ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: GÓRNICTWO z.239 Nr kol. 1405

Piotr BAŃKA, Andrzej JAWORSKI

WPŁYW DEFORMACJI GÓROTWORU NA MAKSYMALNE ENERGIE ZJAWISK SEJSMICZNYCH INDUKOWANYCH EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań zależności korelacyjnych pomiędzy deformacjami górotworu a maksymalnymi energiami rejestrowanych zjawisk sejsmicznych. Wyniki przeprowadzonych obliczeń wykazały, dla analizowanych rejonów eksploatacji, istnienie zależności pomiędzy wielkością zdeformowania wytrzymałych warstw skalnych a energiami najsilniejszych wstrząsów indukowanych prowadzonymi robotami górniczymi.

INFLUENCE OF ROCKMASS DEFORMATIONS ON MAXIMUM ENERGY OF TREMORS INDUCED BY MINING

Summary. The paper presents investigation results concerning the correlative dependence of rockmass deformations on recorded maximum energy of tremors. As a result of the calculations for the selected coal mine areas, it has been ascertained that there is a dependency between deformations of rigid rock layers and maximum energy of tremors induced by mining.

1. Wprowadzenie

Jednym z bardzo istotnych elementów prognozy zagrożenia sejsmicznego jest określenie maksymalnych energii wstrząsów, jakie mogą być indukowane prowadzonymi bądź projektowanymi robotami górniczymi. Znajomość energii najsilniejszych wstrząsów jest potrzebna m.in. w trakcie oceny możliwości przeprowadzenia robót górniczych w projektowanym zakresie, przy dobieraniu obudowy wyrobisk górniczych, jak również w celu określenia poziomu przyspieszeń drgań powierzchni wywoływanych indukowanymi wstrząsami górniczymi.

Istnieje kilka metod szacowania maksymalnych energii spodziewanych zjawisk sejsmicznych.

Można tu skorzystać z doświadczeń zdobytych w trakcie prowadzenia eksploatacji w podobnych warunkach geologiczno-górniczych.

Innym sposobem jest wykorzystanie metod statystycznych (A.Kijko [17,18,20], S.Lasocki [23-28], B.Drzęźla i inni [8,10]).

Zastosowanie metod statystycznych adaptowanych z sejsmologii globalnej do oceny hazardu sejsmicznego w górnictwie wynika z faktu, że obserwacje sejsmologiczne w kopalniach są pod wieloma względami podobne do obserwacji trzęsień ziemi. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt (S.Lasocki [25]), że gdy badania ograniczy się do obszaru zlokalizowanego wokół pojedynczego wyrobiska, to różnice między sejsmicznością takiej części górotworu a sejsmicznością obserwowaną w sejsmologii globalnej stają się bardzo istotne. Dotyczy to przede wszystkim postulatu stacjonarności procesu generowania zjawisk sejsmicznych. O danych pochodzących z obszaru związanego z poruszającym się frontem wyrobiska można założyć, że są realizacją tylko odcinkowo stacjonarnego procesu. Mimo powyższego zastrzeżenia, badania przeprowadzone w wielu rejonach eksploatacyjnych, w różnych warunkach geologiczno-górniczych, potwierdziły w pełni przydatność metod statystycznych do oceny ryzyka wystąpienia silnych wstrząsów górniczych. Wiarygodność prognoz ryzyka sejsmicznego można ocenić na około 70-80% - S.Krzemień [22], S.Lasocki [28].

Do oceny maksymalnej energii spodziewanych wstrząsów wykorzystywane są również często rozkłady wartości ekstremalnych (można wtedy uniknąć błędów estymacji parametrów rozkładu, wynikających z faktu, że tylko część zdarzeń najsłabszych jest rejestrowana). Podstawy teoretyczne do oceny prawdopodobieństw wystąpienia wartości ekstremalnych zostały sformułowane przez Gumbela w latach trzydziestych. Ocena powtarzalności silnych trzęsień ziemi za pomocą rozkładu wartości ekstremalnych była przedmiotem m.in. prac B.Epsteina i C.Lomnitza [13], A.Kijki, M.Sellevola [17]. Do oceny zagrożenia sejsmicznego w kopalniach rozkładów wartości ekstremalnych używali m.in. J.Oczkowicz i S.Szukalski [29], A.Kijko i in. [18], Drzęźla i in. [8].

Szczególnie efektywne wyniki można uzyskać, badając zmiany powtarzalności wstrząsów w funkcji czasu - S.Gibowicz [14], B.Drzęźla i in.[8], S.Lasocki [28].

Pewnym mankamentem metod statystycznych jest fakt nieuwzględniania istnienia zmiennego w przestrzeni pola naprężeń tektonicznych oraz lokalnych zaburzeń pola naprężeń wynikających z występowania zaszłości eksploatacyjnych.

Do prognozy maksymalnej energii spodziewanych zjawisk sejsmicznych (szczególnie w przypadkach niskiej aktywności sejsmicznej w trakcie prowadzenia dotychczasowych robót górniczych, czy też rozpoczynania eksploatacji w nowych partiach złoża) można również wykorzystać metody analityczne.

Metoda opracowana przez A.Bilińskiego [5,6] wykorzystuje tzw.model górotworu naruszonego. Model ten zakłada, że górotwór naruszony eksploatacją górniczą prowadzoną na dużych obszarach przekształca się z jednolitego masywu w zespół warstw osiadających kolejno na zrobach i zachowujących się, każda z osobna, we właściwy jej sposób. W wyniku spękań warstwy skalne tracą ciągłość fizyczną, a zachowują ciągłość geometryczną, przybierając formę warstw odprężonych. W miarę zwiększania się rozpiętości warstwy odprężonej rosną siły poprzeczne w punktach jej podparcia. Siły te mogą przekroczyć wytrzymałość na ścinanie zazębień bloków skalnych w szczelinach pęknięć. Ścięciom poszczególnych zazębień mogą towarzyszyć wstrząsy, związane z nagłym wyzwalaniem się energii sprężystej.

W omawianej metodzie prawdopodobna wielkość energii wstrząsów górotworu zależna jest od wytrzymałości wstrząsogennej warstwy, stopnia usztywnienia górotworu, średniej grubości pojedynczej płyty skalnej w danej rozsłojonej warstwie oraz od odległości spągu warstwy odprężonej od stropu rozpatrywanego wyrobiska. Z kolei średnia grubość pojedynczej płyty skalnej w rozsłojonej warstwie zależy od sposobu eksploatacji, wysokości ściany, odległości pionowej od wstrząsogennej warstwy. W trakcie obliczeń konieczne jest przyjęcie dużej liczby empirycznie wyznaczonych współczynników. Tym niemniej, przy odpowiednim stosowaniu metody możliwe jest określenie rzędu energii prognozowanych wstrząsów.

Kolejną metodą analityczną jest metoda opracowana przez Z.Kłeczka i A.Zorychtę [21]. Autorzy dokonali podziału wstrząsów na:

- powstające nad calizną,
- powstające w zrobach,
- będące skutkiem uaktywnienia się zaburzeń uskokowych.

Podział powyższy wynikł z różnic tkwiących w mechanizmie i warunkach powstania wstrząsów w wyżej wymienionych obszarach. Uwzględniając wieloletnie obserwacje, w metodzie przyjęto, że wysokoenergetyczne wstrząsy powstają wtedy, gdy w przekroju litologicznym górotworu występują grube warstwy skał charakteryzujących się wysokimi parametrami wytrzymałościowymi i dużą sztywnością na zginanie.

Analizując możliwość powstania wstrząsu nad calizną, jako kryterium powstania wstrząsu przyjęto warunek pęknięcia wstrząsogennej warstwy, z kolei w przypadku wstrząsów nad zrobami przyjęto, że są one skutkiem utraty stateczności blokowej struktury rozważanej warstwy. Uskok uznano w stworzonym modelu geomechanicznym za szczelinę. Znajduje się ona w pewnym stanie naprężenia, w skład którego, oprócz naprężeń pierwotnych, wchodzą również naprężenia wtórne, będące wynikiem wykonania wyrobiska. W tym przypadku nie podano wzoru na określenie energii wstrząsu, a jedynie sformułowano kryterium powstania wstrząsu - w postaci formalnie identycznej jak znane w mechanice zniszczenia warunki propagacji szczeliny.

Prowadzone od szeregu lat badania w Instytucie Eksploatacji Złóż [1,2,3,4,9,11,12,15,16] wykazały, że istnieją zależności korelacyjne pomiędzy procesami deformacyjnymi w górotworze, zachodzącymi wskutek prowadzenia eksploatacji, a rejestrowaną ilością i sumaryczną energią wstrząsów. W pracy [1] wykazano, że można wykorzystać te zależności do prognozy czasowych zmian sejsmiczności indukowanej prowadzoną eksploatacją.

W niniejszej pracy przedstawione zostały wyniki badań zależności pomiędzy maksymalnymi energiami wstrząsów a parametrami opisującymi czasowe zmiany deformacji górotworu. Badania te były prowadzone w celu opracowania nowej metody prognozowania maksymalnych energii wstrząsów.

2. Model regresji maksymalnych energii wstrząsów indukowanych prowadzoną eksploatacją względem deformacji warstw skalnych

W prowadzonych badaniach zastosowano metodę analizy regresji. Pozwala ona przybliżać poszukiwaną zależność funkcyjną inną, prostszą funkcją, taką jak wielomian, który zawiera odpowiednie zmienne i przybliża poszukiwaną funkcję w pewnych ograniczonych przedziałach. Ponadto, nawet jeśli nie istnieje zależność fizyczna pomiędzy analizowanymi wielkościami, dzięki metodzie regresji można dążyć do powiązania ich za pomocą równania regresji. Chociaż równanie to może nie mieć znaczenia fizycznego, może ono być przydatne do przewidywania wartości zmiennej zależnej na podstawie znajomości zmiennych niezależnych - N.R.Draper, H.Smith [7].

W przyjętym w prowadzonych badaniach modelu regresji maksymalną energię wstrząsów E_i wydzieloną w „i-tym" przedziale czasu określa poniższe wyrażenie

$$Ei = \sum_{k=1}^{lw} \sum_{j=1}^{4} akj\, dkji + \varepsilon\, i \qquad \text{dla } i = 1 \ldots ldt \tag{1}$$

gdzie:

lw - liczba wytrzymałych warstw skalnych, w których zachodzące procesy deformacyjne powodują powstawanie wstrząsów,

d_j - wartość „j"-tego wskaźnika deformacji,

ldt - liczba przedziałów czasu, dla których wyznaczane są parametry modelu regresji,

a - parametry modelu regresji,

ε - składnik losowy.

Deformacje wstrząsogennych warstw skalnych charakteryzowano czterema wskaźnikami, zdefiniowanymi w poniżej przedstawiony sposób [1,12]

$$d_{ki} = s_j \sum_{l=1}^{lpkt} \int_{t_i}^{t_i+\Delta t} f_k\, dt \qquad \text{dla } k = 1,\ldots,4 \quad i = 1,\ldots,ldt$$

gdzie funkcje f_1 do f_4 zostały zdefiniowane następująco :

$$\begin{aligned}
f_1 &= T_{xl}\frac{dT_{xl}}{dt} + T_{yl}\frac{dT_{yl}}{dt} && \text{dla } T_{xl}\frac{dT_{xl}}{dt} + T_{yl}\frac{dT_{yl}}{dt} > 0 \\
f_1 &= 0 && \text{dla } T_{xl}\frac{dT_{xl}}{dt} + T_{yl}\frac{dT_{yl}}{dt} \le 0 \\
f_2 &= T_{xl}\frac{dT_{xl}}{dt} + T_{yl}\frac{dT_{yl}}{dt} && \text{dla } T_{xl}\frac{dT_{xl}}{dt} + T_{yl}\frac{dT_{yl}}{dt} < 0 \\
f_2 &= 0 && \text{dla } T_{xl}\frac{dT_{xl}}{dt} + T_{yl}\frac{dT_{yl}}{dt} \ge 0 \\
f_3 &= \varepsilon_{zl}\frac{d\varepsilon_{zl}}{dt} && \text{dla } \varepsilon_{zl}\frac{d\varepsilon_{zl}}{dt} > 0 \text{ i } \varepsilon_{zl} < 0 \\
f_3 &= 0 && \text{dla } \varepsilon_{zl}\frac{d\varepsilon_{zl}}{dt} \le 0 \\
f_4 &= \varepsilon_{zl}\frac{d\varepsilon_{zl}}{dt} && \text{dla } \varepsilon_{zl}\frac{d\varepsilon_{zl}}{dt} < 0 \text{ i } \varepsilon_{zl} < 0 \\
f_4 &= 0 && \text{dla } \varepsilon_{zl}\frac{d\varepsilon_{zl}}{dt} \ge 0
\end{aligned} \tag{2}$$

Współczynniki regresji wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów, zgodnie z którą minimalizowano wyrażenie

$$\sum_{i=1}^{ldt} (E_i - E_{obs\,i})^2 \tag{3}$$

gdzie:

E_i - maksymalna energia wstrząsów prognozowana w „i-tym" przedziale czasu,

E_{obsi} - maksymalna energia wstrząsów zaobserwowana w „i-tym" przedziale czasu.

Uwzględniając w (3) równanie (1) otrzymamy

$$\sum_{i=1}^{ldt} \left(\sum_{k=1}^{lw} \sum_{j=1}^{4} a_{kj} d_{kji} - E_{obsi} \right)^2 \tag{4}$$

Rozwiązanie (4) znajdujemy obliczając pochodne cząstkowe po kolejnych parametrach a_{kj} i przyrównując je do zera. Otrzymamy w ten sposób układ 4 lw równań liniowych z 4 lw niewiadomymi. Kolejne równania będą miały postać

$$\sum_{i=1}^{ldt} \left[2 \left(\sum_{k=1}^{lw} \sum_{j=1}^{4} a_{kj} d_{kji} - E_{obsi} \right) \frac{\partial E_i}{\partial a_{nm}} \right] = 0 \quad \text{dla } n = 1 \ldots lw,\ m = 1 \ldots 4 \tag{5}$$

Z (1) otrzymujemy

$$\frac{\partial E_i}{\partial a_{nm}} = d_{nmi} \quad \text{dla } n = 1 \ldots lw,\ m = 1 \ldots 4,\ i = 1 \ldots ldt \tag{6}$$

Po podstawieniu (6) do (5) i pewnych przekształceniach

$$\sum_{k=1}^{lw} \sum_{j=1}^{4} \left(a_{kj} \sum_{i=1}^{ldt} (d_{kji}\, d_{nmi}) \right) - \sum_{i=1}^{ldt} (E_{obsi}\, d_{nmi}) = 0 \tag{7}$$

Układ powyższy można przedstawić w postaci macierzowej

$$\mathbf{AX} = \mathbf{B} \tag{8}$$

Przy założeniu że macierz **A** jest nieosobliwa, rozwiązaniem układu (8) jest wektor **X**

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B} \tag{9}$$

Z uwagi na obserwowaną bardzo dużą zmienność wskaźnika charakteryzującego zarejestrowane w kolejnych przedziałach czasu maksymalne energie wstrząsów, przed przystąpieniem do estymacji parametrów modelu regresji ciąg zawierający te wartości był wyrównywany metodą średniej ruchomej.

Przedstawiony powyżej model regresji został przetestowany dla szeregu konkretnych sytuacji górniczych, wykazując swą przydatność do opisu zmian rejestrowanych maksymalnych energii wstrząsów.

W celu weryfikacji adekwatności przyjętego modelu każdorazowo przeprowadzano szereg analiz, mających na celu ustalenie, czy jest on poprawny w świetle dostępnych danych o przebiegu eksploatacji i zarejestrowanej sejsmiczności. Analizy te obejmowały:

- badanie zmiennych resztowych,
- obliczanie odchylenia standardowego składnika resztowego,
- obliczanie współczynnika determinacji.

3. Wyniki badań zależności korelacyjnych pomiędzy maksymalnymi energiami wstrząsów i procesami deformacyjnymi zachodzącymi wskutek prowadzonej eksploatacji

W celu sprawdzenia opracowanego modelu regresji przeprowadzono analizę możliwości zastosowania go do opisu czasowych zmian maksymalnych energii wstrząsów zarejestrowanych w następujących rejonach:

- rejon ścian 4 i 5 w pokładzie 509 - KWK Bobrek,
- rejon ścian 4 i 5 w pokładzie 506 - KWK Halemba,
- rejon ścian M3 i M4 w pokładzie 703/1 - KWK Marcel,
- rejon ścian IIIa i IVa w pokładzie 703/1 - KWK Rydułtowy.

W wyniku obliczeń uzyskano następujące wartości współczynnika korelacji wielorakiej, współczynnika determinacji oraz odchylenia standardowego składnika resztowego:

Rejon	Wsp.korelacji wielorakiej	Współczynnik determinacji	Odch.stand.skł. resztowego [J]
KWK Bobrek p.509	0,84	0,81	$6{,}8 \times 10^4$
KWK Halemba p.506	0,65	0,54	$8{,}0 \times 10^5$
KWK Marcel p.703/1	0,70	0,55	$5{,}7 \times 10^4$
KWK Rydułtowy p.703/1	0,74	0,60	$3{,}1 \times 10^5$

Przeprowadzone dla każdego analizowanego rejonu badania poprawności przyjętego modelu regresji nie wykazały istnienia błędów modelu. Stosunkowo wysokie wartości współczynnika korelacji wielorakiej oraz współczynnika determinacji świadczą o istnieniu zależności pomiędzy analizowanymi wielkościami. W zależności od rejonu badań, od 54% do 81% obserwowanej zmienności maksymalnej energii wstrząsów może być wyjaśnione zmiennością obliczanych wskaźników deformacji.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań zależności korelacyjnych pomiędzy maksymalnymi energiami wstrząsów a procesami deformacyjnymi zachodzącymi w górotworze wskutek prowadzonej eksploatacji.

Obliczenia przeprowadzone dla pięciu silnie zagrożonych sejsmicznie rejonów wykazały istnienie zależności korelacyjnych pomiędzy maksymalnymi energiami wstrząsów a deformacjami sztywnych warstw skalnych zachodzącymi wskutek eksploatacji górniczej. Wyznaczone wartości współczynnika korelacji wielorakiej wyniosły od 0,65 do 0,84. Wyniki badań zostaną wykorzystane do opracowania metody prognozowania maksymalnych energii wstrząsów indukowanych robotami górniczymi.

LITERATURA

1. Bańka P., Jaworski A.: Prognozowanie czasowych zmian sejsmiczności w oparciu o deformacje górotworu wywołane eksploatacją górniczą. ZN Pol.Śl., s.Górnictwo z.236, Gliwice 1997.
2. Białek J., Jaworski A.: Sposób wyznaczania stref zagrożonych wzmożoną aktywnością sejsmiczną na podstawie prognozowanych rozkładów wskaźników deformacji górotworu. Materiały seminarium: Ocena stanu zagrożenia tąpaniami w kopalniach KGW i środki ich minimalizacji. ST KG PAN o.Katowice, KGW, GIG, Jaworze 1989.
3. Białek J., Jaworski A.: Próba oceny aktywności sejsmicznej na podstawie prognozowanych stanów deformacyjnych górotworu. ZN AGH, s.Górnictwo z.142, Kraków 1989.
4. Białek J., Drzęźla B., Jaworski A.: Próba ustalenia zależności funkcyjnych pomiędzy przebiegiem deformacji górotworu w czasie a energią sejsmiczną dla warunków KWK Rydułtowy. Publ.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.M-16 (245), Warszawa 1992.
5. Biliński A.: Metoda określania stanu zagrożenia tąpaniami stropowymi na podstawie rozeznania warunków naturalnych i górniczych. Przegląd Górniczy nr 7-8, 1981.
6. Biliński A.: Ocena zagrożenia tąpnięciem wyrobiska eksploatacyjnego. Prace GIG, seria dodatkowa, Katowice 1992.
7. Draper N.R., Smith H.: Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa 1973.

8. Drzęźla B., Mendecki A., Garus A.: Czasowe zmiany powtarzalności wstrząsów z rejonu niecki bytomskiej. ZN Pol.Śl. s.Górnictwo z.138, Gliwice 1985.
9. Drzęźla B., Białek J., Jaworski A.: Prognozowanie stanów deformacyjno-energetycznych górotworu dla oceny jego sejsmiczności metodą porównawczą. Mat.Konf.nt. Nowoczesne metody oceny stanu zagrożenia i zwalczania tąpań. GIG, Katowice 1988.
10. Drzęźla B., Pham Quang A., Daoud M.: Modele statystyczne analizy hazardu sejsmicznego dla wstrząsów górniczych z KWK Wujek. Publ.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.M-15 (235), Warszawa 1991.
11. Drzęźla B., Białek J., Jaworski A.: Prognozowanie metodą analityczną sejsmiczności indukowanej wielopokładową eksploatacją. Mat.Konf. nt. Tematyka bezpieczeństwa pracy w górnictwie w Grantach KBN, GIG, Rudy Raciborskie 1993.
12. Drzęźla B., Białek J., Jaworski A., Bańka P., Kołodziejczyk P.: Badanie związków sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą z parametrami opisującymi deformacje ośrodka skalnego. Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu badawczego KBN nr 903759101. Gliwice 1994, praca niepublikowana.
13. Epstein B., Lomnitz C.: A model for the occurence of large earthquakes. Nature, 211, 1966.
14. Gibowicz S.: Rozkład przestrzenny i zmiany czasowe powtarzalności wstrząsów w kopalni węgla kamiennego Szombierki na Górnym Śląsku. Acta Montana nr 50, Praha 1979.
15. Jaworski A.: Związek pomiędzy deformacją górotworu a wydatkiem energetycznym grup współzależnych wstrząsów górniczych z rejonu niecki bytomskiej. Acta Montana.
16. Jaworski A.: Związek pomiędzy deformacją górotworu a wydatkiem energetycznym wstrząsów górniczych z rejonu kopalń Bobrek i Miechowice. ZN Pol.Śl., s.Górnictwo z.225, Gliwice 1995.
17. Kijko A., Sellevol M.A.: Estimated earthquake probabilities in Norway. University of Bergen, Bergen 1978.
18. Kijko A., Dessokey M., Głowacka E.: Wstępna ocena powtarzalności silnych wstrząsów górniczych w kopalniach LGOM. Publ.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.M-5 (155), Warszawa 1982.
19. Kijko A., Drzęźla B., Mendecki A.: Dlaczego rozkłady ekstremalnych zjawisk sejsmicznych w kopalniach mają charakter bimodalny. Acta Montana 71, 1985.
20. Kijko A., Drzęźla B., Mendecki A.: Bimodalny charakter ekstremalnych zjawisk sejsmicznych w kopalniach. Publ.Inst.Geophys.Pol.Acad.Sc.M-8 (191), Warszawa 1986.

21. Kłeczek Z., Zorychta A.: Geomechaniczne warunki powstawania wstrząsów górniczych. Mat.III Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalin stałych", Jaworze 1991.
22. Krzemień S.: Systemowo-informacyjne modele oceny stanu zagrożenia wstrząsami górniczymi w kopalniach węgla kamiennego. ZN Pol.Śl. s.Górnictwo z.198, Gliwice 1991.
23. Lasocki S.: Statystyczna metoda oceny prawdopodobieństwa wystąpienia silnych wstrząsów górniczych w rejonie ścianowego frontu eksploatacyjnego. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.M-5 (155), Warszawa 1982.
24. Lasocki S.: Badanie rozkładów energii wstrząsów górniczych. ZN AGH s. Górnictwo z.129, Kraków 1987.
25. Lasocki S.: Rozkład energii wstrząsów górniczych z rejonu eksploatacji. ZN AGH s.Górnictwo z.141, Kraków 1988.
26. Lasocki S.: Predykcja silnych wstrząsów górniczych. ZN AGH Geofizyka Stosowana nr 7, Kraków 1990.
27. Lasocki S.: Zdolność predykcyjna modeli rozkładu energii wstrząsów. Publ.Inst.Geophys. Pol.Acad.Sc.M-15 (235), Warszawa 1991.
28. Lasocki S.: Ocena i prognoza lokalnego ryzyka sejsmicznego poprzez analizę danych sejsmologicznych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Seria wykłady nr 12, Kraków 1996.
29. Oczkowicz J., Szukalski S.: Przykład zastosowania teorii wartości skrajnych do oceny rozkładu prawdopodobieństwa maksymalnej energii wstrząsów górniczych. Cuprum 5-6, 1974.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Józef Dubiński

Abstract

The paper presents investigation result concerning the influence of rockmass deformations on maximum energy of tremors induced by mining.

Deformation changes taking place as a result of the completed and present mining process have been described by means of deformation factors, which are derivatives of vertical movement of the rock mass, i.e. vertical strain and dip. Positive and negative increments of

the above factors have been investigated separately. The worked out model of linear regression has been used for the description of recorded maximum energy of tremors in the selected coal mine areas of the Upper Silesia Coal Basin. Testing analyses carried out for these areas have allowed to confirm that there is a correlative dependency between maximum energy of tremors and rockmass deformations effected by previous and present mining process.