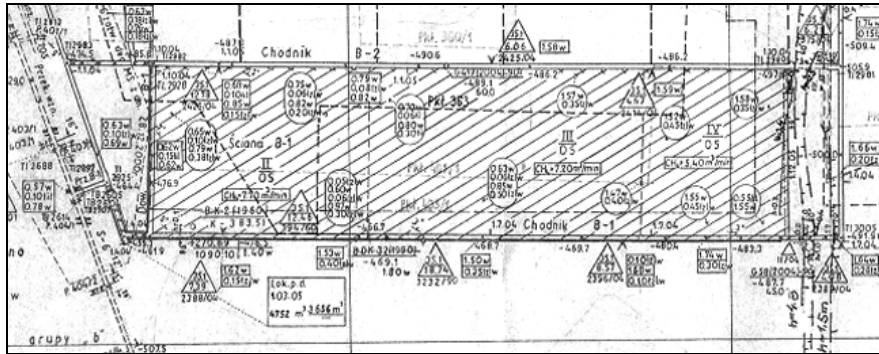
Powyżej opisane mechanizmy dynamicznego niszczenia warstw skalnych oraz czynniki związane z tektoniką złoża GZW charakteryzują występowanie silnych wstrząsów regionalnych. Ocena możliwości wystąpienia takich wstrząsów ma istotne znaczenie dla ochrony powierzchni oraz planowania eksploatacji górniczej, w szczególności w projektowanych nowych polach wybierkowych.

3. Wstrząsy w rejonie ściany B-1 w pokładzie 403/3

3.1. Warunki górniczo-geologiczne w rejonie ściany B-1

Rejon objęty niniejszą analizą dotyczy ściany B-1 w partii „B” pokładu 403/3, gdzie eksploatację prowadzi się od 1976 roku [5]. Dotychczas eksploatowano łącznie 11 pokładów (od 356/1 do 403/3), które wybierane były systemem zawałowym. Miąższość wybieranych pokładów wynosiła od 1,4 do 3,2 m. W niektórych polach eksploatacyjnych partii „B” sumaryczna miąższość wybranych pokładów sięgnęła 23,7 m.

Ściana B-1 w pokładzie 403/3 miała długość 208 m i wybieg 835 m (rys. 1). Eksploatację rozpoczęto na początku kwietnia, a zakończono 1 grudnia 2005 roku. Średnia wysokość ściany wynosiła 1,6 m (maksymalnie 2,0 m). Średnie nachylenie pokładu wynosiło ok. 3°. Wytrzymałość na ściskanie węgla zawierała się w granicach od 5,7 do 13,2 MPa, przy wartości energetycznego wskaźnika naturalnej skłonności węgla do tępów $W_{ET} = 0,82 \div 1,55$.



Rys. 1. Mapa pokładu 403/3 — rejon ściany B-1

Strop pokładu zbudowany był z iłowców, lokalnie przewarstwionych mułowcem. W obrębie tych skał zalegała nieregularna warstwa piaskowca o grubości $0,75 \div 4,10$ m, której minimalna odległość od stropu pokładu wynosiła 2,10 m. Średnia wytrzymałość na ściskanie skał stropowych wynosiła $41,7 \div 46,6$ MPa. W spągu pokładu 403/3 występowały przede wszystkim iłowce, lokalnie z przerostami mułowców.

Na wybiegu ściany B-1 nie występowały zaburzenia geologiczne, lecz granicą pola była seria uskoków o zrzutach $h = 0,4 \div 6,0$ m, które znajdowały się w odległości $0 \div 22$ m od powierzchni likwidacyjnej (rys. 2). Likwidacja ściany odbywała się zatem w strefie uskokowej.

Ściana B-1 zlokalizowana została pod zrobami pokładów 403/1, 401/1 i 363 zalegających powyżej w odległościach $17 \div 19$ m, $43 \div 55$ m i $67 \div 80$ m. Jedynie w małym fragmencie w południowej części parceli ściany oraz na końcowym jej wybiegu eksploatacja prowadzona była pod niewybranymi pokładami.

Wobec tak dużej liczby czynników sprzyjających zjawiskom sejsmicznym przewidywano wystąpienie wstrząsów zarówno pochodzenia górniczego, jak i tektonicznego. Charakter zjawisk sejsmicznych był jednak ściśle związany z chwilowym położeniem frontu ściany.

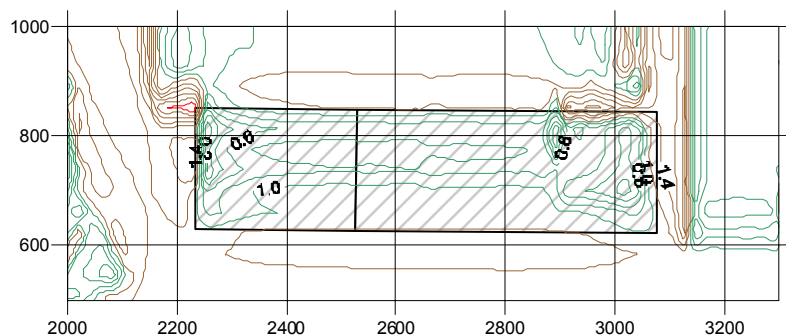
3.2. Ocena stanu zagrożenia wstrząsami

W celu oceny wpływu postępu ściany B-1, resztek poeksploatacyjnych, krawędzi i uskoków na możliwość wystąpienia wstrząsów wykonano kompleksową ocenę stanu zagrożenia [1, 5, 13].

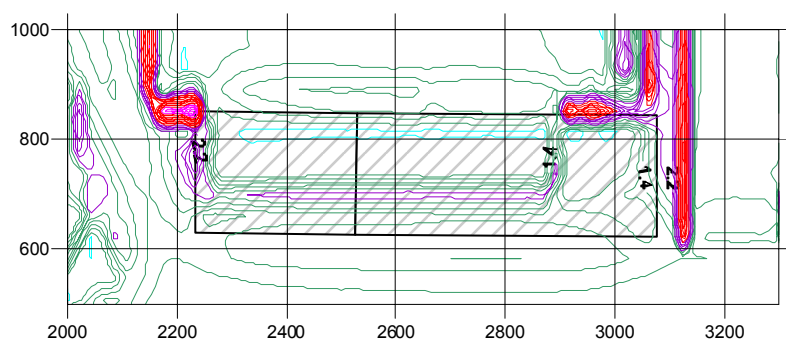
Dla pokazania stanu naprężenia, wyężenia oraz rozkładu energii sprężystej posłużono się wskaźnikami:

- współczynnikiem koncentracji naprężeń pionowych „ α ”;
- współczynnikiem koncentracji energii całkowitej „ β ”;
- wyężeniem górotworu według Burzyńskiego „ W_B ”.

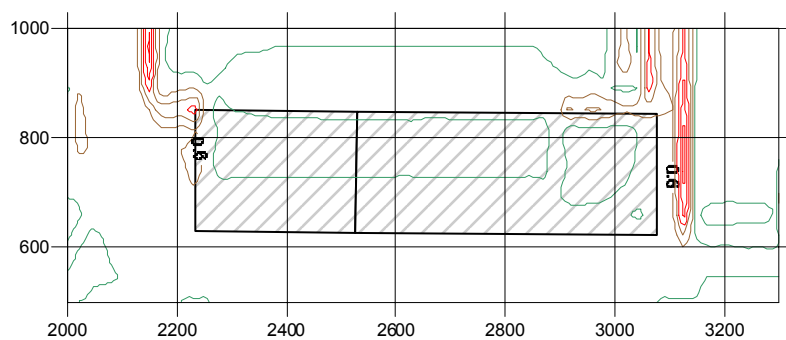
Obliczenia wykonano dla grubej warstwy piaskowca zalegającego 30 m powyżej pokładu 403/1. Wyniki obliczeń pokazano na rysunkach 2–4.



Rys. 2. Rozkład współczynnika α na koniec 2005 roku — rejon ściany B-1 w pokładzie 403/3



Rys. 3. Rozkład współczynnika β na koniec 2005 roku — rejon ściany B-1 w pokładzie 403/3



Rys. 4. Wytyczenie górotworu W_B w rejonie ściany B-1 w pokładzie 403/3 w końcu 2005 roku

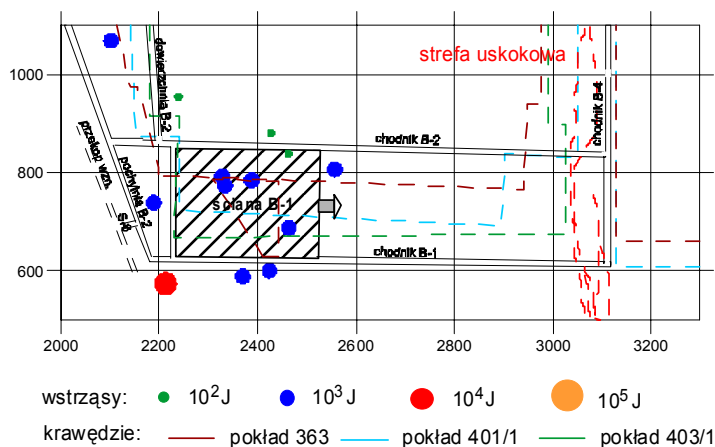
W trakcie eksploatacji front ściany B-1 przecinał trzykrotnie krawędzie pokładu 363 oraz pokładów 401/1 i 403/1. Z przedstawionych map wynika, że koncentracje naprężeń nie są jednak duże i zlokalizowane są głównie w rejonie krawędzi eksploatacyjnych i powierzchni rozruchowej ściany B-1. W pierwszej fazie eksploatacji maksymalna wartość współczynnika koncentracji naprężeń pionowych wyniosła $\alpha = 2,8$, współczynnika koncentracji energii całkowitej $\beta = 4,7$ i wytyczenie osiągnęło poziom $0,3 \div 0,7$. Na tej podstawie stwierdzono,

że stan zagrożenia wstrząsami jest niski. Jedynie wzdłuż izolinii podwyższonej energii całkowitej biegnącej wzdłuż krawędzi pokładu 401/1 można się było ewentualnie spodziewać wystąpienia wstrząsów niskoenergetycznych o energiach nie przekraczających wartości 10^3 J.

Zbliżenie się frontem ściany do nakładających się krawędzi pokładów 401/1 i 363 oraz pozostawionego filara z wiązką uskoków w końcowym biegu ściany powoduje zwiększenie wskaźników stanu zagrożenia. Na wybiegu ściany współczynnik koncentracji naprężeń pionowych wynosi 1,4, współczynnik koncentracji energii całkowitej $\beta = 5,8$, a wyężenie ok. 0,7. Zbliżając się do strefy uskokowej, wartość współczynnika α wzrasta do 1,8, współczynnika β do 8,8, a wyężenie zostaje przekroczone. Prognozowano zatem, że na końcowym wybiegu ściany oraz w rejonie dowierzchni likwidacyjnej można spodziewać się wystąpienia wstrząsów nisko- i średnioenergetycznych o energiach rzędu 10^3 - 10^5 J. Wielkość energii uzależniono w tym przypadku od potencjalnych poślizgów na płaszczyźnie uskokowej.

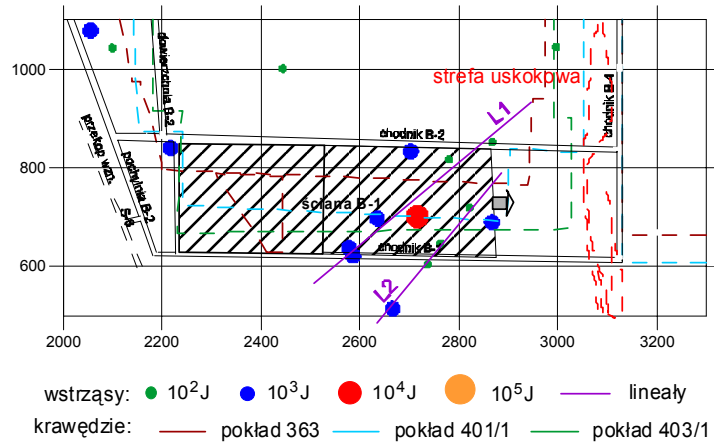
3.3. Aktywność sejsmiczna w trakcie prowadzenia ściany B-1

Sejsmiczność w partii „B” w 2005 roku związana była praktycznie tylko z prowadzeniem ściany B-1 w pokładzie 403/3. Eksploatacji tej ściany towarzyszyła generalnie niska aktywność i do końca II kwartału 2005 roku odnotowano zaledwie 13 wstrząsów w tym rejonie, z jednym wstrząsem średnioenergetycznym o wartości $1,5 \times 10^4$ J (rys. 5). Były to typowe wstrząsy górnicze (eksploatacyjne), zlokalizowane przede wszystkim przy krawędziach eksploatacyjnych pokładu 363.



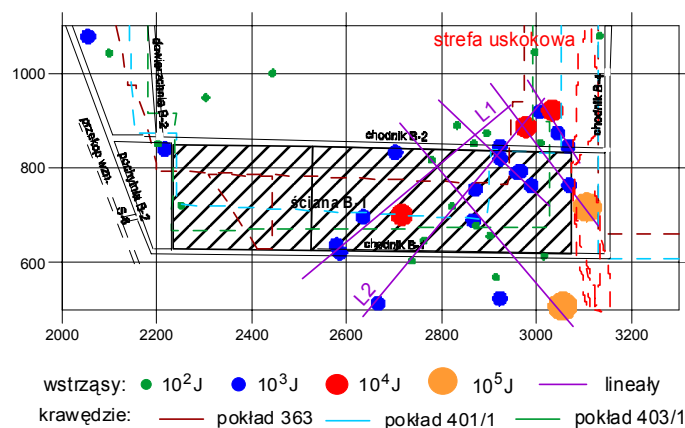
Rys. 5. Rozkład wstrząsów w rejonie ściany B-1 w II kwartale 2005 roku

Dalszy postęp eksploatacji ściany w III kwartale nie zwiększył w istotny sposób ilości wstrząsów, lecz sumaryczny wydatek energii wzrósł, a zaistniałe wstrząsy zaczęły pojawiać się nie tylko w rejonie krawędzi eksploatacyjnych, ale także wzdłuż dwóch linii L1 i L2 (linealów) biegnących w kierunku strefy uskokowej (rys. 6).



Rys. 6. Rozkład wstrząsów w rejonie ściany B-1 w III kwartale 2005 roku

Wzrost aktywności sejsmicznej nastąpił na końcowym 200-metrowym odcinku wybiegu ściany, gdzie wystąpiło pięć wstrząsów średnio- i wysokoenergetycznych: najpierw wstrząs o energii $8,0 \times 10^5$ J, po nim $7,0 \times 10^4$ J, ponownie wstrząs o energii $3,0 \times 10^5$ J, po czym dwa wstrząsy o energii rzędu 10^4 J (rys. 7). Powodem takiego stanu rzeczy było zbliżanie się frontem ściany B-1 do wspomnianej wcześniej serii uskoków ograniczającej pole ściany B-1 od wschodu. W wyniku oddziaływania płaszczyzny uskokowej nastąpił rozwój lineału L2 w kierunku strefy uskoków, a jednocześnie górotwór zaczął pękać prostopadle do wcześniej wytworzonych płaszczyzn neotektonicznych, załamując się również w kierunku uskoków. Należy zwrócić uwagę, że oba zarejestrowane wstrząsy o energiach 10^5 J zlokalizowano bezpośrednio przy pierwszym uskoku o zrzucie 6 m. W końcowej fazie eksploatacji ściany B-1 wystąpiły zatem wstrząsy regionalne pochodzenia tektonicznego.



Rys. 7. Rozkład wstrząsów w rejonie ściany B-1 od III kwartału 2005 do końca eksploatacji

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- 1) Przykład wstrząsów rejestrowanych w trakcie prowadzenia ściany B-1 w pokładzie 403/3 potwierdza opisywaną dwojaką naturę zjawisk sejsmicznych wywoływanych eksploatacją górnictw — eksploatacyjnych i regionalnych.
- 2) Prowadzenie frontu ściany B-1 w kierunku strefy uskoków spowodowało powstanie stref pęknięć (lineałów), które propagowały i poszerzały się podczas dalszej eksploatacji. W tym przypadku doszło do tworzenia nowych prostopadłych stref linearnych i towarzyszących im zjawisk sejsmicznych zawartych w przedziale energii 3×10^4 – 8×10^5 J.
- 3) Uwalnianie energii sejsmicznej w strefach resztek i krawędzi eksploatacyjnych jest mniej intensywne niż w przypadku wstrząsów związanych z tektoniką. Rozważając możliwość wywołania drugiego typu wstrząsów należy podkreślić ich quasi-tektoniczną naturę, a więc ich lokalizację w rejonie uskoku, a nie w rejonie eksploatacji. Zbliżanie się ścian do wiązki uskoków może uruchamiać przesunięcia na płaszczyznach uskokowych i powodować wysokoenergetyczne zjawiska sejsmiczne bezpośrednio w czole frontu ściany lub przed nim.
- 4) Zbliżanie się frontów ścian do rejonu uskoków jest zatem z punktu widzenia rozkładu naprężeń niekorzystne. W przypadku uskoków o małych zrzutach zagrożenie sejsmiczne nie jest duże, jednakże i w takich przypadkach należy stosować odpowiednią profilaktykę tapaniową. Profilaktyka ta powinna być na bieżąco aktualizowana w zależności od aktywności sejsmicznej górotworu.

LITERATURA

- [1] *Dubiński J., Konopko W.*: Tapania — ocena, prognoza, zwalczanie. Katowice, Wyd. Głównego Instytutu Górnictwa 2000
- [2] *Goszcz A.*: Elementy mechaniki skał oraz tapania w polskich kopalniach węgla i miedzi. Kraków, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, seria z Lampką Górnictw, 2, 1999
- [3] *Goszcz A.*: Wybrane problemy zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tapaniami w kopalniach podziemnych. Kraków, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, seria z Lampką Górnictw, 21, 2004
- [4] *Idziak A.F., Teper L., Zuberek W.*: Sejsmiczność a tektonika GZW. Wyd. Uniwersytetu Śląskiego 1999
- [5] *Majcherczyk i in.*: Analiza w zakresie zagrożenia tapaniami partii „B” w aspekcie prowadzonej eksploatacji w pokładach 403/1 i 403/3. JSW SA, Pawłowice 2006 (praca niepublikowana)
- [6] *Majcherczyk T., Tajduś A., Cala M.*: Wpływ uskoków na stan zagrożenia tapaniami pokładów węgla. Sympozjum naukowo-inżynierskie „Tapania '94 — Rozwiązania inżynierskie w problematyce tapania”, Ustroń 23–25 listopada 1994, 265–278
- [7] *Marcak H.*: A geophysical model for the analysis of seismic emissions in the area of rock beam splitting caused by mining operations. Proceedings of the International Mining Forum 2006 “New technological solutions in Underground Mining”. Cracow — Szczyrk — Wieliczka, 20–24 February, 2006, E.J. Sobczyk, J. Kicki eds, A.A. Balkema Publishers, 73–86
- [8] *Marcak H.*: Modele rozwoju deformacji górotworu poprzedzającego tapanie. Badania geofizyczne w kopalniach. Kraków, Wyd. PAN IGSMiE 2001, 49–57
- [9] *Patyńska R.*: Wpływ łupności na stan naprężenia i deformacji w górotworze. Warsztaty Górnictw 2006 z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”. Wyd. PAN IGSMiE, Sympozja i konferencje, 67, Kraków — Tomaszowice, 12–14 czerwca, 2006, 309–326

- [10] *Pilecka E.*: Analiza związku między sejsmicznością indukowaną a lineamentami na zdjęciach satelitarnych na terenie GZW. XXIX Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii, „Geotechnika i Budownictwo Specjalne” pod redakcją D. Flisiak i M. Cały, Kraków — Krynica 2006, 613–623
- [11] *Pilecka E.*: Wstępna analiza związku wysokoenergetycznej sejsmiczności indukowanej lineamentami GZW. Warsztaty Górnicze 2005 z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”. Kazimierz Dolny n/Wisłą, 20–22 czerwca, 2005, Wyd. PAN IGSMiE, Sympozja i konferencje, 65, 447–456
- [12] *Šňupárek R., Zeman V.*: Rockburst in longwall gates during coal mining in Ostrava — Karviná coal basin. “Impact of Human Activity on the Geological Environment”, Eurock 2005, Brno 18–20.05.2005, 605–610
- [13] *Tajduš A., Flisiak J., Čala M.*: Estimation of rockburst hazard basing on 3D stress field analysis. Rockbursts and Seismicity in Mines, Gibowicz & Lasocki (eds), Balkema, Rotterdam, 1997, 273–277

