



Michał PIECHA*, Agnieszka KRZYŻANOWSKA*, Marta KOZAK*

Analiza zmian parametru b relacji Gutenberga-Richtera w czasie dla ściany 1 w pokładzie 506 w KWK „Bielszowice”

Streszczenie: W kopalniach na bieżąco wykonuje się ocenę stanu zagrożenia tąpnięciami opartą na metodzie kompleksowej za pomocą metod szczegółowych (sejsmologicznej, sejsmoakustycznej i wierceń małośrednicowych). W zaktualizowanej metodzie sejsmologii górniczej jednym z parametrów oceny zagrożenia sejsmicznego jest analiza zmian parametru b relacji Gutenberga-Richtera w czasie eksploatacji. W KWK „Bielszowice” eksploatacja prowadzona jest w warunkach zagrożenia tąpnięciami. Zagrożenie sejsmiczne przejawia się głównie w poziomie rejestrowanej aktywności sejsmicznej górotworu. W artykule przedstawiono zmiany współczynnika b relacji Gutenberga-Richtera dla ściany 1 w pokładzie 506 w kopalni „Bielszowice”. Wartość parametru b wyliczano na bazie ostatnich 20 wstrząsów z krokiem co jedna doba. Próbowano skorelować zmiany współczynnika b ze zmianami obserwowanego zagrożenia sejsmicznego. Małe wartości parametru b świadczą o wzroście naprężeń w górotworze i mogą prognozować wystąpienie silnych wstrząsów. Wartości współczynnika b większe od wyznaczonej wartości średniej tego współczynnika mogą wskazywać na brak lub słabe naprężenia w górotworze. Analiza trendu współczynnika b z relacji Gutenberga-Richtera ma na celu stworzenie bazy danych dla opracowania średnich wartości współczynnika dla obszaru górniczego Kopalni „Bielszowice”.

Słowa kluczowe: Relacja Gutenberg-Richter, parametr b

Analysis the b value of the Gutenberg-Richter relation during exploitation in the 506 coal seam by the longwall 1 in the Bielszowice Hard Coal Mine

Abstract: In hard coal mines, seismic hazard assessment is based on a complex evaluation of a set of geophysical and mining methods (seismology, seismoacoustic, drilling, rock-mass diagnosis). A new version of seismological methodology analyzes the b value of the Gutenberg-Richter relation for an assessment of seismic hazards

* KWK „Bielszowice”, Ruda Śląska

over time. In the Bielszowice hard coal mine extraction is conducted under a high level of rockburst hazard. This paper presents analysis of the b values of the Gutenberg-Richter relation during exploitation of the 506 coal seam by longwall panel No. 1 in the "Bielszowice" hard coal mine. The b -value was calculated in a sliding time window covering the last 20 seismic events. A low value of b can indicate areas of high stress within the rock mass, meaning the probability of large tremors there. Determination of the average b value for the Bielszowice mine can be used to analyze the seismic hazard for the next longwall panels during future operations.

Key words: Gutenberg-Richter relation, b value

Wprowadzenie

KWK „Bielszowice” prowadzi eksploatację w warunkach zagrożenia tąpnięciami. Przejawia się ono głównie w poziomie rejestrowanej aktywności sejsmicznej górotworu. Obszar górniczy kopalni „Bielszowice” został podzielony na Partię Centralną i Partię Borowa. W Partii Centralnej eksploatowane są pokłady grupy siodłowej, natomiast w Partii Borowa eksploatacja prowadzona jest w pokładach grupy rudzkiej.

W zaktualizowanej metodzie sejsmologii górniczej jednym z parametrów oceny zagrożenia sejsmicznego i zagrożenia tąpnięciami jest analiza zmian parametru b relacji Gutenberga-Richtera w czasie eksploatacji (Instrukcja GIG Nr 22 2012). Na podstawie zarejestrowanych wstrząsów przez kopalnianą stację geofizyki górniczej dokonywane będą obliczenia zmian współczynnika b . Analizy takie prowadzone będą dla poszczególnych ścian w danej partii obszaru górniczego kopalni. Odpowiednia ilość wykonanych analiz pozwoli na wyznaczenie średnich wartości współczynnika b dla Partii Centralnej i Partii Borowa w kopalni „Bielszowice”. Odchylenia wartości parametru b od wyznaczonej średniej wartości tego parametru mogą znaleźć zastosowanie w ocenie stanu zagrożenia tąpnięciami. Gdy wzrastają naprężenia w górotworze współczynnik b maleje i można się spodziewać wystąpienia silnych wstrząsów. Wartość współczynnika b , przekraczająca wartość średnią, wskazywać może na brak lub słabe przygotowanie górotworu do emisji silnych wstrząsów (Instrukcja GIG Nr 22 2012).

W artykule przeanalizowano zmienność tego parametru dla ściany 1 w pokładzie 506 w KWK „Bielszowice”. Eksploatację pokładu 506 w południowo-wschodniej części partii Centralnej zaplanowano dwiema ścianami podłużnymi z zawałem stropu, o kierunku wybierania ze wschodu na zachód. Ściana 1 prowadzona była od marca 2010 r. do maja 2012 r. Aktualnie pokład 506 eksploatowany jest przez ścianę 2. Zaprojektowana ściana 1 ograniczona była od strony wschodniej uskokiem I o zrzucie $h \sim 50$ m, od strony południowej uskokiem diagonalnym o zrzucie $h \sim 75-110$ m. Długość ściany 1 wahała się pomiędzy 285 m a 295 m, natomiast wybieg wynosił około 860 m. Zakończyła ona swój bieg na wschodniej granicy filara ochronnego dla przekopów głównych. Ściana 1 w pokładzie 506 zaliczona była do: IV kategorii zagrożenia metanowego, klasy B zagrożenia wybuchem pyłu węglowego, I stopnia zagrożenia wodnego oraz III stopnia zagrożenia tąpnięciami.

Pokład 506 w rejonie ściany 1 zalega na głębokości od 1015 m do 1055 m. Jego miąższość stwierdzona robotami górniczymi waha się od 1,4–1,65 m w rejonie zakończenia ściany, rośnie i w kierunku wschodnim wynosi około 2,5 m, przy czym na zachodzie pokład 506 połączony jest z pokładem 505/1. Rozciągłość pokładu przyjmuje kierunek

od SW-NE do WSW-ENE przy upadzie warstw od 5° do 12°. W stropie pokładu 506 zalega łupek ilasty przechodzący w łupek piaszczysty, lokalnie może występować piaskowiec. W spągu występuje cienka warstwa łupku ilastego, pod którą występuje łupek piaszczysty.

Na stan zagrożenia tapaniami na wybiegu ściany 1 miały wpływ następujące czynniki :

- duża głębokość zalegania – do 1055 m,
- skłonność pokładu 506 do tapani,
- zaleganie w stropie zwięzłych skał, zdolnych do akumulowania energii sprężystej, (grubość warstwy piaskowca między pokładami 503 a 502 wynosi 11,4 m; między pokładami 502 a 501 wynosi 25,6 m; między pokładami 501 a 419/1 wynosi 22,3 m),
- występowanie na wybiegu ściany zaburzeń tektonicznych o zrzutach od 0,2 do 2,2 m,
- prowadzenie ściany w zasięgu oddziaływania krawędzi pokładów 418 i 502, zalegających odpowiednio 130–141 m i 60–82 m nad pokładem 506,
- prowadzenie ściany w sąsiedztwie uskoku diagonalnego o zrzucie około 110 m,
- zbliżanie się na końcowym wybiegu ściany do filara dla przekopów głównych.

Podczas prowadzenia eksploatacji pokładu 506 ścianą 1, zarejestrowano dużą aktywność sejsmiczną. Łączna ilość zarejestrowanych wstrząsów do końca maja 2012 r. to około 2147 z przedziału energetycznego od 10^2 J– 10^8 J. Ze względu na aktywność sejsmiczną, jak i występujące krawędzie pokładów 418 i 502 w polu ściany 1, zastosowano szeroko rozwiniętą profilaktykę tapaniową w celu ograniczenia zagrożenia oraz bezpiecznego prowadzenia robót górniczych.

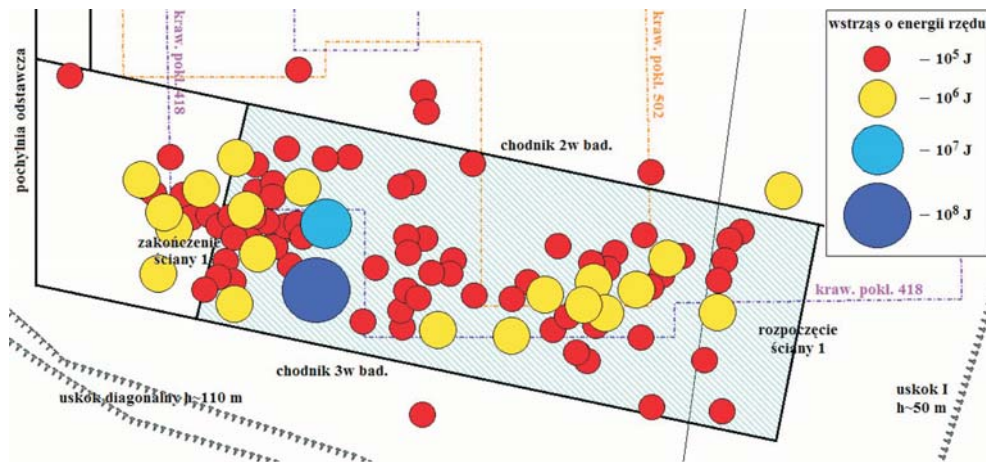
Aktywność sejsmiczną w ścianie 1 w kolejnych miesiącach przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Aktywność sejsmiczna w ścianie 1 w pokładzie 506 od uruchomienia ściany tj. od marca 2010 r. do maja 2012 r.

TABLE 1. Seismic activity from March 2010 to May 2012 – longwall 1, 506 coal seam

Okres	Energia Sejsmiczna [J]							Ilość wstrząsów	Energia sumaryczna [J]
	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8		
III–XII 2010	321	374	95	21	7	0	0	818	3,90E+07
2011	375	469	128	37	6	1	0	1 016	8,44E+07
I–V 2012	95	145	50	15	7	0	1	313	2,19E+08
Razem	791	988	273	73	20	1	1	2 147	3,42E+08

Fragment mapy pokładu 506 z rejonu ściany 1 wraz z zaznaczonymi krawędziami pokładów 502 i 418 oraz ogniska wstrząsów od energii rzędu 10^5 J, które wystąpiły w przedmiotowym rejonie (rys. 1).



Rys. 1. Mapa pokładu 506 ściany 1 z ogniskami wstrząsów

Fig. 1. Map of longwall 1 in 506 coal seam with tremor foci

1. Metodyka obliczeń współczynnika b

Rozkład Gutenberga-Richtera opisujący charakterystykę energetyczno-ilościową został obliczony dla aktywności sejsmicznej z rejonu ściany 1. Rozkład ten wyraża zależność pomiędzy liczbą wstrząsów a ich magnitudą lub energią sejsmiczną według wzoru Gutenberga-Richtera (Gutenberg i in. 1954):

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

$$\log N = a - b \log E_s \quad (2)$$

gdzie:

- N – liczba wstrząsów o magnitudzie w danym przedziale,
- a, b – stałe,
- M – magnituda,
- E_s – energia sejsmiczna [J].

Stała a opisuje maksymalną liczbę wstrząsów, natomiast stała b jest miarą względnego stosunku wstrząsów silnych do wstrząsów słabych (Shearer 2009). Stałe a i b charakteryzują poziom sejsmiczności w badanym rejonie.

Do obliczenia wartości współczynnika b rozkładu Gutenberga-Richtera zastosowano metodę największej wiarygodności (Aki 1965):

$$b = \log e / (M_{sr} - M_{min}) \quad (3)$$

gdzie:

- e – podstawa logarytmu naturalnego,
- M_{sr} – średnia magnituda zbioru wstrząsów,
- M_{min} – magnituda progowa, powyżej której rejestrowano wszystkie wstrząsy.

Wartość współczynnika b może być wskaźnikiem stanu naprężeń – przy wzroście naprężenia współczynnik b maleje (Scholtz 1968). W takim ujęciu zmiany współczynnika b można wykorzystać do oceny stanu zagrożenia tąpnięciami (Gibowicz 1979; Syrek 1992; Mutke i Pierzyna 2011; Instrukcja GIG Nr 22 2012).

Małe wartości współczynnika b wskazują na dominację silnych wstrząsów w badanej grupie. Wartość współczynnika b , przekraczająca wartość średnią w obszarze badań, wskazuje na brak lub słabe przygotowanie górotworu do emisji silnych wstrząsów. Znaczne odchylenie poniżej wartości średniej oznacza średnie lub wysokie zagrożenie sejsmiczne w badanym rejonie (Instrukcja GIG Nr 22 2012).

Do przeliczenia energii sejsmicznej (E_s) na magnitudę lokalną (M_L) zastosowano wzór Dubińskiego i Wierzchowskiej opracowany dla GZW (Dubiński i in. 1973):

$$\log E_s = 1,8 + 1,9M_L \quad (4)$$

W 1982 r. Shi i Bolt wykorzystali metodę Aki-Utsu do oceny wartości współczynnika b , dysponując liczną grupą magnitud wykazali, że odchylenie standardowe współczynnika b ma postać:

$$\sigma b = 2,3b^2 \sigma \bar{M} \quad (5)$$

gdzie:

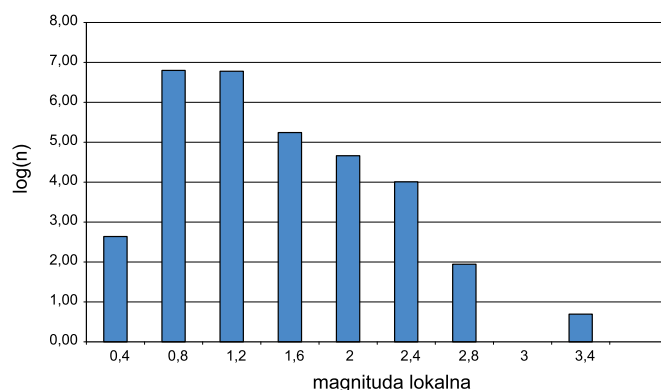
$$\sigma \bar{M} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n(n-1)}} \quad (6)$$

2. Analiza zmian współczynnika b dla ściany 1 w pokładzie 506

W rozdziale przedstawiono wyniki obliczeń i analizę zmian współczynnika b w rejonie ściany 1 w pokładzie 506. Obliczeń dokonano według metodyki opisanej w rozdziale 2. Rozkład magnitud przedstawiono na rysunku 2.

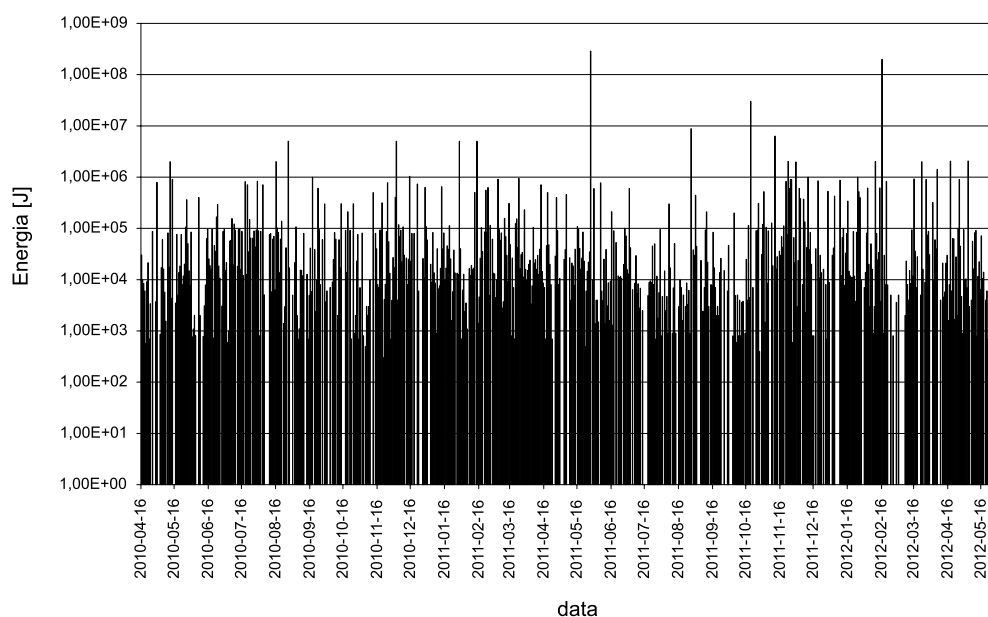
Najniższa zarejestrowana w rejonie ściany 1 magnituda wyniosła 0,23 ($E_s = 2 \cdot 10^2$ J), natomiast najsilniejszy wstrząs ($E_s = 1 \cdot 10^8$ J) odpowiadał 3,42 wartości magnitudy. W przedziale wartości magnitudy od 0,23 do 0,80 zarejestrowano 912 zjawisk sejsmicznych, natomiast dla wartości od 0,8 do 2 zanotowano 1173 wstrząsy (rys. 2).

Dzienna sumaryczna ilość wydzielonej energii podczas eksploatacji pokładu 506 ścianą 1 przedstawiona została na rysunku 3. Największa aktywność sejsmiczna dla ściany 1/506 przypadła od października 2011 r. do marca 2012 r., kiedy stacja geofizyki za-



Rys. 2. Rozkład liczby wstrząsów dla poszczególnych klas magnitud w ścianie 1/506

Fig. 2. Number of seismic events by individual class of magnitude for longwall 1, in the 506 seam



Rys. 3. Energia wstrząsów dla ściany 1/506 od kwietnia 2010 r. do maja 2012 r.

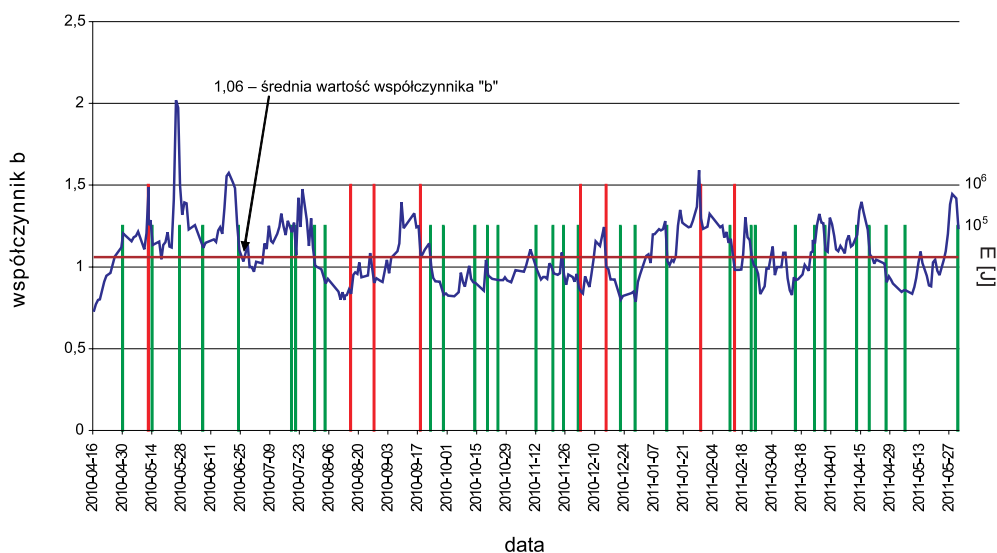
Fig. 3. Energy of the seismic activity in the wall 1, in 506 seam from April 2010 to May 2012.

notowała 27 wstrząsów o energii rzędu 10^5 J, 7 wstrząsów o energii rzędu 10^6 J i 1 wstrząs o energii rzędu 10^7 J oraz 1 wstrząs o energii $1 \cdot 10^8$ J. Aktywność ta związana była z prowadzeniem ściany w rejonie niewybranego pokładu 502 oraz w rejonie krawędzi pokładu 418 (odległości tych pokładów wynosiły odpowiednio 74 m i 138 m) jak i z obecnością grubych warstw piaskowca między pokładami 503 a 502, wynoszącą 11,4 m; między pokładami 502 a 501 – 25,6 m; między pokładami 501 a 419/1 – 22,3 m.

Do obliczeń współczynnika b dla magnitudy minimalnej przyjęta została wartość 0,72 ($E_s = 1,5 \cdot 10^3$ J), ponieważ poniżej tej wartości magnitudy nie wszystkie wstrząsy mogły być rejestrowane, co wynikało z ograniczeń aparaturowych jakimi dysponowała kopalnia. Wartość parametru b wyliczano na bazie ostatnich 20 wstrząsów z krokiem co jedna doba. Okno 20 wstrząsów zostało dobrane na podstawie zarejestrowanej aktywności sejsmicznej. Ilość wstrząsów w ciągu doby nie przekroczyła 20. Na podstawie wzoru Shi i Bolta (1982) wyliczono również odchylenie standardowe dla współczynnika b . Wyliczone wartości błędów wynosiły od 0,01 do 0,35.

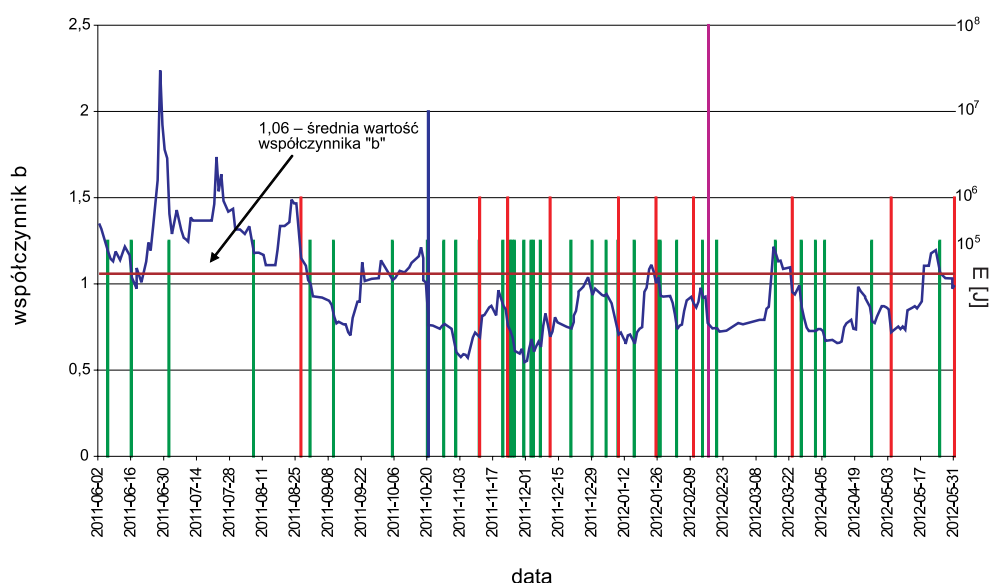
W okresie rozruchu ściany 1 nie rejestrowano wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu. Od kwietnia 2010 r. front ściany zbliżał się do krawędzi pokładu 502 i pojawiły się pierwsze wysokoenergetyczne wstrząsy w rejonie niewybranego pokładu 502. Średnia wartość współczynnika b dla całego analizowanego okresu wyniosła 1,06. W okresie od II połowy września do grudnia 2010 r. wartość współczynnika b była mniejsza od wartości średniej, co świadczyć może o wzroście naprężeń w górotworze w związku ze zbliżaniem się frontu ściany w rejon częściowo niewybranych pokładów 502 i 418. Najmniejsza zanotowana wartość współczynnika b wyniosła 0,79. Wartości współczynnika b mniejsze od wartości średniej mogą również prognozować wystąpienie silnych wstrząsów górotworu. Od września do końca grudnia 2010 r. zanotowano 11 wstrząsów o energii rzędu 10^5 J i 3 wstrząsy o energii rzędu 10^6 J.

W I kwartale 2011 r. na wykresie (rys. 4) można zauważyć wzrost współczynnika b , który jako maksymalną wartość w tym okresie osiągnął 1,59. Wartości parametru b większe od wartości średniej świadczą o spadku naprężeń w górotworze. W tym czasie front eksploatacyjny znajdował się w dużej części pod obszarem wybranym przez pokład 502.



Rys. 4. Zmiany współczynnika b w oknie 20 wstrząsów z krokiem co jedna doba wraz z naniesionymi najsilniejszymi wstrząsami dla ściany 1/506 w okresie od kwietnia 2010 r. do maja 2011 r.

Fig. 4. Changes in the b value for the time-window of 20 seismic events with 24 hour steps, showing the strongest tremors in longwall 1, 506 seam, in the period from April 2010 to May 2011



Rys. 5. Zmiany współczynnika b w oknie 20 wstrząsów z krokiem co jedna doba wraz z naniesionymi najsilniejszymi wstrząsami dla ściany 1/506 w okresie od czerwca 2011 r. do maja 2012 r.

Fig. 5. Changes in the b value for the time-window of 20 seismic events with 24 hour steps showing the strongest tremors in longwall 1, 506 seam, in the period from June 2011 to May 2012

W miarę oddalania się frontu ścianowego od krawędzi pokładu 502, tj. od maja 2011 do końca sierpnia 2011 r. wartość współczynnika b nadal wynosiła powyżej wartości średniej (rys. 5). Od września 2011 r. front ściany znalazł się w rejonie wpływu krawędzi pokładu 418 i w obszarze niewybranym przez pokład 502. Wzrost naprężeń w górotworze skutkowało sukcesywnym spadkiem wartości parametru b do wartości minimalnej wynoszącej 0,55. Zgodnie z założeniami małe wartości parametru b oznaczają przygotowanie górotworu do emisji silnych wstrząsów. Okres od października 2011 r. do marca 2012 r. charakteryzował się dużą aktywnością sejsmiczną; zanotowano 31 wstrząsów o energii rzędu 10^5 J, 8 wstrząsów o energii rzędu 10^6 J i 1 wstrząs o energii rzędu 10^7 J oraz 1 wstrząs o energii $1 \cdot 10^8$ J.

W końcowym biegu ściany (maj 2012 r.) zarejestrowano jeszcze 1 wstrząs o energii rzędu 10^5 J i 2 wstrząsy o energii rzędu 10^6 J, które związane były ze zbliżaniem się frontu ściany do filara dla przekopów głównych. W tym czasie wartość współczynnika b wahała się od 0,72 do 1,20.

Na wykresach (rys. 4 i 5) można również zauważyć, że nie tylko wartości parametru b mniejsze od wartości średniej mogą świadczyć o wzroście naprężeń w górotworze i występowaniu silnych wstrząsów, ale również zmiany wartości współczynnika b w granicach od $\pm 0,4$ wartości mogą prognozować przygotowanie górotworu do emisji silnych wstrząsów.

Podsumowanie

Podczas eksploatacji pokładu 506 ścianą 1 – wraz ze spodziewanym wzrostem naprężeń w górotworze, związanym z występowaniem zaszłości eksploatacyjnych – obserwowano wartości współczynnika b mniejsze od wyznaczonej średniej wartości tego współczynnika. Małe wartości parametru b , jak i zmienność tego parametru mogą ułatwić wyznaczenie okresów dla ściany o wzmożonej aktywności sejsmicznej. Wyniki przedstawione w pracy wskazują, że analizę trendu współczynnika b z relacji Gutenberga-Richtera, wyznaczonym w oknie czasowym można wykorzystać do oceny stanu zagrożenia sejsmicznego i tąpniętami.

Analiza trendu współczynnika b z relacji Gutenberga-Richtera ma na celu stworzenie bazy danych dla opracowania średnich wartości współczynnika dla obszaru górniczego Kopalni „Bielszowice”.

Uzyskane wyniki będą uwzględnione podczas prowadzenia kolejnej analizy współczynnika b dla aktualnie eksploatowanego pokładu 506 ścianą 2, w przedmiotowej południowo-wschodniej partii centralnej KWK „Bielszowice”.

Literatura

- [1] Aki, K. 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.* 43, 237-239.
- [2] Dubiński, J. i Wierzchowska, Z. 1973. *Metody obliczeń energii wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku*. Komunikat GIG nr 591, Katowice.
- [3] Gutenberg, B. i Richter, C.F. 1954. *Seismicity in the Earth and associated phenomena*. Princeton University Press. 273.
- [4] Instrukcja GIG Nr 22 2012. Zasady stosowania metody kompleksowej i metod szczegółowych oceny stanu zagrożenia tąpniętami w kopalniach węgla kamiennego, Wydaw. GIG, seria Instrukcja nr 22.
- [5] Shi, Y. i Bolt, B.A. 1982. The standard errors of the magnitude-frequency b -value. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 72, 1677–1687.
- [6] Scholz, C. 1968. The frequency-magnitude relation of microfracturing in the rock and its relation to earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 399.
- [7] Gibowicz, S.J. 1979. Space and time variations of the frequency-magnitude relation for mining tremors in the Szombierki Coal Mine in the Upper Silesia, Poland. *Acta Geophys. Pol.* 27. s. 39–49.
- [8] Mutke, G. i Pierzyna, A. 2011. Czasowe zmiany parametru „ b ” relacji Gutenberga-Richtera dla oceny zagrożenia sejsmicznego w ścianie 2 i 3 w pokładzie 503 w KWK „Bobrek-Centrum”. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* nr 4/3, s. 298–309.
- [9] Shearer, P.M. 1999. *Introduction to Seismology*. Cambridge University Press. pp. 396.
- [10] Syrek, B. 1992. Zastosowanie rozkładów Gutenberga-Richtera do oceny stanu zagrożenia tąpniętami ściany XIII prowadzonej w pokładzie 501 kopalni „Wujek”. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.* M-16 (245).

