ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 138 Nr kol. 840

Bernard DRZĘZLA
Aleksander MENDECKI
Adam GARUS

# CZASOWE ZMIANY POWTARZALNOŚCI WSTRZĄSÓW Z REJONU NIECKI BYTOMSKIEJ

Streszczenie. Analizowano wstrząsy górnicze zarejestrowane w wybranych rejonach kopalń węgla kamiennego "Szombierki", "Dymitrow" i "Powstańców Śląskich" w okresie od 1979 r. do 1983 r. Do oceny powtarzalności dużych wstrząsów użyto pierwszego i trzeciego rozkładu Gumbela. Stwierdzono zależność prawdopodobieństwa występowania dużych wstrząsów od usytuowania obszaru względem dna niecki bytomskiej.

Przeprowadzono również analizę zmian rozkładów Gumbela w czasie, w obszarach kopalń "Szombierki" i "Dymitrow" pod kątem badania anomalii związanych z silnymi zjawiskami sejsmicznymi.

## 1. WPROWADZENIE

Zjawisko trzęsienia ziemi, a w mniejszej skali wstrząsu górniczego, w terminach mechaniki zniszczenia jest naruszeniem ciągłości przemieszczeń, pęknięciem, wywołanym krytycznym stanem naprężeń w obszarze ogniska wstrząsu. W zależności od rozmiarów szczeliny głównej powstałej w wyniku pęknięcia oraz własności ośrodka obserwujemy różne energie sejsmiczne wstrząsów. Ze względu na ograniczoną czułość sejsmometrów istnieje pewien próg energetyczny, zależny od wzajemnej geometrii sieci stanowisk i rejonu aktywnego, poniżej którego ilość obserwowanych wstrząsów nie odpowiada rzeczywistości. Tworząc empiryczne rozkłady energetyczne wstrząsów z analizowanego rejonu ograniczamy się z konieczności do wstrząsów o energii wyższej od progowej. Z drugiej strony, z uwagi na rzadkość występowania silnych wstrząsów, np. o energii powyżej $10^7$ J, rozkłady energetyczne wstrząsów są obarczone dużym błędem również w zakresie dużych energii. W praktyce górniczej najistotniejszą rolę odgrywają wstrząsy silne o energii przewyższającej $10^6$ J.

Z powyższych względów analiza powtarzalności dużych wstrząsów oparta na dystrybuancie rozkładu energetycznego wszystkich zjawisk sejsmicznych obserwowanych w danym rejonie wydaje się być nieodpowiednia. Bardziej naturalnym podejściem jest szukanie rozkładu maksymalnych energii wstrząsów notowanych w określonym interwale czasu (np. tydzień, miesiąc).

Podstawy teoretyczne do oceny prawdopodobieństw występowania wartości ekstremalnych zostały sformułowane przez Gumbela w latach trzydziestych. Ocena powtarzalności silnych trzęsień ziemi za pomocą rozkładu wartości maksymalnych stosowana była pracach takich autorów, jak: Nordquist [6], Epstein i Lomnitz [1], Shacal i Willis [8], Kijko i Sellevol [5].

Do analizy powtarzalności silnych wstrząsów górniczych stosowali ten aparat matematyczny Oczkowicz i Szukalski [7], Kijko i inni [4], Kijko [3]. Ta, jak również inne metody statystyczne oceny aktywności sejsmicznej nie odpowiadają na najistotniejsze pytanie - kiedy wystąpi duży wstrząs, podają jedynie z lepszym lub gorszym przybliżeniem prawdopodobieństwo jego występowania. Jakkolwiek znajomość tego prawdopodobieństwa ma duże znaczenie dla oceny stopnia zagrożenia rejonu. Pełniejszej informacji dostarcza badanie zmian powtarzalności dużych wstrząsów w czasie, Gibowicz [2]. Można wówczas, abstrahując od ilościowych oszacowań, analizować zmiany jakościowe powtarzalności wstrząsów, próbując korelować te zmiany z występowaniem wstrząsów wyjątkowo silnych.

W niniejszej pracy dokonano analizy powtarzalności dużych wstrząsów w rejonach KWK "Szombierski", KWK "Dymitrow" i KWK "Powstańców Śląskich" na podstawie okresu obserwacji od 1979 do 1982 roku, przy użyciu pierwszego i trzebiego rozkładu Gumbela oraz wyznaczono zmiany czasowe parametrów obu rozkładów. Dokonano również próby skorelowania tych zmian z występowaniem bardzo silnych wstrząsów górotworu oraz wytłumaczenia ich za pomocą prostego modelu mechanicznego.

## 2. PODSTAWY TEORETYCZNE ROZKŁADÓW WARTOŚCI SKRAJNYCH

Teoria rozkładów wartości skrajnych obejmuje rozkłady wartości minimalnych i maksymalnych ciągu n-niezależnych zmiennych losowych o jednakowym rozkładzie.

Ze względu na to, że w niniejszej pracy badana jest powtarzalność wstrząsów dużych, ograniczymy się tu do krótkiego naszkicowania rezultatów teorii Gumbela odnośnie wartości maksymalnych.

Niech zmienne losowe $X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n$ spełniają warunek niezależności i jednakowego rozkładu $F(x)$. Zajmiemy się zmienną losową

$$M = \max_{1 \leq i \leq n} \{X_i\}$$

Nierówność $M \leq x$ jest równoważna układowi nierówności:

$$X_1 \leq x, \quad X_2 \leq x, \ldots, X_n \leq x,$$

wobec tego

$$P\{M \leqslant x\} = P\{X_1 \leqslant x, X_2 \leqslant x, \ldots X_n \leqslant x\} = \prod_{i=1}^{n} P\{X_i \leqslant x\}.$$

Rozkład $G(x)$ zmiennej losowej $M$ wyraża się za pomocą rozkładu $F(x)$ zmiennych $X_i$ następująco:

$$G(x) = [F(x)]^n.$$

Istotą teorii rozkładów elementów skrajnych jest podanie jawnej postaci rozkładów przybliżających funkcję $G(x)$ dla dostatecznie dużych $n$, przy słabych ograniczeniach odnośnie dystrybuanty $F$ na granicach przedziału zmienności $X_i$.

W pozostałej części przedziału dystrybuanta $F$ może być dowolna. Ma to ogromne znaczenie w zastosowaniu teorii, ponieważ nie jest wymagana dokładna znajomość rozkładu zmiennych $X_i$.

Można wykazać, (Smirnow, Dunin-Barkowski [9]), że w przypadku, gdy zmienne $X_i$ są nieograniczone oraz $F(x)$ dostatecznie szybko zmierza do jedności przy $x \to \infty$ (np. rozkład - normalny, wykładniczy, gamma) wówczas dystrybuantę $G(x)$ dobrze przybliża funkcja

$$G_I(x) = \exp[-\exp(-a(x-b))], \tag{1}$$

gdzie: $a > 0$, $b$ - pewna stała.

W przypadku, gdy zmienne $X_i$ są ograniczone z góry wartością $\omega$, rozkład $G(x)$ można przybliżyć funkcją

$$G_{III}(x) = \begin{cases} \exp[-\exp(b)(\omega - x)^a], & x \leqslant \omega \\ 1 & x > \omega \end{cases} \tag{2}$$

gdzie: $a > 0$, $b$ - pewna stała.

$G_I(x)$, $G_{III}(x)$ nazywane są odpowiednio pierwszym i trzecim rozkładem Gumbela.

Logarytmując dwukrotnie wzory (1) i (2) otrzymamy:

$$\ln[-\ln(G_I(x))] = -ax + ab, \tag{3}$$

$$\ln[-\ln(G_{III}(x))] = a\ln(\omega - x) + b. \tag{4}$$

W zastosowaniu georii Gumbela do oceny powtarzalności dużych wstrząsów górniczych, zmienne losowe $X_1,\ldots,X_n$ interpretuje się jako logarytmy energii kolejnych wstrząsów, które wystąpiły w ustalonym interwale czasu (w niniejszej pracy jednego tygodnia). Wówczas $M$ jest logarytmem dziesiętnym energii, najsilniejszego wstrząsu w tym interwale (dalej nazywanym tygodniem).

Niech $N$ oznacza liczbę obserwacji maksymalnych tygodniowych wstrząsów, tj. wartości zmiennej losowej $M$, natomiast $k$ - liczbę zaobserwowanych wartości $M$ nie przewyższających $x$, wówczas wartość dystrybuanty empirycznej, zmiennej $M$ w punkcie $x$ wynosi:

$$G_e(x) = \frac{k}{N+1} \tag{5}$$

Z ciągu $\{M_i\}$, $i = 1,2,\ldots,N$, obserwowanych wartości zmiennej losowej $M$ wyznacza się wszystkie parami różne wartości i porządkuje w ciąg rosnący $\{M_j\}$, $j = 1,2,\ldots,s$; $s \leqslant N$. Przyporządkowując każdej z wartości $M_j$ otrzymanego ciągu liczbę

$$Y_j = \ln\left[-\ln(G_e(M_j))\right], \tag{6}$$

za pomocą wzoru (5) otrzymujemy zbiór par $(M_j, Y_j)$ argumentów i wartości pewnej funkcji, wyznaczonych z błędem przypadkowym.

Przybliżając dystrybuantę zmiennej losowej $M$ pierwszym rozkładem Gumbela zakłada się na podstawie równości (3), że zbiór par $(M_j, Y_j)$ aproksymuje wykres funkcji

$$Y(M) = -aM + ab. \tag{7}$$

Przy trzecim rozkładzie Gumbela stosuje się dla powyższego, wobec równości (4), funkcję

$$Y(M) = a\ln(\omega - M) + b \tag{8}$$

Parametry obu funkcji można wyznaczać metodą najmniejszych kwadratów, z której dla równania (7) otrzymujemy:

$$a_1 = \frac{\sum M_j \sum Y_j - s\sum M_j Y_j}{(\sum M_j)^2 - s\sum M_j^2} \tag{9}$$

$$b_1 = \frac{\sum M_j \sum M_j Y_j - \sum Y_j \sum M_j^2}{(\sum M_j)^2 - s\sum M_j^2} \tag{10}$$

gdzie:

$$a_1 = -a; \quad b_1 = b/a, \quad \Sigma = \sum_{j=1}^{a}$$

Wyznaczając parametry funkcji (8) należy zminimalizować wyrażenie:

$$W(a,b,\omega) = \sum_{j=1}^{a} \left[Y_j - a \ln(\omega - M_j) - b\right]^2, \tag{11}$$

z którego parametry $a$ oraz $b$ uzyskujemy efektywnie, natomiast $\omega$ jest poszukiwane na drodze numerycznej.

Oceniając powtarzalność dużych wstrząsów wygodnie jest obliczyć tzw. średni czas powrotu $T(x)$ wstrząsów przewyższających dany logarytm energii $x$. Ponieważ liczba zaobserwowanych wartości $M$ przewyższających $x$ wynosi $N-k$, zatem średni odstęp czasu pomiędzy tymi wartościami wyraża się przez:

$$\frac{N}{N-k} = \frac{1}{1 - \frac{k}{N}} \xrightarrow[N\to\infty]{} \frac{1}{1 - G(x)} = T(x) \tag{12}$$

Drugą charakterystyczną wartością w ocenie powtarzalności dużych wstrząsów jest $\max(t)$, tj. logarytm energii, której z prawdopodobieństwem 0,99 nie przewyższy najsilniejszy wstrząs, np. tygodniowy, na przestrzeni $t$ tygodni obserwacji.

Prawdopodobieństwo, że logarytm maksymalnej tygodniowej energii wstrząsu nie przewyższy $x$ w ciągu $t$ tygodni wynosi na mocy niezależności obserwacji:

$$P\{M_1 < x, \; M_2 < x, \ldots, M_t < x\} = \prod_{i=1}^{t} P\{M_i < x\} = [G(x)]^t.$$

Zatem poszukiwana wartość logarytmu energii jest rozwiązaniem ze względu na $x$ równanie

$$[G(x)]^t = 0{,}99.$$

Jeśli $G(x)$ oznacza dystrybuantę pierwszego rozkładu Gumbela otrzymuje się:

$$x = \max(t) = b - \frac{1}{a} \ln\left(-\frac{\ln 0{,}99}{t}\right). \tag{13}$$

odpowiednio dla trzeciego rozkładu:

$$x = \max(t) = \omega - \left(- \frac{\ln 0{,}99}{t \cdot e^{b}}\right)^{\frac{1}{a}}. \tag{14}$$

## 3. UZYSKANE WYNIKI I ICH ANALIZA

W pracy przeprowadzono analizę powtarzalności dużych wstrząsów, w oparciu o pierwszy i trzeci rozkład Gumbela, w wybranych rejonach niecki bytomskiej. Rozważano następujące obszary i okresy obserwacji:

I. Obszar KWK "Szombierki"
w okresie 1979-1982 - 179 tygodni obserwacji,

II. Obszar KWK "Dymitrow"
w okresie 1979-1983 - 226 tygodni obserwacji,

III. Obszar KWK "Powstańców Śląskich"
w okresie 1979-1980 - 99 tygodni obserwacji.

Dla każdego z rozważanych obszarów wyznaczono parametry pierwszego rozkładu Gumbela i wynikające z niego średnie czasy powrotu T(6), T(7), T(8), T(9), T(10) oraz max (250); wyniki zestawiono w tablicy 1.

Dla obszarów II, III dokonano powyższych wyliczeń przy użyciu trzeciego rozkładu Gumbela - tablica 2.

Tablica 1

Charakterystyki powtarzalności wstrząsów w analizowanych rejonach wg pierwszego rozkładu Gumbela

| Obszar | I | II | III |
|---|---|---|---|
| a | 1.22 ± 0.04 | 2.13 ± 0.09 | 2.01 ± 0.06 |
| b | 5.36 ± 0.23 | 5.64 ± 0.28 | 4.35 ± 0.14 |
| T(6) | 3 | 3 | 28 |
| T(7) | 8 | 19 | 204 |
| T(8) | 25 | 152 | 1516 |
| T(9) | 84 | 1277 | 11293 |
| T(10) | 282 | 10741 | 84157 |
| max (250) | 13.89 | 10.39 | 9.39 |

Tablica 2

Charakterystyki powtarzalności wstrząsów
w rejonach II, III wg trzeciego rozkładu Gumbela

| Obszar | II | III |
|---|---|---|
| a | 6.19 ± 0.15 | 23.95 ± 0.64 |
| b | -8.15 ± 0.16 | -60.49 ± 1.59 |
| ω | 9.35 | 16.83 |
| T(6) | 3 | 32 |
| T(7) | 18 | 321 |
| T(8) | 553 | 4188 |
| T(9) | 2492093 | 74531 |
| T(10) | - | 1967123 |
| max (250) | 8.62 | 8.63 |

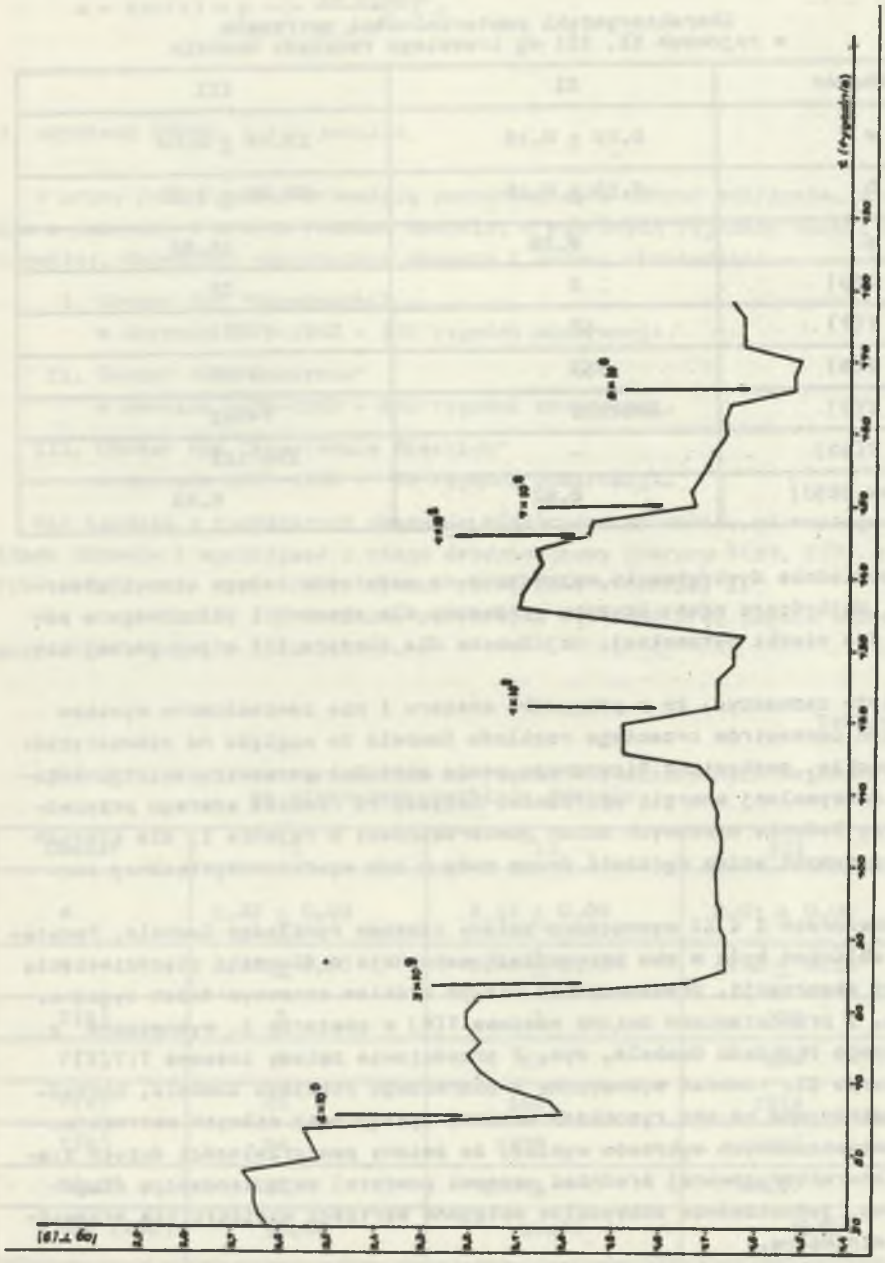
Odpowiednie dystrybuanty wyznaczono na podstawie całego okresu obserwacji. Najkrótsze czasy powrotu otrzymano dla obszaru I położonego w pobliżu dna niecki bytomskiej, najdłuższe dla obszaru III w jej górnej części.

Należy zaznaczyć, że w przypadku obszaru I nie zamieszczono wyników obliczeń parametrów trzeciego rozkładu Gumbela ze względu na niewiarygodnie wysokie, pozbawione fizycznego sensu wartości parametru ω, tj. logarytmu maksymalnej energii wstrząsów. Dotyczy to również szeregu przypadków przy badaniu czasowych zmian powtarzalności w rejonie I, dla których w histogramach można wyróżnić drugą modę w ich wysokoenergetycznej części.

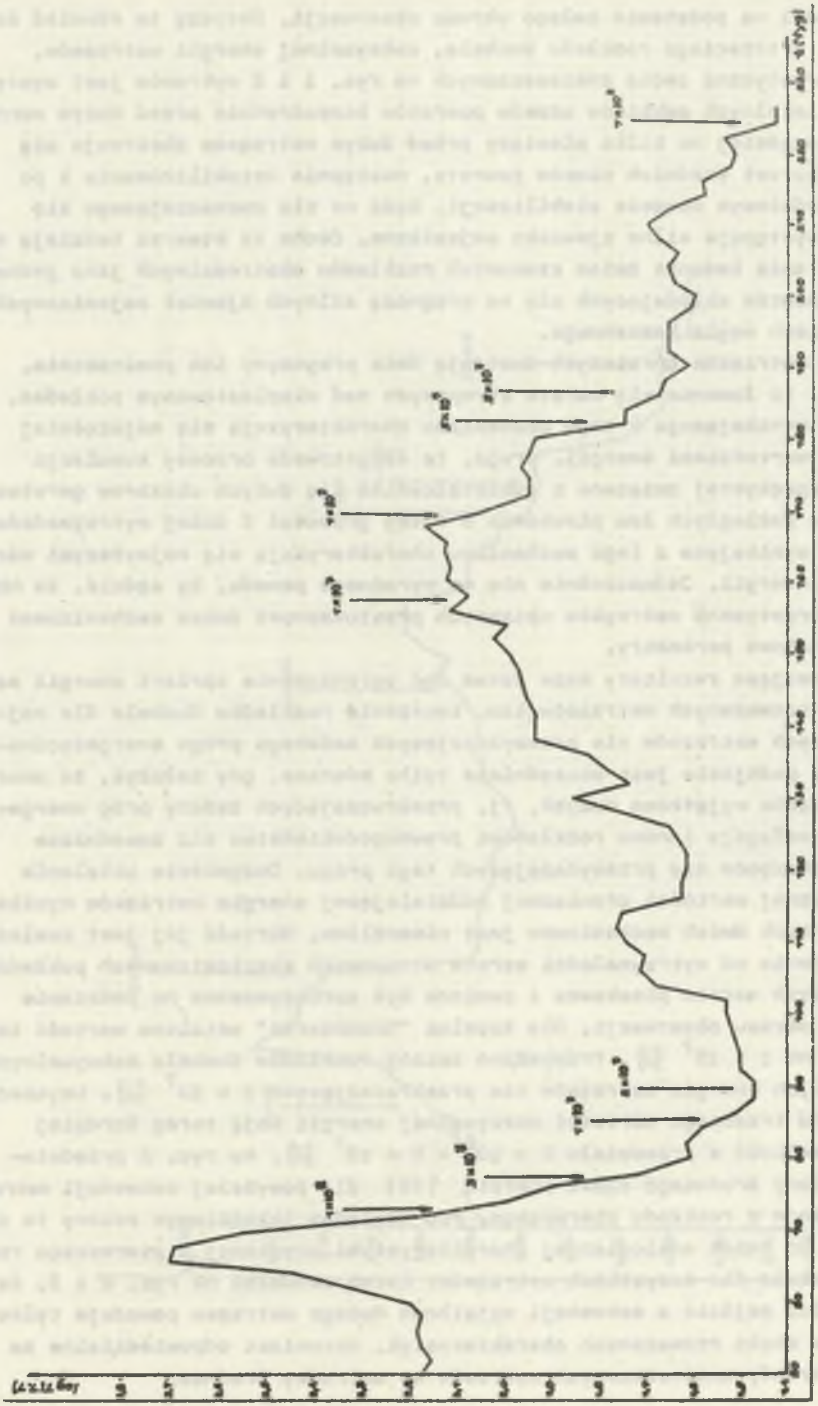
W obszarach I i II wyznaczono zmiany czasowe rozkładów Gumbela. Podstawę do obliczań była w obu przypadkach sekwencja o długości pięćdziesięciu tygodni obserwacji, przesuwana ze stałym krokiem czasowym dwóch tygodni. Na rys. 1 przedstawiono zmiany czasowe T(9) w obszarze I, wyznaczone z pierwszego rozkładu Gumbela. Rys. 2 przedstawia zmiany czasowe T(7.7) w obszarze II, również wyznaczone z pierwszego rozkładu Gumbela. Strzałkami zaznaczono na obu rysunkach momenty wystąpienia silnych wstrząsów.

Z zamieszczonych wykresów wynika, że zmiany powtarzalności dużych zjawisk (charakteryzowanej średnimi czasami powrotu) mają tendencję długookresową, jednocześnie maksymalne osiągane wartości wielokrotnie przewyższają minimalne.

Wobec powyższego ocena powtarzalności dużych zjawisk sejsmicznych w rejonie aktywnym powinna zawierać analizę jej zmian w czasie, jako informację o możliwych długotrwałych odstępstwach od określonej jednorazowo pow-




Rys. 1. Zmiany czasowe T(9) dla obszaru I

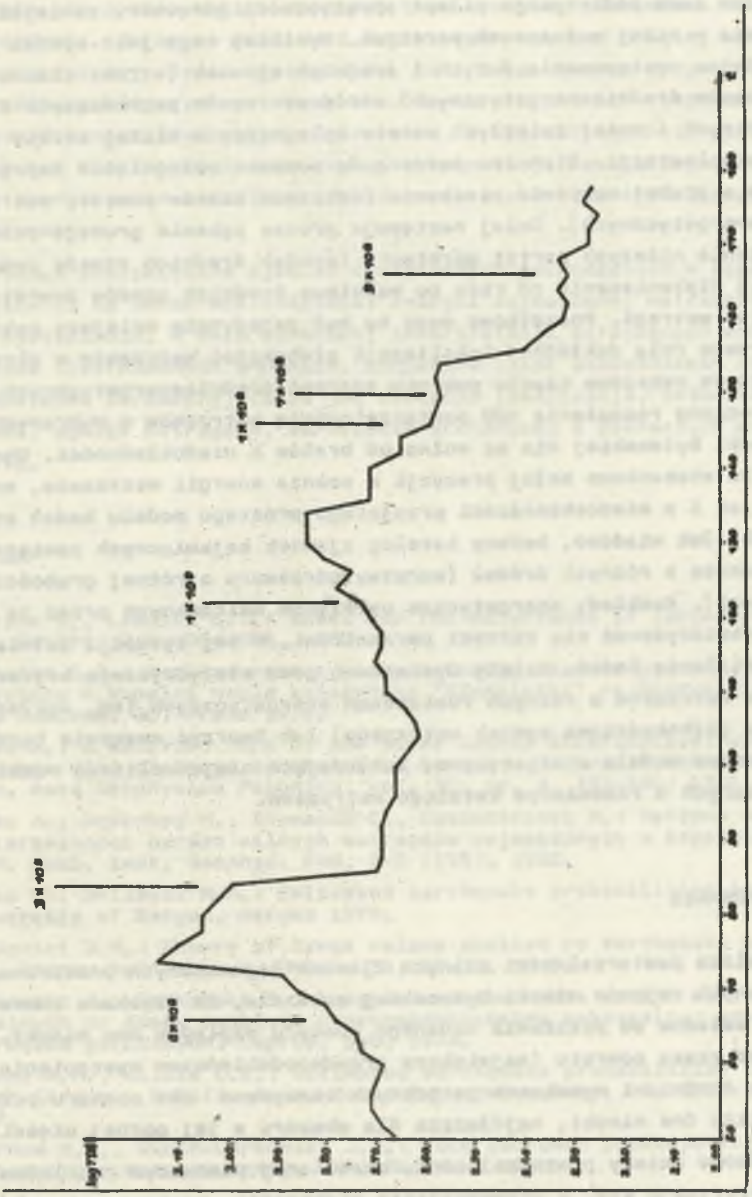


Rys. 2. Zmiany czasowe T(7.7) dla obszaru II

tarzalności na podstawie całego okresu obserwacji. Dotyczy to również szacowania, z trzeciego rozkładu Gumbela, maksymalnej energii wstrząsów. Charakterystyczną cechą zamieszczonych na rys. 1 i 2 wykresów jest występowanie lokalnych maksimów czasów powrotów bezpośrednio przed dużym wstrząsem. Najczęściej na kilka miesięcy przed dużym wstrząsem obserwuje się wyraźny wzrost średnich czasów powrotu, następnie ustabilizowanie i po kilkutygodniowym okresie stabilizacji, bądź na tle zaznaczającego się spadku, występuje silne zjawisko sejsmiczne. Cecha ta stwarza nadzieję na wykorzystanie badania zmian czasowych rozkładów ekstremalnych jako jednego z elementów składających się na prognozę silnych zjawisk sejsmicznych w kopalniach węgla kamiennego.

Wśród wstrząsów górniczych dominują dwie przyczyny ich powstawania. Pierwsza, to łamanie się warstw stropowych nad eksploatowanym pokładem. Wstrząsy wynikającego z tego mechanizmu charakteryzują się najczęściej średnimi wartościami energii. Druga, to długotrwałe procesy kumulacji energii sprężystej związane z odkształcaniem się dużych obszarów górotworu, w tym rozległych ław piaskowca o dużej grubości i dużej wytrzymałości. Wstrząsy wynikające z tego mechanizmu charakteryzują się najwyższymi wartościami energii. Jednocześnie nie ma wyraźnego powodu, by sądzić, że rozkłady energetyczne wstrząsów opisanych przytoczonymi dwoma mechanizmami mają jednakowe parametry.

Interesujące rezultaty może zatem dać ograniczenie apriori energii maksymalnej rozważanych wstrząsów,tzn. tworzenie rozkładów Gumbela dla najsilniejszych wstrząsów nie przewyższających zadanego progu energetycznego. Takie podejście jest uzasadnione tylko wówczas, gdy założyć, że energie wstrząsów wyjątkowo dużych, tj. przekraczających zadany próg energetyczny, podlegają innemu rozkładowi prawdopodobieństwa niż zasadnicza liczba wstrząsów nie przewyższających tego progu. Oczywiście ustalenie jednoznacznej wartości granicznej oddzielającej energie wstrząsów wynikających z tych dwóch mechanizmów jest niemożliwe. Wartość jej jest uzależniona głównie od wytrzymałości warstw stropowych eksploatowanych pokładów oraz grubych warstw piaskowca i powinna być aproksymowana na podstawie długiego okresu obserwacji. Dla kopalni "Szombierki" ustalono wartość tego progu na $1 \times 10^7$ [J]. Przebadano zmiany rozkładów Gumbela maksymalnych tygodniowych energii wstrząsów nie przekraczających $1 \times 10^7$ [J]. Uzyskane z rozkładu trzeciego wartości maksymalnej energii mają teraz bardziej realną wielkość z przedziału $5 \times 10^6 - 5 \times 10^7$ [J]. Na rys. 3 przedstawiono zmiany średniego czasu powrotu T(8) dla powyższej sekwencji wstrząsów uzyskane z rozkładu pierwszego. Pod względem jakościowym zmiany te są zbliżone do zmian analogicznej charakterystyki uzyskanej z pierwszego rozkładu Gumbela dla wszystkich wstrząsów. Łatwo zauważyć na rys. 2 i 3, że wejście lub zejście z sekwencji wyjątkowo dużego wstrząsu powoduje tylko gwałtowne skoki rozważanych charakterystyk. Natomiast odpowiedzialne za powolne trendy zamieszczonych wykresów są wstrząsy średnie.




Rys. 3. Zmiany czasowe T(8) dla obszaru I (bez dużych wstrząsów)

Można próbować dać następujące wytłumaczenie obserwowanych rezultatów. Prowadzona głównie pod ławą piaskowca eksploatacja powoduje jej odkształcanie siłami pochodzącymi od wyższych partii górotworu. Jednocześnie odkształcana ława podtrzymuje siłami sprężystości górotwór, zmniejszając naprężenia w niżej położonych partiach. Wynikiem tego jest spadek prawdopodobieństwa występowania dużych i średnich zjawisk (wzrost czasów powrotu wstrząsów średnioenergetycznych) wśród wstrząsów pochodzących z pękania cieńszych i mniej zwięzłych warstw zalegających bliżej stropu prowadzonej eksploatacji. Stan ten narasta do momentu osiągnięcia naprężeń krytycznych w grubej warstwie piaskowca (maksimum czasów powrotu wstrząsów średnioenergetycznych). Dalej następuje proces pękania grubego piaskowca i dociążania niższych partii górotworu (spadek średnich czasów powrotu). Przy czym niekoniecznie od razu po maksimum średnich czasów powrotu następuje silny wstrząs. Początkowo mogą to być pojedyncze mniejsze pęknięcia, stąd ogromna rola dokładnej lokalizacji głębokości wstrząsów w okresie poprzedzającym maksimum czasów powrotu zdarzeń średnioenergetycznych.

Przytoczone rozważania nad powtarzalnością wstrząsów w wybranych rejonach niecki bytomskiej nie są wolna od braków i niedokładności. Wynika to zarówno ze stosunkowo małej precyzji w ocenie energii wstrząsów, zwłaszcza dużych, jak i z niedoskonałości przyjętego prostego modelu badań statystycznych. Jak wiadomo, badany katalog zjawisk sejsmicznych zawiera wstrząsy pochodzące z różnych źródeł (warstwy górotworu o różnej grubości i wytrzymałości). Rozkłady energetyczne wstrząsów emitowanych przez te źródła mogą charkateryzować się różnymi parametrami. W tej sytuacji istnieją dwie drogi uściślenia badań. Należy dysponować poza statystycznym kryterium oddzielenia wstrząsów o różnych rozkładach energetycznych (np. dokładna lokalizacja głębokościowa ognisk wstrząsów) lub tworzyć znacznie bardziej skomplikowane modele statystyczne, zakładające niejednolitość rozkładów energetycznych w rozważanym katalogu wstrząsów.

## 4. PODSUMOWANIE

1. Analiza powtarzalności silnych zjawisk sejsmicznych przeprowadzona dla wybranych rejonów niecki bytomskiej wykazała, że uzyskane charakterystyki są zależna od położenia badanego obszaru względem dna niecki. Najkrótsze czasy powrotu (największe prawdopodobieństwo występienia) wstrząsów średnio-i wysokoenergetycznych otrzymano dla obszaru położonego w pobliżu dna niecki, najdłuższe dla obszaru w jej górnej części.

2. Czasowe zmiany powtarzalności, określanej pierwszym rozkładem Gumbela charakteryzują się, w przeważającej większości, występowaniem lokalnych maksimów czasów powrotu przed dużym wstrząsem.

3. Parametr $\omega$ trzeciego rozkładu Gumbela, charakteryzujący maksymalną możliwą energię wstrząsu, jaki może wystąpić w badanym rejonie, w znacznej liczbie przypadków osiąga wartości zbyt wysokie, pozbawione fizycznego uzasadnienia. Związane jest to z pojawianiem się tam drugiej mody w wysokoenergetycznej części histogramów. To z kolei nasuwa wniosek o dwóch mechanizmach wywołujących wstrząsy w badanych przypadkach: łamanie się stropu zasadniczego oraz pękanie górotworu, w tym sztywnych ław piaskowca, na skutek nierównowagi wytworzonej eksploatacją na większym obszarze. Rozkłady energetyczne wstrząsów pochodzących z obu tych źródeł mogą miec różne parametry.

4. Badania statystyczne zjawisk dynamicznych zachodzących w kopalniach, bazują głównie na dwóch wielkościach: energii sejsmicznej wstrząsów i czasie ich wystąpienia. W celu właściwej interpretacji otrzymanych wyników, a zwłaszcza obserwowanych anomalii, konieczne jest uzupełnienie informacji o dodatkowe parametry, takie jak dokładna lokalizacja, zwłaszcza głębokościowa, ognisk wstrząsów, określenie mechanizmu z pierwszych wychylen fali P itp.

## LITERATURA


[1] Epstein B., Lomnitz C.: A model for the occurrence of large earthquakes, Nature, 211, 954-956, 1966.

[2] Gibowicz S.J.: Rozkład przestrzenny i zmiany czasowe powtarzalności wstrząsów w kopalni węgla kamiennego "Szombierki" na Górnym Śląsku. Acta Montana, 50, Praha 1979.

[3] Kijko A.: A modified form of the first Gumbel distribution: model for the occurence of large earthquakes. Part I - Derivation of distribution. Acta Geophysica Polonica, vol. 30, no. 4, 333-340, 1982.

[4] Kijko A., Dessokey M., Głowacka E., Kazimierczyk M.: Wstępna ocena powtarzalności bardzo silnych wstrząsów sejsmicznych w kopalniach LGOM, Publ. Inst. Geophys. PAN, M-5 (155), 1982.

[5] Kijko A., Sellevol M.A.: Estimated earthquake probabilities in Norway, University of Bergen, Bergen 1978.

[6] Nordquist J.M.: Theory of large values applied to earthquake magnitudes, Trans. Am. Geophys. Union, 26, 29-31, 1945.

[7] Oczkowicz J., Szukalski S.: Przykład zastosowania teorii wartości skrajnych do oceny rozkładu prawdopodobieństwa maksymalnej energii wstrząsów górniczych, Cuprum, 5-6, 1974.

[8] Shacal A.F., Willis O.E.: Estimated earthquake probabilities in the North Circum - Pacific Area, Bull. Seism. Soc. Am., 62, 1397-1410, 1972.

[9] Smirnow N.B., Dunin-Barkowski J.W.: Kurs rachunku prawdopodobienstwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1969.


Recenzent: Doc. dr inż. Zofia WIERZCHOWSKA

Wpłynęło do Redakcji w lipcu 1984 r.

ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ СОТРЯСЕНИЙ В РАЙОНЕ БЫТОМСКОЙ МУЛЬДЫ

Р е з ю м е

В работе дан анализ горных сотрясений зарегистрированных в выбранных районах шахт каменного угля "Шомберки", "Дымитров" и "Повстаньцов Шьлёнских" за период от 1979 до 1983 г. Для оценки повторяемости больших сотрясений применено первое и третье распределение Гумбела. Показана зависимость вероятности выступания больших сотрясений от места нахождения территории относительно дна Бытомской мульды. Приведён также анализ изменений распределений Гумбела во времени на территории шахт "Шомберки" и "Дымитров" с точки зрения исследования аномалий связанных с мощными сейсмическими явлениями.

TEMPORARY CHANGES IN RECURRENCE OF TREMORS FROM THE BYTOM TROUGH REGION

S u m m a r y

Mining tremors recorded in selected regions of the "Szombierki", "Dymitrow" and "Powstanców Śląskich" coal mines over the period from 1979 to 1983 have been analyzed. For an assesment of recurrence of large tremors, the first and third Gumbel distributions have been used. A relationship between the probability of occurence of large tremors and the location of the area towards the bottom of the trough has been found. Also, an analysis of changes in Gumbel distribution with time in the area of the "Szombierki" and "Dymitrow" coal mines has been conducted in view of studying the anomalies connected with strong seismic phenomena.