

Wacław M. ZUBEREK

Uniwersytet Śląski

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA ASYMPTOTYCZNYCH ROZKŁADÓW
WARTOŚCI EKSTREMALNYCH DO OCENY PRAWDOPODOBIEŃSTWA
WYSTĘPOWANIA WSTRZĄSÓW INDUKOWANYCH EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Streszczenie. Zakładając, że rozkład lokalnej wytrzymałości w danej objętości skały podlega asymptotycznemu rozkładowi wartości minimalnych Gumbela trzeciego typu (równanie 4b) i przyjmując zależność Griffitha między wytrzymałością i długością pęknięcia (5), wyprowadzono, że rozkład długości pęknięć i rozkład energii sejsmicznej wstrząsów jest rozkładem wartości maksymalnych Gumbela drugiego typu. Analiza sejsmiczności obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego za okres 1982-1984 wykazuje, że dystrybuantę empiryczną można aproksymować asymptotycznym rozkładem Gumbela drugiego typu. Aproksymacja byłaby jednak znacznie lepsza, gdyby przyjęć bimodalność rozkładu wstrząsów. Może to sugerować, że nejsilniejsze z nich (o energii $> 10^8$ J) są generowane przez odprężny mechanizm.

1. WSTĘP

Można przyjąć, że wystąpienie wstrząsu w górotworze uwarunkowane jest zaistnieniem najmniej sprzyjających okoliczności, do których zwykle zaliczamy maksymalne naprężenia i lokalnie najmniejszą wytrzymałość. Jeśli założymy, że zarówno rozkład naprężeń, jak i rozkład wytrzymałości mają charakter losowy, to wydaje się obiecujące wykorzystanie statystycznej teorii wartości ekstremalnych (wyrazów skrajnych) do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia tych zjawisk. Teoria ta zajmuje się bowiem oceną prawdopodobieństwa występowania zdarzeń w tzw. ogonach rozkładów, czyli wartości minimalnych lub maksymalnych zmiennych losowych.

Występowanie wartości maksymalnych (jak i minimalnych) można rozpatrywać jako nową zmienną losową, której rozkład zależy od typu i parametrów rozkładu początkowego zmiennej losowej, jak i wielkości badanej próby. Przy dużym rozmiarze badanej próby rozkład ten zwykle zmierza do rozkładu asymptotycznego.

Gumbel [1, 2] wyprowadził trzy typy asymptotycznych rozkładów wartości ekstremalnych (maksymalnych lub minimalnych) dla stosunkowo szerokiej klasy rozkładów początkowych zmiennych losowych.

Rozkład asymptotyczny wartości maksymalnych pierwszego typu wyprowadzono dla zmiennych losowych o rozkładach: wykładniczym, normalnym, gamma

(Pearsona trzeciego typu) lub logarytmiczno-normalnym. Dystrybuanta prawdopodobieństwa wartości maksymalnych ma wówczas postać:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\left\{-\exp[-k_1(x - v_1)]\right\} \quad (1)$$

gdzie $k_1 > 0$; v_1 - parametry rozkładu.

Dla zmiennych losowych o początkowym rozkładzie typu Cauchy lub Pareto, Gumbel [1] wyprowadził asymptotyczną dystrybuantę drugiego typu, czyli:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\left[-\left(\frac{v_2 - x}{x - \xi}\right)^{k_2}\right] \quad (2)$$

gdzie $k_2 > 0$; $x > \xi \geq 0$; $v_2 > \xi$.

Jeśli zmienna losowa posiada kres górny, co oznacza, że istnieje pewna wartość ω , której zmienna nie może przekroczyć, wówczas dystrybuanta asymptotyczna należy do trzeciego typu i przedstawia się następująco:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp\left[-\left(\frac{\omega - x}{\omega - v_3}\right)^{k_3}\right] \quad (3)$$

gdzie $x < \omega$; $v_3 < \omega$; $k_3 > 0$, ω , v_3 , k_3 - parametry rozkładu.

Analogicznie wyprowadzono trzy typy asymptotycznych dystrybant wartości minimalnych [1, 2].

Jak wynika z badań [2, 3, 4, 5], asymptotyczna dystrybuanta wartości minimalnych trzeciego typu jest bardzo często wykorzystywana przy opisie rozkładów różnych mechanicznych właściwości skał, a w szczególności wytrzymałości na rozciąganie, wytrzymałości na ściskanie, zniszczenia zmęczeniowego itp. Przedstawia się ona następująco:

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - \epsilon}{v - \epsilon}\right)^k\right] \quad (4)$$

gdzie $x > \epsilon \geq 0$; $v > \epsilon$; $k > 0$.

Parametry dystrybuanty k , v , ϵ określają kształt i przebieg rozkładu i zależą od typu i parametrów rozkładu początkowego zmiennej losowej.

2. MODEL TEORETYCZNY

Szczególnym przypadkiem asymptotycznego rozkładu wartości minimalnych trzeciego typu jest rozkład Weibulla często używany w geotechnice do opisu rozkładu wytrzymałości skał [4]. Przyjmuje się wówczas, że zniszczenie skały zachodzi zgodnie z modelem najsłabszego ogniwa, tzn. że zniszczenie danej objętości skały V przy naprężeniu σ zachodzi wówczas, gdy lokalnie wytrzymałość skały x będzie mniejsza lub równa naprężeniu σ :

$$F(\sigma) = P(x \leq \sigma) = 1 - \exp\left[-\frac{V}{V_0} \left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0 - \sigma_u}\right)^k\right] \quad (4a)$$

gdzie σ_u , σ_0 , k - parametry rozkładu określające własności górotworu.

$$\sigma > \sigma_u \geq 0$$

$$\sigma_0 > \sigma_u$$

$$k > 0$$

$$V = nV_0$$

V_0 - elementarna objętość skały.

W takim przypadku parametr σ_u można interpretować jako pewną graniczną (minimalną) wytrzymałość skały, poniżej której zniszczenie nie zachodzi, σ_0 jest naprężeniem, przy którym prawdopodobieństwo zniszczenia jednostkowej objętości skały wynosi 0,63 ($\sigma = \sigma_0$; $V = V_0$, zatem $F(\sigma) = 0,63$), a parametr k zależy od rozkładu mikropęknięć i pęknięć w ośrodku skalnym [3].

Wyznaczenie wszystkich trzech parametrów rozkładu może być kłopotliwe, dlatego zwykle ogranicza się ich liczbę do dwóch, przyjmując np. $\sigma_u = 0$. Założenie to w rozważaniach ogólnych nie ma większego znaczenia, gdyż parametr σ_u powoduje jedynie przesunięcie rozkładu zmiennej losowej wzdłuż osi odciętych, nie zmieniając jego kształtu.

Założmy zatem, że rozkład wytrzymałości danej objętości górotworu V składającej się z n elementarnych objętości V_0 określony jest asymptotycznym rozkładem wartości minimalnych Gumbela trzeciego typu (rozkładem Weibulla) w postaci:

$$F(\sigma) = P(x \leq \sigma) = 1 - \exp \left[- \frac{V}{V_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^k \right] \quad (4b)$$

$$k > 0; \quad V > 0.$$

Założmy także, że lokalna wytrzymałość górotworu x jest określona długością istniejącego w niej największego pęknięcia $2c$, a funkcijną zależność określa zmodyfikowany wzór Griffitha [6]:

$$Y_0 \sigma (\chi c)^{1/2} = \text{const} = K_N \quad (5)$$

gdzie:

K_N - współczynnik intensywności naprężeń dla różnych typów zniszczenia ($N = I$ przy rozrywaniu, $N = II$ przy ścinaniu poprzecznym, $N = III$ przy ścinaniu podłużnym),

Y_0 - współczynnik geometryczny, który zależy od rozmiaru pęknięcia, jak i geometrii obciążanej skały.

Jeśli założymy ponadto, że pęknięcia w górotworze występują losowo i nie ma wzajemnego wpływu między pęknięciami, wówczas połowę długości pęknięcia możemy rozpatrywać jako zmienną losową Y .

Wskutek zależności (5) dystrybuanta zmiennej losowej Y (długości pęknięcia) będzie związana z rozkładem zmiennej losowej X (wytrzymałością skały) związkiem:

$$F(c) = P(Y \leq c) = P(X > Ac^{-1/2}) = 1 - F^{(3)}(Ac^{-1/2}) \quad (6)$$

gdzie:

$$A = \frac{k_N}{\gamma_0 \pi^{1/2}}$$

Zachodzi bowiem związek:

$$P(Y \leq c) = P(X > \sigma) \quad (7)$$

Zależność (7) należy interpretować następująco: spadek długości pęknięcia wiąże się ze wzrostem wytrzymałości górotworu, tzn. że dystrybuancie długości pęknięć $F(c)$ odpowiada prawdopodobieństwo niezniszczenia górotworu, czyli prawdopodobieństwo, że lokalna wytrzymałość górotworu będzie większa od istniejących w nim naprężeń σ .

Podstawiając (4b) do (6) uzyskujemy:

$$F(c) = P(Y \leq c) = \exp \left[- \frac{\gamma}{\gamma_0} \left(\frac{Ac^{-1/2}}{\gamma} \right)^k \right] = \exp \left[- \left(\frac{u}{c} \right)^{k/2} \right] \quad (8)$$

gdzie:

$$u = \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^{2/k} A^2 \gamma^{-2}$$

Oznacza to, że przy tych założeniach dystrybuanta długości pęknięć jest asymptotycznym rozkładem wartości maksymalnych Gumbela drugiego typu.

Jeśli następnie przyjmiemy, że energia sejsmiczna E jest funkcyjnie związana z rozmiarem pęknięcia, np. w postaci:

$$E = Dc \quad (9)$$

gdzie:

$$D > 0; \quad \beta > 0 - \text{stałe współczynniki,}$$

to podstawiając (9) do (8) uzyskujemy dystrybuantę rozkładu maksymalnych energii wstrząsów w postaci:

$$F(E) = P(Z \leq E) = \exp\left[-\left(\frac{V_2}{E}\right)^{k_2}\right] \quad (10)$$

gdzie:

$$V_2 = u^{\beta} D$$

$$k_2 = \frac{k}{2\beta}$$

Podobnie jak dystrybuenta długości pęknięć (8) dystrybuenta energii sejsmicznych wstrząsów (10) jest także asymptotycznym rozkładem wartości maksymalnych Gumbela drugiego typu.

W oparciu o przedstawiony powyżej statystyczny model pęknięcia skał można powiązać rozkład energii wstrząsów z rozkładem wytrzymałości górotworu i długości występujących w nim pęknięć.

3. ANALIZA ROZKŁADU ENERGII NAJSILNIEJSZYCH WSTRZĄSÓW Z REJONU GZW

Wcześniej prowadzone prace [7, 8, 9, 10, 11] pozwalają założyć, że do opisu rozkładu energii najsilniejszych wstrząsów indukowanych eksploatacją górnictwem można wykorzystać asymptotyczny rozkład wartości maksymalnych Gumbela drugiego typu. Nie jest to jednakże jedyne rozwiązanie, gdyż można również stosować inne rozkłady, jak np. rozkład wartości maksymalnych Gumbela trzeciego typu, a także inne rozkłady [12, 13, 14, 15, 16].

Przeanalizujemy zatem na przykładzie sejsmiczności (bez ROW) Górnośląskiego Zagłębia Węglowego za okres 1982-1984, który z rozkładów wartości maksymalnych Gumbela najlepiej opisuje obserwacje. Analizę najsilniejszych wstrząsów ($E \geq 1 \times 10^5$ J) sporządzono w oparciu o archiwum Głównego Instytutu Górniczego [11]. Aby wydzielić typ rozkładu asymptotycznego, zastosowano metodę Jenkinsona [2], w której dystrybuenty wartości maksymalnych wszystkich trzech typów sprowadza się do postaci:

$$F(E) = \exp[-\exp(-y)] \quad (11)$$

gdzie:

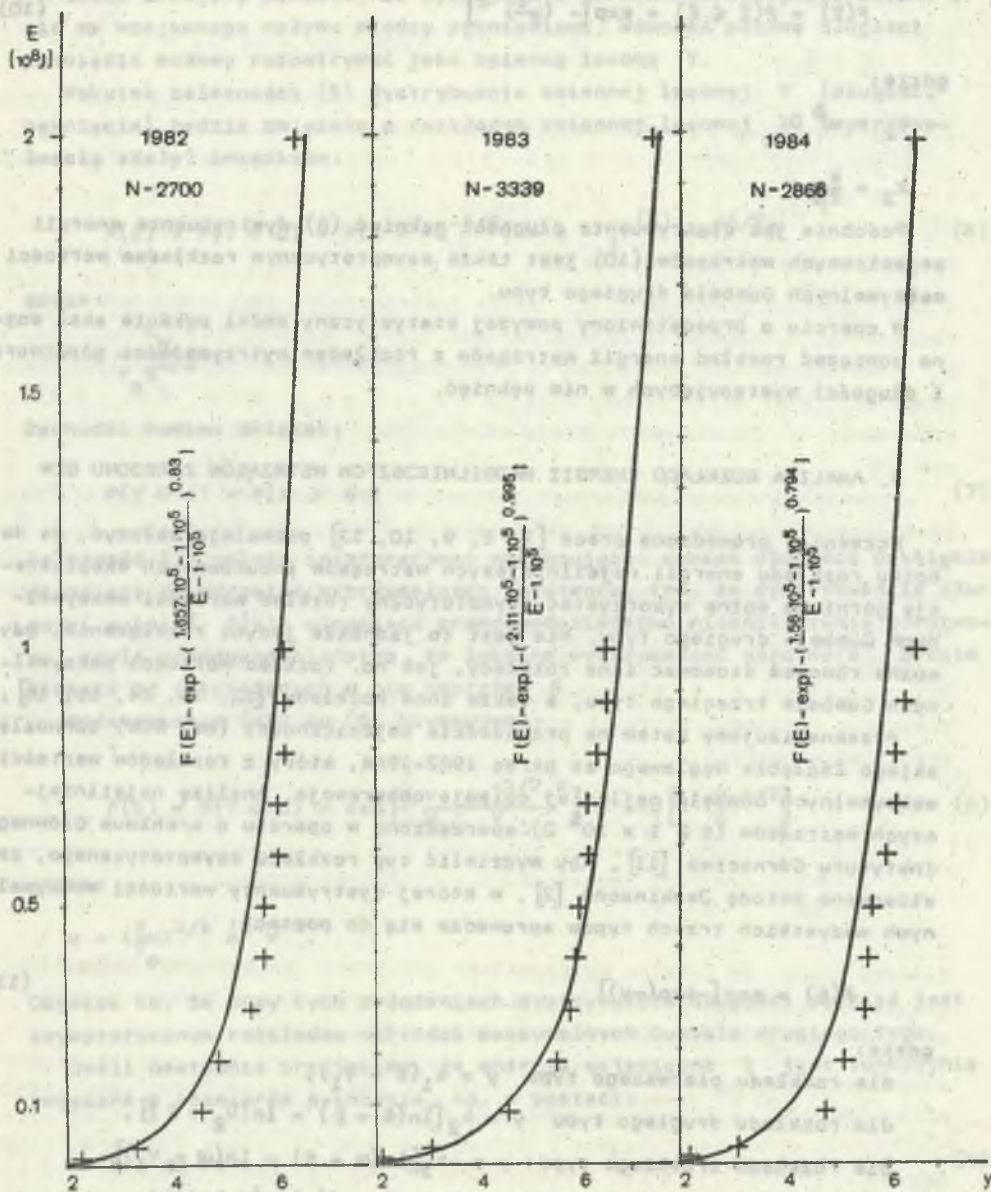
$$\text{dla rozkładu pierwszego typu } y = k_1(E - V_1),$$

$$\text{dla rozkładu drugiego typu } y = k_2[\ln(E - \xi) - \ln(V_2 - \xi)],$$

$$\text{dla rozkładu trzeciego typu } y = -k_3[\ln(\omega - E) - \ln(\omega - V_3)].$$

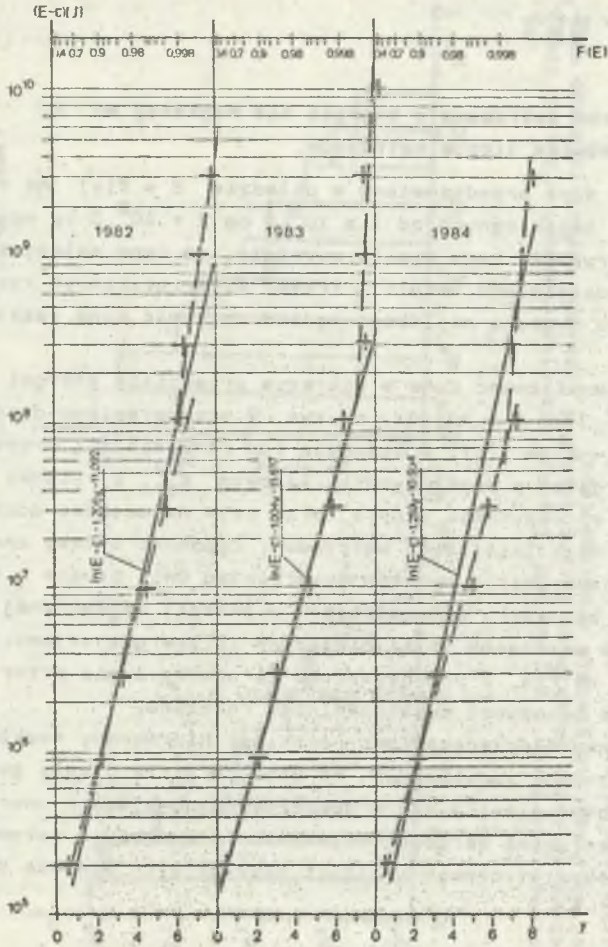
Określając następnie kształt zależności $E = f(y)$ (w której $y = -\ln[-\ln F(E)]$) można rozróżnić typ rozkładu, gdyż dla rozkładu Gumbela pierwszego typu zależność ta jest liniowa, dla typu drugiego wypukła w dół, a dla typu trzeciego wypukła w górę [2, 7, 8].

Dystrybuentę empiryczną określano w oparciu o dane z archiwum Głównego Instytutu Górniczego jako:



Rys. 1. Dystrybuanty $F(E)$ energii sejsmicznej wstrząsów ($E \geq 1 \times 10^5$ J) z rejonu GZW (bez ROW) zarejestrowanych w latach 1982, 1983 i 1984 przedstawiono w układzie $E = f(y)$, gdzie $y = -\ln[-\ln F(E)]$

Fig. 1. Distribution functions $F(E)$ of the tremors seismic energy ($E \geq 1 \times 10^5$ J) from the Upper Silesia Coal Basin (without the Rybnik Coal District) registered in the years 1982, 1983 and 1984 have been presented in the system $E = f(y)$, where $y = -\ln[-\ln F(E)]$



Rys. 2. Dystrybuanty $F(E)$ energii sejsmicznej wstrząsów ($E \geq 1 \times 10^5$ J) z rejonu GZW (bez ROW) zarejestrowanych w latach 1982, 1983 i 1984 przedstawione w układzie $\ln(E - \varepsilon) = f(\gamma)$ gdzie $\gamma = -\ln[-\ln F(E)]$. (Linia ciągłą zaznaczono wykres dopasowanej dystrybuanty rozkładu asymptotycznego Gumbela drugiego typu, linią przerywaną proponowane dopasowanie, oddzielnie dla wstrząsów słabszych i najsilniejszych)

Fig. 2. Distribution functions $F(E)$ of the tremors seismic energy ($E \geq 1 \times 10^5$ J) from the region of Upper Silesia Coal Basin (without Rybnik Coal District) registered in the years 1982, 1983 and 1984, presented in the system $\ln(E - \varepsilon) = f(\gamma)$, where $\gamma = -\ln[-\ln F(E)]$. With a continuous line is marked the diagram of the matched distribution function of Gumbel asymptotic distribution of the second type, with a broken line - the proposed matching, separately for the weaker and the strongest tremors

$$F(E) = \frac{N_1}{N + 1} \quad (12)$$

gdzie:

N_1 - liczba wstrząsów o energii nie większej od E ,

N - całkowita liczba wstrząsów.

Uzyskane dane przedstawiono w układzie $E = f(y)$ na rys. 1 w zakresie energii sejsmicznych od 1×10^6 J do 2×10^8 J ze względu na skalę rysunku. Z rysunku tego wynika wyraźnie, że dane należy aproksymować funkcją wypukłą w dół, czyli z trzech asymptotycznych rozkładów wartości maksymalnych Gumbela najlepiej będzie opisywać dane rozkładu drugiego typu.

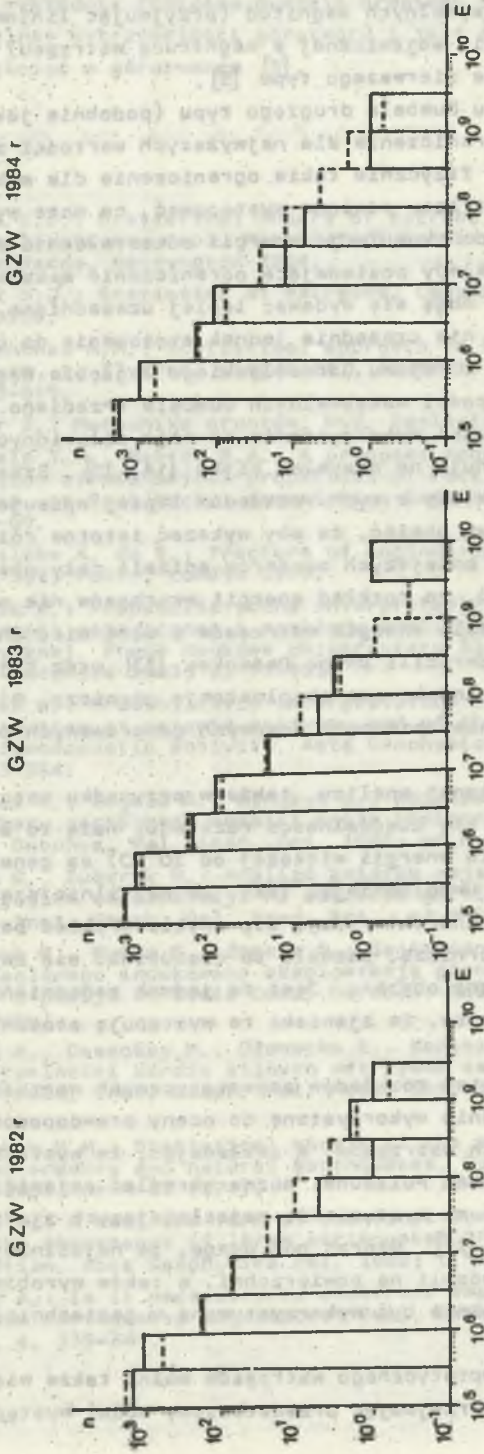
Aby przeanalizować dane w szerszym przedziale energii sejsmicznych (od 1×10^5 J do 1×10^9 J), na rys. 2 przedstawiono dystrybuanty w układzie $\ln(E - \xi) = f(y)$. W układzie tym równanie (2) przekształca się w równanie prostej o współczynniku kątowym k_2^{-1} . Z rysunku 2 wynika, że dane można aproksymować prostą, przy czym największe odchylenie obserwuje się dla najsilniejszych wstrząsów. Zgodność byłaby znacznie lepsza, gdyby do aproksymacji wyników wykorzystać dwie proste o różnych współczynnikach kątowych: dla wstrząsów o energii sejsmicznej mniejszej od 10^6 J i dla wstrząsów najsilniejszych (o energii sejsmicznej większej od 10^8 J), co na rys. 2 przedstawiono za pomocą linii przerywanych. Fakt powyższy może wskazywać na bimodalność rozkładu.

Na rysunku 3 przedstawiono natomiast histogramy rozkładu energetycznej sejsmiczności indukowanej, na których linią ciągłą zaznaczono obserwowane liczebności wstrząsów w poszczególnych klasach energii sejsmicznej, a linią przerywaną wartości oczekiwane w oparciu o estymowane parametry rozkładu asymptotycznego wartości maksymalnych Gumbela drugiego typu [1].

4. Dyskusja wyników i wnioski

Rozróżnienie typu rozkładu asymptotycznego opisującego dane pomiarowe z wysokim poziomem ufności w przypadku niewielkiej liczby danych doświadczalnych może być bardzo trudne, a czasem wręcz niemożliwe [3]. Oznacza to, że przy większym rozrzucie wyników, wywołanym na przykład małą dokładnością określania energii sejsmicznej, można do opisu dystrybuanty wykorzystywać różne typy rozkładów asymptotycznych. W takim przypadku do opisu danych powinno się wybierać typ rozkładu, który najlepiej uzasadniony jest teoretycznie.

W referacie przedstawiony został prosty model teoretyczny uzasadniający przyjęcie drugiego rozkładu asymptotycznego Gumbela do opisu rozkładu maksymalnych energii sejsmicznych wstrząsów. Można wykazać, że dla najwyższych energii sejsmicznych rozkład energetyczny wstrząsów będzie wówczas zmierzał do powszechnie akceptowanego w sejsmologii rozkładu hiper-



Rys. 3. Histogramy rozkładu energetycznego wrażeń z regionu GZW (bez ROW) zarejestrowanych w latach 1982, 1983 i 1984. (Linie przerywane zaznaczono wartości oczekiwane liczebności dla rozkładu asymptotycznego wartości maksymalnych Gumbela drugiego typu)

Fig. 3. Histograms of the energy distribution of tremors from the Upper Silesia Coal Basin (without Rybnik Coal District), registered in the years 1982, 1983 and 1984. (With a broken line are marked the expected values for Gumbel asymptotic distribution of the maximum values, of the second type)

bolicznego, a rozkład maksymalnych magnitud (przyjmując liniową zależność pomiędzy logarytmem energii sejsmicznej a magnitudą wstrząsu) do rozkładu asymptotycznego Gumbela pierwszego typu [9].

Niedogodnością rozkładu Gumbela drugiego typu (podobnie jak i pierwszego typu) jest brak ograniczenia dla najwyższych wartości zmiennej losowej. Wiemy bowiem, że fizycznie takie ograniczenie dla maksymalnych energii (lub magnitud) wstrząsu powinno występować, co może wynikać, np. z ograniczonej zdolności do akumulacji energii odkształcenia w górotworze. Pod tym względem rozkłady posiadające ograniczenia maksymalnych wartości zmiennej losowej mogą się wydawać lepiej uzasadnione.

Przeprowadzona analiza nie uzasadnia jednak stosowania do opisu maksymalnych energii wstrząsów z rejonu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego rozkładu asymptotycznego wartości maksymalnych Gumbela trzeciego typu. Nie wyklucza to jednak możliwości wykorzystania do tego celu innych rozkładów asymptotycznych, co proponuje na przykład Kijko [14, 15]. Szczegółowe badania powinny wykazać, który z tych rozkładów lepiej opisuje dane rzeczywiste. Może się przy tym okazać, że aby wykazać istotne różnice, analizę należy ograniczyć do mniejszych obszarów aniżeli cały obszar GZW.

Należy także podkreślić, że rozkład energii wstrząsów nie musi być jednorodny w całym przedziale energii wstrząsów i może mieć charakter bimodalny, na co wcześniej zwrócili uwagę Dessokey [13] oraz Kijko et al [16], analizując wstrząsy indukowane eksploatacją górnictwem. Bimodalność może wynikać z przemieszczenia zmiennych losowych generowanych przez dwa różne zjawiska fizyczne.

Jak wynika z przedstawionej analizy, także w przypadku wstrząsów z rejonu GZW można dopatrywać się bimodalności rozkładu. Może to sugerować, że najsilniejszym z nich (o energii większej od 10^8 J) są generowane przez odmienny mechanizm. Uwzględniając fakt, że najsilniejsze wstrząsy występujące w rejonie GZW charakteryzują się zwykle brakiem bezpośrednich powiązań z eksploatacją górnictwem, pozwala to doszukiwać się związków tych zjawisk z budową geologiczną obszaru. Jest to jednak zagadnienie trudne i czasochłonne ze względu na to, że zjawiska te występują stosunkowo rzadko i w różnych rejonach.

Badania nad wykorzystaniem rozkładów asymptotycznych wartości maksymalnych mogą być bezpośrednio wykorzystane do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia najsilniejszych wstrząsów, a zakładając, że występowanie tych zjawisk opisane jest procesem Poissona, można określać sejsmiczność obszaru lub czas oczekiwania na wystąpienie najsilniejszych zjawisk, co dla terenu GZW podano w pracy [11]. Biorąc pod uwagę, że najsilniejsze wstrząsy są powodem uszkodzeń budowli na powierzchni, a także wyrobisk pod ziemią, tego typu analiza powinna być wykorzystywana w geotechnice dla celów inżynierskich.

Parametry rozkładu asymptotycznego wstrząsów można także wiązać z właściwościami górotworu. Przyjmując przedstawiony model występowania

wstrząsów, wykładnik rozkładu Gumbela drugiego typu można wiązać z rozkładem lokalnej wytrzymałości górotworu i jest on wtedy miarą dyspersji rozkładu pęknięć w górotworze [3].

LITERATURA

- [1] Gumbel E.J.: Statistical theory of extreme values and some practical applications. Appl. Mathematics Series, nr 33, National Bureau of Standards, Waszyngton 1954.
- [2] Gumbel E.J.: Statistics of extremes. Columbia Univ. Press, Nowy Jork 1958.
- [3] Freudenthal A.M.: Statistical approach to brittle fracture. [w:] Fracture, t. II (red. Liebowitz), Academic Press, Nowy Jork 1968, s. 591-619.
- [4] Głazer Z.: Mechanika gruntów. Wyd. Geologiczne, Warszawa 1977.
- [5] Yegulalp T.M., Mahtab M.A.: A proposed model for statistical representation of mechanical properties of rock. w: Proc. of the 24th US Symp. on Rock Mech., Association Engineering Geologists, 1983, s. 61-69.
- [6] Jayatilaka A. de S.: Fracture of engineering brittle materials. Appl. Sci. Publ., Londyn 1979.
- [7] Zuberek W.: Probabilistyczne interpretacja rozkładu energetycznego aktywności sejsmicznej i rozkładu amplitudowego aktywności sejsmoakustycznej. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego nr 614, Geologia, t. 7, Katowice 1983, s. 77-91.
- [8] Zuberek W.: Probabilistic interpretation of the frequency - energy distribution of seismic activity and of the amplitude distribution of seismoacoustic activity. Acta Geophysica Pol. 1983; t. XXXI nr 4, s. 343-354.
- [9] Zuberek W., Żogała B., Kińczyk L.: Rozkład energetyczny wstrząsów z obszaru górniczego kopalni węgla kamiennego "Szombierki". Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci. 1985; nr M-6 (176), s. 357-375.
- [10] Sagan G., Zuberek W.: Analiza związku sejsmiczności z tektoniką i przebiegiem eksploatacji na obszarze górniczym kopalni "Polkowice". Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci., nr M-8 (w druku).
- [11] Zuberek W., Mutke G., Żogała B.: Sejsmiczność Górnośląskiego Zagłębia Węglowego indukowana eksploatacją górniczą. Materiały z Symp. Nauk. z okazji 10-lecia Oddz. Górnośl. Pols. Tow. Przyj. Nauk o Ziemi (w druku).
- [12] Kijko A., Dessokey M., Głowacka E., Kazimierczyk M.: Wstępna ocena powtarzalności bardzo silnych wstrząsów sejsmicznych w kopalniach LGOM. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci. 1982; nr M-5 (155), s. 131-144.
- [13] Dessokey M.M.: Statistical models of the seismic hazard analysis for mining tremors and natural earthquakes. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci. 1984; nr A-15 (174).
- [14] Kijko A.: A modified form of the first Gumbel distribution: model for the occurrence of large earthquakes. Part I - derivation of distribution. Acta Geophysica Pol. 1982; t. XXX, nr 4, s. 333-340.
- [15] Kijko A.: Is it necessary to construct empirical distributions of maximum earthquakes magnitudes? Bull. Seism. Soc. Am. 1984; t. 74, nr 1, s. 339-347.

- [16] Kijko A., Drzeźła B., Mendecki A.: Dlaczego rozkłady ekstremalnych zjawisk sejsmicznych w kopalniach mają charakter bimodalny? Acta Montana 1985; t. 71, s. 225-244.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Chmura

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АСИМПТОТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫСТУПАНИЯ СОТЯСЕНИЙ ИНДУЦИРОВАННЫХ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ

Резюме

Предполагая, что распределение локальной прочности для данного объема породы подчиняется асимптотическому распределению минимальных величин Гумбела третьего рода (уравнение 4б) и принимая зависимость Гриффиса между сопротивлением и длиной трещины [5] доказано, что распределение длины трещин и сейсмической энергии сотрясений подчиняются распределению максимальных величин Гумбела второго рода. Анализ сейсмичности территории ГУБ за период от 1982-1984 гг показывает, что эмпирическую функцию распределения можно аппроксимировать асимптотическим распределением Гумбела второго рода. Аппроксимация была бы гораздо лучше если бы принять бимодальность распределения сотрясений. Может это означать что самые сильные из них (с энергией 10^8 Дж) генерируются совсем другим механизмом.

POSSIBILITY OF APPLICATION OF ASYMPTOTIC DISTRIBUTIONS OF EXTREME VALUES FOR THE ASSESSMENT OF THE PROBABILITY OF OCCURRENCE OF TREMORS INDUCED BY MINING

Summary

Assuming that the distribution of the local strength in the given volume of rock is subject to Gumbel asymptotic distribution of the minimum values of the third type (equation 4b) and assuming Griffith's relation between strength and length of fracture [5], it has been derived that the distribution of the length of fractures and the distribution of the seismic energy of tremors is Gumbel distribution of the maximum values of the second type. Analysis of seismicity of the area of the Upper Silesia Coal Basin for the period 1982-1984 shows that the empirical distribution function may be approximated by the asymptotic Gumbel distribution of the second type. However, the approximation would be much better if bimodality of tremors distribution could be assumed. This may suggest that the strongest of them (of energy $> 10^8$ J) are generated by a different mechanism.