ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2001
Seria: GÓRNICTWO z. 250 Nr kol. 1517

Piotr BAŃKA, Andrzej JAWORSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

PRZEGLĄD WYBRANYCH METOD SZACOWANIA MAKSYMALNYCH ENERGII WSTRZĄSÓW INDUKOWANYCH EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Streszczenie. W artykule wskazano na możliwość wykorzystania zależności korelacyjnych pomiędzy obliczanymi analitycznie deformacjami górotworu a maksymalnymi energiami rejestrowanych zjawisk sejsmicznych do prognozowania energii najsilniejszych wstrząsów indukowanych eksploatacją górniczą. Dla przykładowego rejonu eksploatacji podano wyniki obliczeń przeprowadzonych metodą analityczną rozwijaną od szeregu lat przez autorów oraz porównawczo metodami statystyczną i empiryczną.

REVIEW OF CHOSEN METHODS ESTIMATION OF MAXIMUM ENERGY OF TREMORS INDUCED BY MINING

Summary. The paper presents possibility use the correlative dependence of analytically calculated rockmass deformations on recorded maximum energy of tremors for prediction energy of tremors induced by mining. Results of analytically calculations carried out for a definite mining region have been presented. Results of statistical and empirical calculations have been presented too.

1. Wprowadzenie

Znajomość maksymalnej energii sejsmicznej wstrząsów, jakie w konkretnym lokalnym rejonie i czasokresie mogą indukować prowadzone bądź projektowane roboty górnicze, umożliwia:

- dobór podstawowych parametrów eksploatacji, w tym jej zakresu, przy których prawdopodobieństwo wystąpienia wstrząsów przekraczających określony próg energetyczny będzie znikome,

- dostosowanie obudowy wyrobisk i jej wzmocnień do spodziewanych obciążeń dynamicznych,
- określenie maksymalnych przyspieszeń drgań podłoża skalnego i gruntu generowanych wstrząsami górniczymi.

Maksymalną energię spodziewanych wstrząsów indukowanych eksploatacją górniczą wyznacza się najczęściej metodami statystycznymi [7, 11, 15, 16, 17], adaptowanymi z sejsmologii globalnej. Mimo stosowania tych metod do ograniczonych obszarów górotworu związanych z przemieszczającym się frontem eksploatacyjnym, gdzie proces generowania zjawisk sejsmicznych nie jest w pełni stacjonarny, możliwe jest uzyskanie wiarygodnych prognoz (Lasocki [17]).

W wielu przypadkach, między innymi z uwagi na niepełną rejestrację indukowanych w górotworze wstrząsów niskoenergetycznych, do oceny maksymalnej energii spodziewanych zjawisk sejsmicznych wykorzystuje się nadal rozkłady wartości ekstremalnych (np. [7]). Określeniu podlega prawdopodobieństwo wystąpienia w przyjętym przedziale czasu wstrząsu o energii przekraczającej zadaną wartość progową.

Mankamentem metod statystycznych jest nieuwzględnianie w ocenie zmiennego w przestrzeni pola naprężeń, a więc lokalnych zaburzeń tego pola wynikłych z występowania zaszłości eksploatacyjnych oraz dyslokacji tektonicznych, a także powodowanych niestabilnością parametrów eksploatacyjnych (postępu, wysokości, długości frontów) rozpatrywanych wybrań.

Stąd też do prognozy maksymalnej energii spodziewanych zjawisk sejsmicznych, obok metod statystycznych, w konkretnych przypadkach powinno się także wykorzystywać inne efektywne obliczeniowo metody, jeśli ich wskazania dostatecznie korelują z rzeczywistością oraz wskazaniami metod podstawowych.

Wskazujemy tu na zasadność rozważnego stosowania wykorzystywanej często do szacowania maksymalnej energii spodziewanych wstrząsów metody empirycznej (Biliński [5]), a także metody analitycznej (Bańka, Jaworski [3]) mimo ich oczywistych ograniczeń i mankamentów. Pierwszą z wymienionych metod można stosować szczególnie w przypadkach występowania w trakcie dotychczasowych robót niskiej aktywności sejsmicznej, co często wynika na przykład z nieznacznego jeszcze otwarcia pola bądź lokalnie „korzystnego układu" zaszłości eksploatacyjnych oraz w przypadkach rozpoczynania eksploatacji w nowych partiach złoża.

Metoda empiryczna, której podstawy opracowano na początku lat 80., bazuje na modelu tzw. górotworu naruszonego eksploatacją podbierającą, w następstwie której masyw skalny przekształca się w zespół warstw kolejno osiadających na zrobach. W deformowanych, mocnych warstwach ścięciom zazębień bloków skalnych towarzyszą wstrząsy związane z nagłym wyzwalaniem się energii sprężystej.

Prawdopodobna wielkość energii wstrząsów górotworu zależna jest od wytrzymałości wstrząsogennej warstwy, stopnia usztywnienia górotworu, średniej grubości płyt skalnych w rozsłojonej warstwie oraz od odległości warstwy od stropu rozpatrywanego wyrobiska. W trakcie obliczeń konieczne jest przyjęcie dużej liczby empirycznie wyznaczonych współczynników. Tym niemniej, przy odpowiednim stosowaniu metody możliwe jest oszacowanie rzędu energii prognozowanych wstrząsów przy pośrednim (poprzez przyjęte współczynniki) uwzględnieniu występowania zaszłości eksploatacyjnych i uskoków.

Prowadzone od kilkunastu lat badania w Instytucie Eksploatacji Złóż [1-4, 8, 12, 13] 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.

Podejście to, bazujące na analitycznym opisie zmian w stanie zdeformowania warstw górotworu obejmowanych wpływami wielopokładowych wybrań o zmiennych parametrach, nie wiąże poziomu sejsmiczności z przebiegiem procesu indukowania wstrząsów w górotworze. Ograniczoność powszechnie stosowanych metod oceny wynika głównie z niedostatecznej znajomości przebiegu tego procesu.

W niniejszym artykule przedstawione zostały przykładowe wyniki badań nad możliwością prognozowania maksymalnych energii wstrząsów na podstawie parametrów opisujących zmiany deformacji górotworu. Prezentowane wyniki dotyczą analizy sejsmiczności zarejestrowanej w bardzo silnie zagrożonym sejsmicznie rejonie Kopalni Heinrich Robert (Niemcy). Rejon ten został wybrany w celu sprawdzenia możliwości stosowania metod prognozowania wykorzystywanych w GZW w innych zagłębiach węglowych, w zbliżonych warunkach geologiczno-górniczych.

2. Model regresji maksymalnych energii indukowanych wstrząsów 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 [6].

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

$$E_i = \sum_{k=1}^{lw} \sum_{j=1}^{4} a_{kj} d_{kji} + \varepsilon_i \qquad \text{dla } i = 1 \ldots ldt, \tag{1}$$

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 sposób przedstawiony szczegółowo we wcześniejszych publikacjach autorów [1-3].

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 między innymi:

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

W trakcie badań stosowano również nieco inne podejście, pozwalające prognozować maksymalną energię wstrząsów na podstawie prognozowanych wartości ilości i sumarycznej energii wstrząsów. Podejście to wynika wprost z rozkładu Gutenberga-Richtera wstrząsów indukowanych prowadzonymi robotami górniczymi.

Przyjmując następującą postać rozkładu Gutenberga-Richtera:

$$\log n = a - bm, \tag{2}$$

gdzie:

n - liczba wstrząsów o magnitudzie równej lub większej od m.,

m - magnituda,

a, b - parametry

oraz związek pomiędzy energią a magnitudą (np.[9])

$$\log E = c + dm, \tag{3}$$

gdzie:

E - energia sejsmiczna wstrząsu,

c, d - parametry,

Po szeregu przekształceń otrzymamy:

$$E_{max} = \left(\frac{E_c (1 - b_1)}{n_c E_{min}^{b_1}} + E_{min}^{1-b_1} \right)^{\frac{1}{1-b_1}} \tag{4}$$

Zakładając, że znamy E_c, n_c - prognozowaną sumaryczną energię i liczbę wstrząsów w jednostkowym przedziale czasu, E_{min} - minimalną energię sejsmiczną wstrząsów, powyżej której spełniony jest rozkład Gutenberga-Richtera, b_1 - parametr rozkładu, możliwa jest prognoza E_{max}.

3. Prognoza maksymalnych energii wstrząsów

Przedstawione badania dotyczą silnie zagrożonego sejsmicznie rejonu ściany S71-14, prowadzonej w pokładzie Sonnenschein Kopalni Heinrich Robert.

Analiza wyników obserwacji wskazuje, że w przedmiotowym rejonie aktywność sejsmologiczna była widocznie determinowana silnie zróżnicowanymi wpływami na górotwór wielopokładowej eksploatacji przeprowadzanej w sąsiednich pokładach.

Wydaje się, że z uwagi na:

- złożoność układu zaszłości eksploatacyjnych wytworzonych na wybiegu i w sąsiedztwie pola analizowanej ściany S 71-14,
- zmienność parametrów rozpatrywanej eksploatacji,
- ograniczenia prognostyczne wynikające z rejestracji prawie wyłącznie wysoko energetycznych wstrząsów – bez ich lokalizacji,

mamy do czynienia z typowymi uwarunkowaniami, przy których do oszacowań maksymalnej energii spodziewanych wstrząsów obok metod statystycznych zasadne jest skorzystanie z rozwijanego przez autorów podejścia analitycznego.

Obliczane analitycznie deformacje naruszanych eksploatacją mocnych warstw skalnych porównywano z obserwacjami maksymalnego wydatku energetycznego rejestrowanych wstrząsów – starając się zaprognozować porównawczo rzeczywisty wydatek na podstawie opracowanych wzorów regresji.

Podejście to, jak wspomniano, pozwala wiązać przebieg procesu deformacyjnego zachodzącego w mocnych wstrząsogennych skałach (zależne od parametrów wybrań i geometrii zaszłości przyrosty-spadki wartości wskaźników deformacji) z rejestrowaną sejsmicznością.

Charakterystyka rejonu badań – uwarunkowania eksploatacji, poziom sejsmiczności indukowanej

Eksploatacja ściany S71-14 w pokładzie Sonnenschein prowadzona była z zawałem stropu na głębokości około 1100m. W okresie od 9.07.1998r. do 6.11.1998r. zarejestrowano w rejonie przedmiotowej ściany 161 wstrząsów o sumarycznej energii $2{,}2 \times 10^9$J.

Kształtowanie się zarejestrowanej sejsmiczności w trakcie eksploatacji ściany S71-14 ilustruje tab. 1.

Najsilniejszym zjawiskiem był wstrząs o energii $2{,}66 \times 10^8$J, zarejestrowany w dniu 18.09.1998r.

W trakcie biegu ściany wyróżnić można dwa charakterystyczne okresy:

- pierwszy – stosunkowo mało wstrząsów, przy stosunkowo dużych energiach pojedynczych zjawisk,
- drugi – stosunkowo dużo wstrząsów, przy mniejszej energii pojedynczych zjawisk.

Tablica 1

Zarejestrowana ilość i sumaryczna energia wstrząsów w okresie od 9.07.1998r. do 6.11.1998r.

Energia [J]	Ilość wstrząsów	Suma energii wstrząsów [J]
10^4	2	1.5e5
10^5	41	2.1e7
10^6	84	3.2e8
10^7	28	7.3e8
10^8	6	1.1e9
RAZEM	161	2.2e9

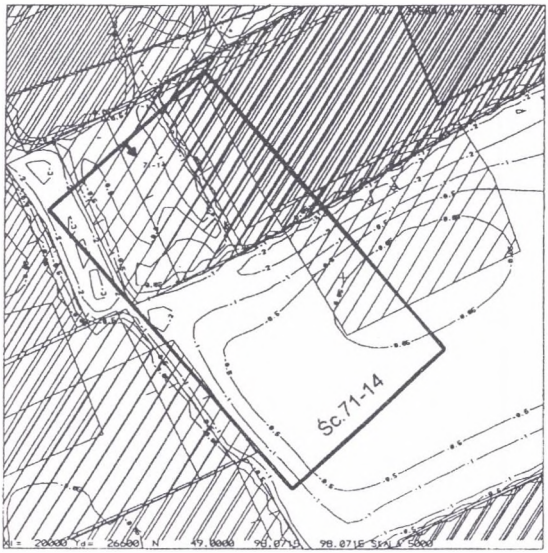
Stosunkowo duże zagrożenie sejsmiczne towarzyszące eksploatacji ściany S 71-14 spowodowane było między innymi:

- dużą głębokością eksploatacji,
- występowaniem nad eksploatowanym pokładem szeregu wytrzymałych warstw skalnych,
- zaszłościami eksploatacyjnymi w pokładach sąsiednich.

Na rysunku 1 przedstawione zostały kontury eksploatacji w polu ściany S 71-14 oraz w pokładach sąsiednich.

Zwraca uwagę silny wpływ zaszłości eksploatacyjnych na poziom zdeformowania mocnych warstw stropowych w rejonie początkowego biegu ściany S 71-14. Jak wynika z doświadczeń autorów, silne zróżnicowanie odkształceń pionowych ma istotny wpływ na poziom obserwowanej sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą.

W celu analizy poziomu zagrożenia sejsmicznego, towarzyszącego eksploatacji w polu ściany S 71-14, przeanalizowano związki korelacyjne pomiędzy stanem zdeformowania wytrzymałych warstw skalnych i rejestrowaną maksymalną energią wstrząsów, przeprowadzono oszacowanie maksymalnej energii wstrząsów metodą empiryczną oraz metodą probabilistyczną.

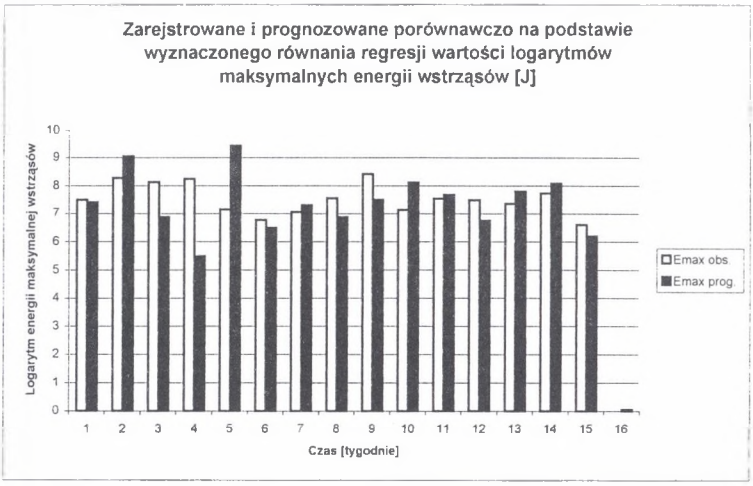


Rys. 1. Eksploatacja w pokładzie Sonnenschein z naniesionymi konturami eksploatacji w pokładach sąsiednich oraz izoliniami odkształceń pionowych wytrzymałych warstw piaskowca
Fig. 1. Contours of past mining and planned mining in seam Finefrau with prediction of vertical deformations

Prognoza maksymalnych energii wstrząsów na podstawie parametrów zdeformowania warstw skalnych

Wykorzystując przedstawioną w rozdziale 2 metodę przeprowadzono estymację parametrów modelu regresji maksymalnych energii wstrząsów zarejestrowanych w 7-dniowych przedziałach czasu względem deformacji wytrzymałych warstw skalnych. Przeprowadzone obliczenia dla danych zarejestrowanych w trakcie prowadzenia eksploatacji w polu analizowanej ściany nie wykazały istnienia błędów w przyjętym modelu regresji.

Wyznaczone równanie regresji zostało wykorzystane do wykonania porównawczej prognozy maksymalnych energii wstrząsów w polu ściany S 71-14. Wyniki tych obliczeń zostały przedstawione na rys. 2. Porównano je z faktycznie zarejestrowanym poziomem maksymalnych energii wstrząsów, przy czym białe prostokąty przedstawiają kształtowanie się logarytmu maksymalnej zarejestrowanej energii wstrząsów w 7-dniowych przedziałach czasu, natomiast czarne przedstawiają wartości prognozowane.



Rys.2. Zarejestrowane i prognozowane wartości logarytmów maksymalnych energii wstrząsów w trakcie eksploatacji ściany S 71-14
Fig.2. Observed and predicted values of maximum energy of tremors accompanying the mining process of longwall S 71-14

Jak wynika z danych przedstawionych na rys.2, zastosowany model regresji, po estymacji parametrów równania na podstawie zarejestrowanych w trakcie eksploatacji w polu ściany wstrząsów, pozwolił poprawnie wykonać prognozę porównawczą maksymalnych energii wstrząsów indukowanych w trakcie prowadzenia robót wybierkowych w polu analizowanej ściany.

Oszacowanie maksymalnych energii wstrząsów metodą empiryczną

Ogólną charakterystykę metody przedstawiono bardzo szczegółowo w pracy [5], stąd poniżej podane zostały jedynie przyjęte dane i wyniki obliczeń.

Korzystając z profili geologicznych wyznaczono podstawowe parametry geometryczne warstw piaskowców zalegających nad pokładem Sonnenschein. Zostały one przedstawione w tab. 2.

Tablica 2

Dane dotyczące warstw piaskowca zalegających nad pokładem Sonnenschein

Numer warstwy Piaskowca	Miąższość warstwy piaskowca [m]	Odległość warstwy od pokładu [m]	Wytrzymałość na ściskanie R_c [Mpa]
1	20	0	90
2	28	57	90
3	27	123	90

W celu dopasowania obserwowanych energii najsilniejszych wstrząsów (E_t – wg [5]) do prognozowanych wartości wskaźnika zagrożenia tąpnięciem w wyrobisku eksploatacyjnym (W_t – wg [5]), zmieniono wartość współczynnika wiążącego te wielkości. Zamiast oryginalnej zależności E_t=(0,0011 – 0,0022) W_t^2 zastosowano wyrażenie E_t=(0,0106–0,0211) W_t^2.

W wyniku obliczeń otrzymano następujące oszacowanie maksymalnych energii wstrząsów – tab. 3.

Tablica 3

Oszacowanie maksymalnych energii wstrząsów wynikłych z łamania się warstw piaskowców

Numer warstwy	Maksymalna energia wstrząsów [J]			
	Stopień usztywnienia			
	I	II	III	IV
1	7e6	6e7	2e8	5e8
2	4e6	1e7	2e7	2e7
3	1e6	2e6	3e6	4e6

Jak wynika z przeprowadzonych obliczeń, maksymalna energia wstrząsów wynikłych z łamania się sztywnych warstw piaskowców może wynieść 5e8 J. Wynik ten jest porównywalny z zarejestrowanymi energiami najsilniejszych wstrząsów.

Probabilistyczna prognoza zagrożenia sejsmicznego

W zakresie statystycznej oceny zagrożenia sejsmicznego rozpowszechnione są dwa podejścia.

Pierwsze polega na analizie rozkładów statystycznych energii rejestrowanych wstrząsów, biorąc pod uwagę wszystkie zarejestrowane zjawiska.

Drugie podejście realizuje się przez wyznaczenie rozkładów statystyk ekstremalnych, np. rozkładu energii najsilniejszych wstrząsów w ustalonych interwałach czasu.

Celem nadrzędnym w obu przypadkach jest podanie średniego czasu powrotu zjawisk przewyższających energetycznie zadany poziom. Oba podejścia mają wady i zalety w stosunku do siebie.

Pierwsze podejście wymaga znajomości typu rozkładu energetycznego wstrząsów, podlega jednak obróbce większa ilość informacji (wszystkie zarejestrowane zjawiska).

Drugie podejście wykorzystuje rozkład graniczny prawdopodobieństwa elementów maksymalnych w próbce i nie zakłada znajomości rozkładu prawdopodobieństwa w populacji generalnej, obrabia jednak mocno uszczuploną informację i wymaga silnych założeń dotyczących jednakowego rozkładu wszystkich zmiennych losowych obserwowanego wektora losowego, z którego wybrany jest element maksymalny oraz jednakowej liczby zdarzeń w każdym interwale czasu; założenia te spełnione mogą być tylko w bardzo dużym przybliżeniu.

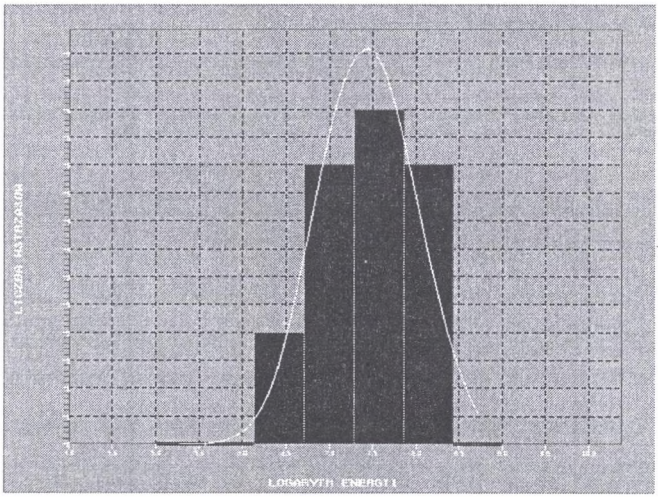
W niniejszym artykule, z uwagi na wspomnianą wcześniej szczupłość danych pomiarowych, zrealizowano drugi z przedstawionych schematów postępowania

Do opisu rozkładu zdarzeń ekstremalnych wykorzystano trzeci rozkład Gumbela [7].

W celu scharakteryzowania powtarzalności dużych wstrząsów zastosowano najczęściej używane wskaźniki zagrożenia: średnie czasy powrotu T(x) wstrząsów silniejszych od 10^x [J] oraz max(t), tj. energii, której z prawdopodobieństwem 0.99 nie przewyższy najsilniejszy wstrząs w przeciągu t interwałów obserwacji.

W obliczeniach uwzględniono wstrząsy zarejestrowane w okresie od 9.07.1998r. do 6.11.1998r.

Histogram rozkładu energetycznego oraz przebieg teoretycznej częstości dla III rozkładu Gumbela podano na rys. 3.



Rys. 3. Histogram rozkładu energetycznego oraz przebieg teoretycznej częstości – III rozkład Gumbela
Fig. 3. Histogram of energy distribution and run of theoretical frequency – III Gumbel distribution

Dla III rozkładu Gumbela obliczone średnie czasy powrotu silnych wstrząsów wynoszą:

- dla wstrząsu o energii powyżej

$1x10^7$J – 1 tydzień

$1x10^8$J – 7 tygodni

$1x10^9$J – 2046 tygodni

Energia najsilniejszego wstrząsu, która z prawdopodobieństwem 0,99 nie będzie przekroczona w trakcie 104 tygodni obserwacji, wynosi $1x10^9$ J.

Zgodnie z wynikami przeprowadzonych analiz rozkładów zdarzeń ekstremalnych w trakcie prowadzenia dalszych robót górniczych w analizowanym rejonie można się było spodziewać wystąpienia wstrząsów o energiach rzędu 10^8J.

4. Podsumowanie

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

Ustalane relacje pomiędzy obliczanymi zmianami zdeformowania górotworu a maksymalnymi energiami wstrząsów pozwalają na sporządzanie oszacowań zmian w poziomie tych energii na wybiegach kolejnych projektowanych ścian w danym rejonie eksploatacji. Możliwe jest prognozowanie tych zmian w czasoprzestrzeni oraz w funkcji czasu.

Opracowywana metoda może być szczególnie efektywnie stosowana w rejonach, gdzie parametry wytrzymałościowe skał oraz warunki geologiczne zalegania pokładów pozostają słabo zmienne, natomiast poziom sejsmiczności jest silnie zależny od parametrów prowadzonych robót górniczych, jak również od czasoprzestrzennego wykształtowania układu resztek i krawędzi eksploatacji.

Przeprowadzone obliczenia porównawcze pozwoliły stwierdzić, że w analizowanym rejonie eksploatacji pokładu Sonnenschein prognozy wykonane analizowanymi metodami pozwoliły stosunkowo dokładnie określić maksymalne energie sejsmiczne wstrząsów indukowanych w trakcie biegu ściany S 71-14.

LITERATURA

1. Bańka P.: Wpływ deformacji górotworu na czasowe zmiany aktywności sejsmicznej. ZN Pol.Śl., s. Górnictwo z.232, Gliwice 1996.
2. 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.
3. Bańka P., Jaworski A.: Wpływ deformacji górotworu na maksymalne energie zjawisk sejsmicznych indukowanych eksploatacją górniczą. Z.N. Pol.Śl., s. Górnictwo z.239, Gliwice 1999.
4. Białek J., Jaworski A.: Próba oceny aktywności sejsmicznej na podstawie prognozowanych stanów deformacyjnych górotworu. ZN AGH, s. Górnictwo z.142, Kraków 1989.
5. Biliński A.: Metoda określania stanu zagrożenia tąpaniami stropowymi na podstawie rozeznania warunków naturalnych i górniczych. Przegląd Górniczy Nr 7-8, Katowice 1981, str.415-423.
6. Draper N.R., Smith H.: Analiza regresji stosowana. PWN, Warszawa 1973.

7. Drzęźla B., Mendecki A., Garus A.: Czasowe zmiany powtarzalności wstrząsów z rejonu niecki bytomskiej. ZN Pol.Śl., s. Górnictwo z.138, Gliwice 1985.
8. 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.
9. Dubiński J., Wierzchowska Z.: Metody obliczania energii wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku. Prace GIG, Komunikat nr 591, Katowice 1973.
10. Dźwigoł H., Krzyżowski A., Tytko J., Toczka J.: Eksploatacja pokładu 502 w KWK "Bielszowice" w warunkach zagrożeń skojarzonych. Prace Naukowe GIG, s. Konferencje nr 36 – Tąpania 2000, Katowice 2000.
11. Epstein B., Lomnitz C.: A model for the occurence of large earthquakes. Nature, 211, 1966.
12. 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.
13. Jaworski A.: Relationship between rock mass deformation and energy release of interdependent mining tremors in the area of Bytom Basin. Acta Montana No 9, 1996.
14. Jaworski A., Bańka P.: Szacowanie maksymalnych energii wstrząsów w oparciu o analityczny opis stanu zdeformowania górotworu. Materiały z konferencji naukowo-technicznej VI Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Ustroń 25-27.06.2001, str.169-181.
15. Kijko A., Sellevol M.A.: Estimated earthquake probabilities in Norway. University of Bergen, Bergen 1978.
16. 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.
17. Lasocki S.: Ocena i prognoza lokalnego ryzyka sejsmicznego poprzez analizę danych sejsmologicznych. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej. Seria wykłady nr 12, Kraków 1996.

18. Lasocki S., Szybiński M., Matuszczyk J., Mirek J., Pielesz A.: Prognozowanie drgań powierzchni wywołanych wstrząsami górniczymi – przegląd krytyczny. Materiały Sympozjum Warsztaty 2000, Ustroń Śl., 29-31 maja 2000r, Kraków 2000.

Recenzent: Dr inż. Adam Krzyżowski

Abstract

The paper presents selected results of studies linking the level of induced seismicity with the condition of rockmass in view of defomation and energy, with the rockmass having been formerly subjected to mining which induced the discussed tremors.

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 seismic activity taking place in the course of mining works have been described using maximum energy of the recorded tremors per week.

The worked out model of linear regression has been used for the description of recorded seismic activity in the selected area of the Heinrich Robert coal mine heavily troubled by tremors.

As a result of the calculations, it has been ascertained that the real run of seismicity correspond with the run calculated by means of the worked out regression model.

Results of statistical and empirical calculations have been presented too.