

*Jan Drzewiecki**

WPLYW PARAMETRÓW USKOKU NA ZASIĘG JEGO ODDZIAŁYWANIA**

1. Wprowadzenie

Górotwór karboński w GZW cechuje się licznymi deformacjami i zaburzeniami mającymi wpływ na zalegania i grubość pokładów węgla kamiennego. Zaburzenia te negatywnie wpływają na prowadzenie robót górniczych zarówno w fazie projektowania rozczinki złoża jak, i później — jego eksploatacji. Odpowiednie rozpoznanie geologicznej budowy złoża pozwala na zastosowanie najbardziej efektywnego, dla danych warunków, systemu i całości kształtu technologii eksploatacji.

Projektowanie eksploatacji ścianowej jest jednym z etapów, w którym budowa geologiczna górotworu determinuje wymiary parceli. O trafności projektu decyduje prawidłowe makrostrukturalne rozpoznanie górotworu, w którym główną rolę ogrywiają deformacje nieciągłe (uskoki). Praktyka górnicza wskazuje, że tego typu zaburzenia górotworu krepują, bądź uniemożliwiają, prowadzenie eksploatacji. Nierzadko rejony uskoków są obszarami koncentracji naprężeń, w których zgromadzona energia może być wyzwalana w postaci zjawisk sejsmicznych, stwarzając realne zagrożenie tąpnięciami. Uskoki o bardzo dużych rzutach, o charakterze regionalnym, są dobrze udokumentowane. Prowadzenie robót górniczych w ich sąsiedztwie najczęściej generuje wysoką sejsmiczność górotworu, stwarzającą zagrożenie dla tych wyrobisk. Doświadczenia wskazują, że także uskoki o małych rzutach mają istotny wpływ na stan zagrożenia tąpnięciami. Występowanie takich uskoków w polu ściany wpływa znacząco na płynność jej biegu, powoduje problemy technologiczne prowadzenia ściany, np. konieczność przybierania skały pływnej. Przy zbliżaniu się frontu eksploatacji do uskoku, bądź prowadzenie eksploatacji w jego bliskim sąsiedztwie, może z kolei być powo-

* Zakład Tępań i Mechaniki Górotworu, Główny Instytut Górnictwa, Katowice

** Artykuł opracowano w oparciu o częściowe wyniki projektu badawczego własnego pt. „Ocena skuteczności i efektywności projektowanej eksploatacji pokładu węgla” — NN524371837

dem tworzenia się lokalnych ognisk podwyższonych naprężeń, które zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia zawału, wstrząsu górniczego, a nawet tąpnięcia.

2. Cechy uskoku wpływające na zagrożenie robót górniczych

Uskok będący strukturą utworzoną w wyniku ścinania z wyraźnym poślizgiem skał i ich przesunięcia, ilościowo charakteryzują: kąt kierunkowy rozciągłości, kąt upadu powierzchni uskokowej oraz wysokość zrzutu uskoku, tzn. pionowa odległość skrzydeł. Do pierwszej grupy cech mających wpływ na roboty górnicze zaliczono kąt upadu powierzchni uskokowej α , stosunek kierunku ruchu względnego punktów przyuskokowych do orientacji powierzchni uskokowej, tor ruchu względnego punktów przyuskokowych, stosunek zwrotu ruchu uskokowego do nachylenia warstw oraz/lub stosunek zwrotu ruchu wzdłuż uskoku podrzędnego do zwrotu wzdłuż uskoku głównego. W grupie drugiej uwzględniono geotechniczny podział na uskoki regionalne, lokalne, miejscowe i pokładowe. Grupę trzecią przedmiotowych cech uskoków sklasyfikowano w oparciu o wielkości ich zrzutów – od uskoków małych, mniejszych niż ogólnie stosowana wysokość wyrobisk podziemnych do bardzo dużych, o zrzucie ponad 200 m, czyli większym niż wysokości poziomu eksploatacyjnego. Uskoki duże i bardzo duże rozpoznawane są podczas prac poszukiwawczo-dokumentujących i są uwzględniane przy projektowaniu eksploatacji, natomiast uskoki małe rozpoznaje się w czasie eksploatacji i głównie one wpływają niekorzystnie na rytmiczność eksploatacji. Dotyczy to przede wszystkim uskoków bez szczelin uskokowych, o mało widocznej powierzchni uskokowej.

Istotnym dla projektowania eksploatacji jest stopień zuskokowania złoża. Jego miarą jest wskaźnik zuskokowania K [m/ha], wyrażający stosunek sumarycznej długości (L) uskoków rejestrowanych na danej powierzchni do wartości tej powierzchni. Dla K nie przekraczającego 50 m/ha można bez ograniczeń stosować mechanizację eksploatacji, natomiast dla większych wartości K kompleksowa mechanizacja robót eksploatacyjnych jest ograniczona tym bardziej, im ten wskaźnik zbliża się do wartości 250 m/ha [4].

Znajomość ww. zagadnień i ich wykorzystanie przy projektowaniu robót górniczych w zasadniczy sposób wpływa na bezpieczeństwo wykonania i utrzymania wyrobisk oraz na rytmiczność eksploatacji. W tym znaczeniu znajomość lokalizacji, zasięgu i intensywności oddziaływania uskoku wydaje się być niezbędna dla potrzeb projektowania robót górniczych w kopalniach węgla kamiennego. Uwzględnić się przy tym podział uskoków ze względu na:

a) wielkość rzutu

- uskoki drobne (małe), o zrzucie do 2 m, mniejszym niż ogólnie stosowana wysokość wyrobisk podziemnych,
- uskoki średnie, o zrzucie od 2 do 20 m, większym niż wysokość wyrobisk podziemnych, lecz mniejszym niż wysokość piętra eksploatacyjnego,
- uskoki duże, o zrzucie od 20 do 200 m, większym niż wysokość piętra eksploatacyjnego, lecz mniejszym niż wysokość poziomu eksploatacyjnego,
- uskoki bardzo duże, o zrzucie ponad 200 m, większym niż wysokości poziomu eksploatacyjnego.

- b) kąt upadu α powierzchni uskokowej:
- uskok pionowy o $\alpha = 90^\circ$,
 - uskoki nachylone o $0^\circ < \alpha < 90^\circ$,
 - uskok stromy o $45^\circ < \alpha < 90^\circ$,
 - uskok połogi o $0^\circ < \alpha < 45^\circ$,
 - uskok poziomy o $\alpha = 0^\circ$.
- c) obciążenie pokładu w obu skrzydłach uskoku wynikające z:
- głębokości zalegania pokładu,
 - zaszłości eksploatacyjnych w pokładzie w otoczeniu uskoku,
 - zaszłości eksploatacyjnych w otoczeniu uskoku w warstwach pod i nadległych.

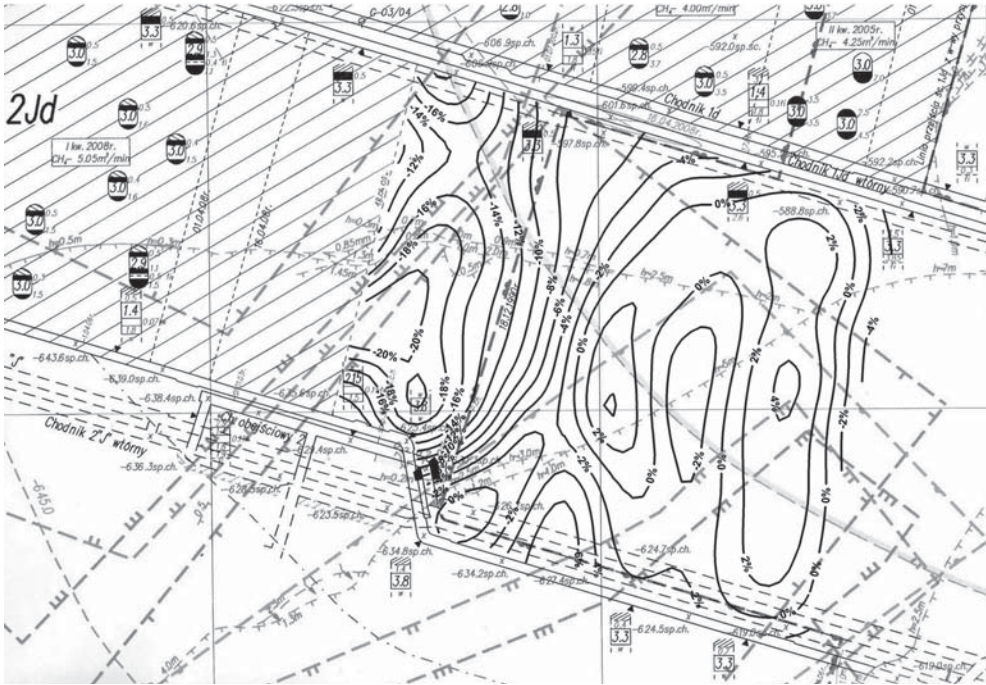
Są to podstawowe parametry decydujące o intensywności i zasięgu oddziaływania uskoku. Pozostałe cechy uskoków należy traktować jako mniejszej wagi w stosunku do wyżej wymienionych. Biorąc pod uwagę wymienione dominujące cechy uskoków, decydujące o bezpiecznym i rytmicznym procesie eksploatacji pokładu węgla, prognoza ich oddziaływania na ten proces ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy w rezultacie:

- określenia obszarów przyuskokowych, w których należy liczyć się z niebezpiecznym poziomem wyężenia pokładu,
- opracowania właściwej dla prognozowanych bądź stwierdzonych zagrożeń górniczych organizacji pracy, technologii robót górniczych (wyposażenia stanowisk roboczych, elementów obudowy, odpowiednich materiałów itp.),
- opracowania adekwatnej do prognozowanego poziomu zagrożeń profilaktyki i jej zastosowania w odpowiednim miejscu i czasie.

3. Zasięg oddziaływania uskoków

Dla bezpiecznego prowadzenia robót górniczych w warunkach występowania zagrożeń górniczych, wymagane jest prowadzenie monitoringu tych zagrożeń. Odnosi się to szczególnie do zagrożeń, których nasilenie, a zarazem ekspozycja na nie górników ulegają zmianie w zależności od zmieniających się warunków górniczo-geologicznych. Zmiany te wynikają z intensywności i koncentracji robót górniczych i mają charakter zmienny w czasie. Dla opracowania właściwej technologii eksploatacji, której elementem jest profilaktyka, często wykonywane są badania geofizyczne, pozwalające określić poziom koncentracji naprężeń bądź intensywność odprężenia w rejonach projektowanej eksploatacji górniczej. Jak na to wskazuje praktyka górnicza — badania takie pozwalają również stwierdzić występowanie lokalnych uskoków, które zaburzają obraz anomalii prędkości podłużnej fali sejsmicznej, będącej podstawą dla szacowania poziomu naprężenia w rejonie objętym pomiarami. Przykład tego typu sytuacji pokazano na rysunku 1, na którym na fragmencie wybiegu ściany zaznaczono obrysy krawędzi dokonanej eksploatacji w pokładach sąsiednich oraz szereg lokalnych uskoków o zmiennych kierunkach biegu, a także przebieg izolinii anomalii prędkości propagacji fali sejsmicznej.

Prezentowany rysunek jest typowy dla badań geofizycznych, natomiast jego analiza szczegółowa w aspekcie wyróżnienia uskoków jako czynnika zaburzającego poziom naprę-



Rys. 1. Mapa fragmentu pokładu z zaznaczonym przebiegiem izolinii anomalii prędkości propagacji podłużnej fali sejsmicznej w pokładzie węgla

żeń w ich bezpośrednim otoczeniu, praktycznie nie jest możliwa. Można wprawdzie wyróżnić obszary pokładu, w których nie stwierdzono oddziaływania dokonań eksploatacyjnych, jednak rozkład izolinii prędkości propagacji podłużnej fali sejsmicznej jest zdeterminowany rejonami silnie odprężonymi.

W obrazie rozkładu izolinii prędkości propagacji podłużnej fali sejsmicznej obu skrzydeł uskoku oczekuje się określonej symetrii, zarówno w ich zagęszczeniu, jak i przebiegu w stosunku do przebiegu uskoku. Analiza szeregu danych źródłowych nie wskazuje na możliwość wyodrębnienia z badanego obszaru takiej regularności [5]. Zamieszczone w powołanym artykule dane uzyskano w oparciu o badania *in situ* zrealizowane w kopalniach Wujek, Jas-Mos oraz ZG Piekary i przedstawiono na szeregu mapach pokładowych, na których zaznaczono zaszciski eksploatacyjne, zaburzenia geologiczne i wyrobiska górnicze.

Dla celów prognostycznych w szeregu przypadkach buduje się modele fizyczne, matematyczne, a następnie numeryczne ośrodka, w którym uskok inicjuje zburzenie w rozkładzie, kierunku i wartości naprężeń. Szereg istniejących programów dysponuje gotowymi bibliotekami rozwiązań pozwalających na wprowadzenie do budowanego modelu zaburzenia typu uskokowego. Wiele współczesnych programów umożliwia uwzględnienie uskoków w obliczeniach numerycznych górotworu. Najczęściej jest to realizowane przez zastosowanie specjalnych struktur do symulacji uskoku bądź też za pomocą tzw. „interfejsu” o odpowiednich parametrach (Phase, Udec, 3DEC, FLAC, FLAC3D). W przypadku stosowania zależności

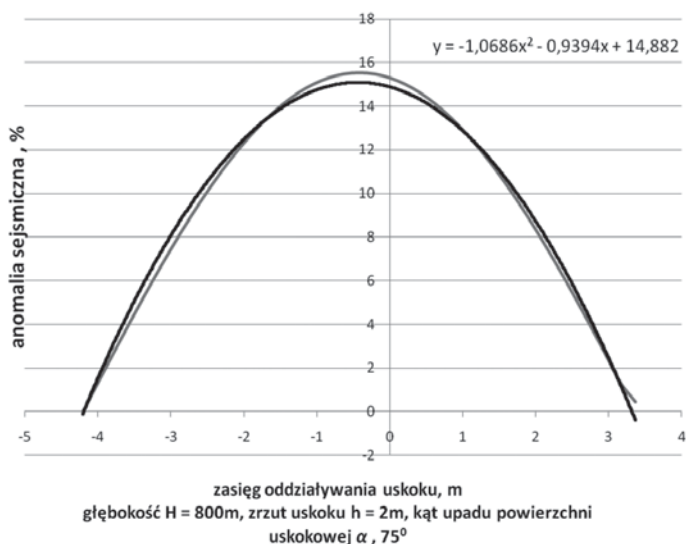
analitycznych lub empirycznych dla specyficznych warunków geologiczno-górnictwa opisujących wpływ uskoków, możliwa jest także ich implementacja (na przykład do modelu w programie FLAC3D), przy wykorzystaniu wewnętrznego języka programowania FISH. Takie podejście umożliwia zapewnienie ciągłej wymiany danych między wynikami obliczeń FLAC3D a programem zewnętrznym [6–10].

Dla przybliżenia konkretnych modeli do warunków rzeczywistych — parametry modeli mogą być, bądź są, kalibrowane np. pomiarem bezpośrednim poprzez wykonanie szeregu wierceń testujących, umożliwiających określenie położenia strefy podwyższonych naprężeń np. metodą pomiaru ilości zwiercin. Stosowane w GIG-u programy użytkowe dla prognozowania pól naprężeń w górotworze w rejonie prowadzonej, bądź projektowanej eksploatacji, umożliwiają oszacowanie ich poziomu na zadanych obszarach obliczeniowych [2, 3]. W przypadku rozpatrywania pola, w którym występuje uskok, ww. programy pozwalają uściślić jego oddziaływanie w oparciu o wyniki pomiarów geofizycznych, zrealizowanych w jego sąsiedztwie, bądź poprzez zadekretowanie takiego oddziaływania zarówno pod względem intensywności jak i zasięgu. Zaproponowane rozwiązanie należy do metod eksperckich i bazuje na ogólnie przyjętych zasadach prowadzenia wyrobisk górniczych z określoną ustępliwością w stosunku do uskoku. W ocenie autora może być pomocne dla prognozowania zasięgu pól naprężeń w górotworze, w którym są one determinowane zarówno dokonaniem eksploatacyjnymi, jak i zaburzeniami typu uskokowego, o zdefiniowanych parametrach geometrycznych.

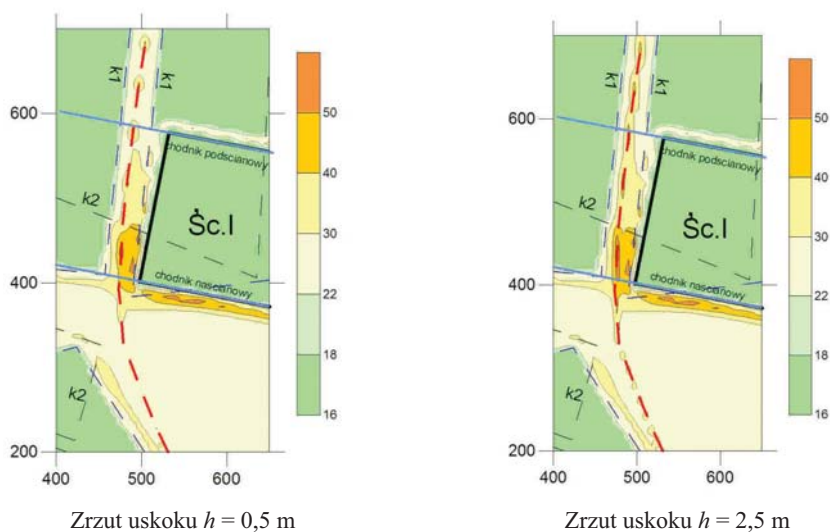
4. Określenie zasięgu oddziaływania uskoku

Lokalizacja uskoku w polu ścianowym oraz jego parametry decydują o zasięgu i intensywności oddziaływania anomalii naprężeń i ich oddziaływania na obiekty górnicze, w tym przemieszczające się urządzenia ścianowe. Dla określenia tego oddziaływania zaproponowano wielomian drugiego stopnia jako funkcję opisującą anomalię sejsmiczną w otoczeniu uskoku. Parametry równania wyznacza się każdorazowo dla konkretnego analizowanego przypadku ruchowego, gdzie wielkościami wprowadzanymi do poszczególnych arkuszy EXCEL są: głębokość prowadzenia robót H , wielkość rzutu uskoku h oraz kąt upadu powierzchni uskokowej α . Postać szczegółowa funkcji umożliwia określenie wartości anomalii prędkości propagacji podłużnej fali sejsmicznej w zależności od odległości od uskoku. Przykład wykresu funkcji szczegółowej zamieszczono na rysunku 2.

Tego typu rozwiązania szczegółowe dla konkretnych sytuacji górniczych są dodatkowym elementem wprowadzanym do opracowanego w GIG programu SIGMA Zet, służącego do obliczania wartości naprężeń z wykorzystaniem formuł opracowanych dla obliczenia takich wartości z anomalii prędkości propagacji podłużnej fali sejsmicznej [2, 3]. Każdorazowo wyniki są zapisywane w postaci plików typu GRD, umożliwiających ich prezentację graficzną. Poniżej przedstawiono w postaci graficznej wyniki obliczeń dla fragmentu pola ścianowego na głębokości 800 m, gdzie na wybiegu ściany zlokalizowano uskok. Obliczenia wykonano dla przypadków uskoków o kącie upadu powierzchni uskokowej $\alpha = 75^\circ$ i wielkościach rzutu odpowiednio 0,5 m, 2,0 m 5,0 m i 15,0 m, (rys. 3 i 4).

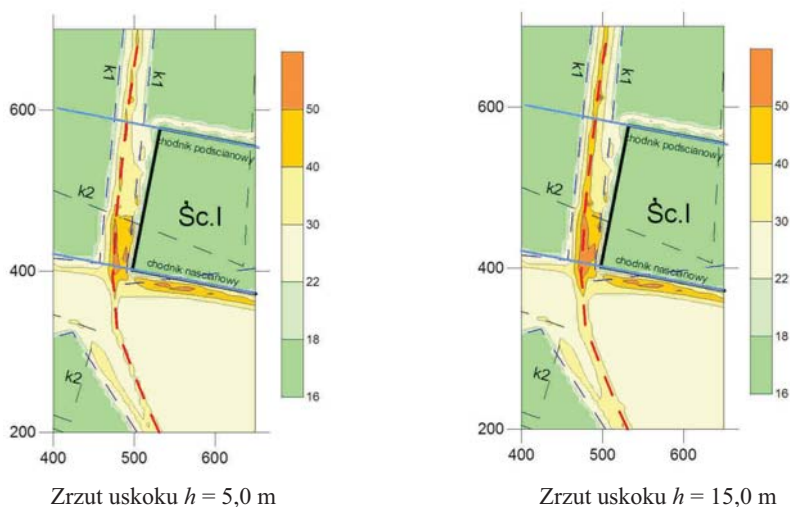


Rys. 2. Wykres funkcji szczegółowej opisującej anomalię prędkości propagacji podłużnej fali sejsmicznej w zależności od odległości od uskoku



Rys. 3. Mapa obszarów rozkładu naprężeń w rejonie wyrobisk górniczych i lokalnego uskoku, MPa

W prezentowanych przykładach na szczególną uwagę zasługują obszary podwyższonych naprężeń w strefie przysusokowej. Uzyskane mapy zmian rozkładu naprężeń obrazują intensywność oddziaływania zespołu czynników zakłócających pierwotną równowagę górotworu. Możliwość wprowadzenia do programu obliczeniowego wielkości naprężeń w otoczeniu uskoku, tj. danych dotyczących zasięgu i intensywności oddziaływania uskoku



Rys. 4. Mapa obszarów rozkładu naprężeń w rejonie wyrobisk górniczych i lokalnego uskoku, MPa

lokalnych, należy uznać za właściwe z punktu widzenia bezpieczeństwa prowadzenia robót. Wartość naprężeń i ich zasięg w tej strefie ma istotne znaczenie dla opracowania skutecznej profilaktyki przed skutkami statycznych i dynamicznych zjawisk, z jakimi należy się liczyć w trakcie drażenia i utrzymywania wyrobisk górniczych. Ponadto, informacja o rozległości takich obszarów oraz prognozowanych w nich naprężeniach może być pomocna także dla opracowania metryk prowadzenia ściany, w których intensywność eksploatacji decyduje o zasięgu i wielkości naprężeń w strefie frontu ściany [1]. Praktyka górnicza wykazuje, że w otoczeniu frontu ściany następuje superpozycja obszarów oddziaływania krawędzi, uskoku oraz strefy podwyższonych naprężeń na wybiegu ściany, co w konsekwencji prowadzi do poszerzenia obszarów podwyższonych naprężeń w jej sąsiedztwie, a zatem stwarza realne zagrożenie zjawiskami dynamicznymi.

5. Podsumowanie

Eksploatacja węgla kamiennego nierozdzielnie związana jest z pokonywaniem trudności wynikających ze zmieniających się warunków górniczo-geologicznych w środowisku pracy. Uskokki są głównymi zaburzeniami kłopotliwym eksploatację pokładu. Jednocześnie stanowią źródło zagrożeń górniczych, do których zaliczyć należy zagrożenie tąpnięciami, metanem, wyrzutami, wodne i pożarowe. W skrajnych przypadkach zmuszają kopalnie do zmiany układu wyrobisk, bądź nawet mogą decydować o zaniechaniu eksploatacji.

Prezentowany sposób prognozowania zasięgu i intensywności oddziaływania uskoków na wyrobiska górnicze wskazuje na możliwość lepszego i dokładniejszego prognozowania

stref o zwiększonym ryzyku, a zatem w odpowiednim miejscu czasie jego redukcji, poprzez zastosowanie adekwatnych do poziomu zagrożenia środków i metod profilaktycznych. Może być stosowany w trakcie opracowywania kompleksowych projektów eksploatacji oraz do-
rażnie dla sytuacji wprowadzenia koniecznych zmian w projektach szczegółowych.

LITERATURA

- [1] *Drzewiecki J.*: Określenie niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych. Kwartalnik AGH Górnictwo i Geoinżynieria, rok 32 zeszyt 1, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo Dydaktyczne, Kraków, 2008, s. 45–55
- [2] *Dubiński J.*: Sejsmiczna metoda wyprzedzającej oceny stanu zagrożenia wstrząsami górnictwymi w kopalniach węgla kamiennego. Prace GIG, Seria dodatkowa. Katowice, 1989
- [3] *Kabiesz J. i zespół*: Analityczno-empiryczna metoda prognozowania pól naprężeń w górotworze. Praca statutowa GIG o symbolu 2004024BT, Katowice, 1994
- [4] *Nieć M.*: Geologia kopalniana. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1990
- [5] *Piernikarczyk A.*: Wpływ uskoków o małych zrzutach (do kilku metrów) na rozkład naprężeń w ich otoczeniu. Prace Naukowe GIG, Górnictwo i Środowisko, kwartalnik, Nr 4/3/2010, Katowice, 2010, s.365–370
- [6] *Qi Xin Pan et al.*: A Study of Application about FLAC-3D in Damage of Rock Mass Slope. Key Engineering Materials, 2006, pp. 306–308, 1427
- [7] FLAC. Podręcznik użytkownika. Strona domowa producenta: <http://www.itascacg.com/flac.html>
- [8] FLAC3D. Podręcznik użytkownika. Strona domowa producenta: <http://www.itascacg.com/flac3d.html>
- [9] 3DEC. Podręcznik użytkownika. Strona domowa producenta: <http://www.itascacg.com/3dec.html>
- [10] UDEC. Podręcznik użytkownika. Strona domowa producenta: <http://www.itascacg.com/udec.html>