

Elżbieta PILECKA, Jacek KUDELA, Jerzy PITUŁA

Instytut Gospodarki Surowcami i Energią PAN, Kraków
Kopalnia Węgla Kamiennego „Piast”, Bieruń

Analiza wpływu przerw w eksploatacji ścian na zagrożenie sejsmiczne na przykładzie KWK „Piast”

Słowa kluczowe

Eksploatacja pokładów węgla, sejsmiczność indukowana, postęp ścian

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę zmian dobowej energii sejsmicznej zarejestrowanych wstrząsów indukowanych z wybranych ścian w KWK „Piast” zsumowanej w konkretnych dniach tygodnia. Energię sejsmiczną liczono dla wszystkich wstrząsów zarejestrowanych przez sieć sejsmologiczną KWK Piast, na ogół od energii 10^2 J do 10^8 J. Analizą objęto 20 ścian eksploatacyjnych w okresie ich wybierania. W artykule przedstawiono 4 charakterystyczne przykłady z omawianej analizy. We wszystkich przypadkach zmiany energii sejsmicznej w przedziale od poniedziałku do niedzieli wykazały malejący trend liniowy. Taki trend jednoznacznie wskazuje, że brak postępu ścian w sobotę i niedzielę powoduje kumulację energii sejsmicznej w górotworze w pierwszych dniach kolejnego tygodnia. Trend ten zaburzony jest najczęściej występowaniem silnych wstrząsów typu regionalnego. W konkluzji stwierdzono, że przyczyny sejsmiczności w warunkach geologicznych i górniczych KWK „Piast” są złożone, lecz nie można wykluczyć wpływu przestojów ścian w sobotę i niedzielę na charakterystyczne zmiany uwalnianej energii sejsmicznej w układzie tygodniowym.

1. Wstęp

Podziemna eksploatacja węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym jest związana z zagrożeniem wstrząsami indukowanymi robotami górniczymi. Roboty górnicze w górotworze powodują powstanie dodatkowych złożonych pól naprężeń, które sumują się z naprężeniami litostatycznymi, często również skomplikowanymi. Istniejące w skałach naprężenia są powodem akumulowania się w górotworze określonej ilości energii potencjalnej. Jeśli naprężenia stają się większe niż wytrzymałość skał, wówczas następuje zniszczenie ośrodka skalnego i nagłe uwolnienie nagromadzonej energii, która z potencjalnej zamienia się w inne jej rodzaje, między innymi w kinetyczną. Tylko część energii kinetycznej, z reguły nie większa niż 1% zamienia się w energię sejsmiczną, rozchodzącą się w postaci fal sejsmicznych w górotworze i którą możemy zmierzyć. Szersze informacje o procesach indukowania

sejsmiczności w górotworze w wyniku prowadzonych robót górniczych można znaleźć w licznych pracach (np. Goszcz 1999; Marczak 1995).

Wstrząs może wystąpić wówczas, gdy spełnione są określone warunki geomechaniczne. Przede wszystkim w górotworze musi utworzyć się stan równowagi nietrwałej (powstać strefa niestabilna) z odpowiednio wysokimi naprężeniami, oraz muszą występować czynniki powodujące przejście z jednego stanu równowagi w drugi. W przypadku wstrząsów w GZW głównym powodem wstrząsów indukowanych są czynniki geologiczno-tektoniczne i technologiczne. Czynniki geologiczne to: głębokość eksploatacji, stratygrafia, litologia i petrografia, własności geomechaniczne górotworu, skłonność pokładu i skał do tąpnięć, miąższość pokładów i tektonika. Do czynników górniczych można zaliczyć: wpływ systemu kierowania stropem, prędkość postępu ściany, wysokość i długość ściany, wpływ krawędzi i resztek, wpływ zrobów i innych wyrobisk i wzajemne oddziaływanie eksploatowanych ścian. Na pierwsze nie mamy dużego wpływu, badania ukierunkowane są w tym przypadku na poznaniu ich charakterystyk fizyczno-mechanicznych. Na drugie czyli technologiczne można wpływać i mimo, że w polskiej literaturze górniczej w sposób znaczący przedstawione jest to zagadnienie, należy kontynuować badania i weryfikować hipotezy i teorie.

W pracy przedstawiono przykłady wpływu przerw w soboty i niedziele w eksploatacji ścian w KWK „Piast” na emisję energii sejsmicznej z rejonu konkretnej ściany.

2. Wybrane zagadnienia wpływu postępu ścian na zagrożenie sejsmiczne w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym

W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym sejsmiczność indukowana jest nierozdzielnie związana z eksploatacją podziemną węgla kamiennego. Ilościowo zależność ta sformułowana została w postaci wzoru (Drzęźła 1993):

$$a = c k^n \quad (2.1)$$

gdzie:

a – aktywność sejsmiczna górotworu mierzona np. ilością wypromieniowanej energii sejsmicznej

k – wydobyte z rozważanego obszaru (intensywność wydobycia, koncentracja)

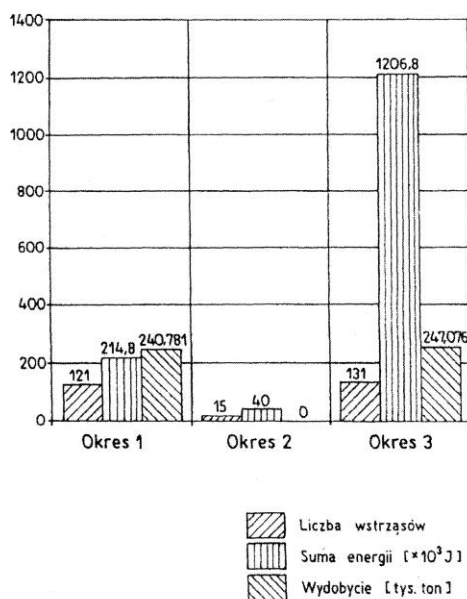
c, n – parametry, gdzie $n > 1$

Jak podkreśla Drzęźła (1996) zależność ta jest wyraźna w grupie wstrząsów niżej energetycznych, natomiast w grupie wstrząsów o energii $E \geq 10^8$ J nie obserwuje się tak wyraźnego związku. Fakt ten jest zbieżny z poglądami, według których najsilniejsze wstrząsy nie są spowodowane jedynie czynnikami górniczymi. Aktualnie przyjmuje się, że istnieją dwa rodzaje sejsmiczności nazywając je górniczą lub eksploatacyjną i górniczo-tektoniczną lub regionalną (Pilecka i in. 2006). Sejsmiczność regionalna to wysokoenergetyczne wstrząsy, które są najbardziej niebezpieczne dla infrastruktury powierzchniowej. Wstrząsy eksploatacyjne na ogół nie stwarzają zagrożenia dla infrastruktury powierzchniowej, natomiast mogą spowodować tąpnięcie.

Jednym z czynników wpływających za zagrożenie sejsmiczne jest prędkość postępu ściany. Już w 1955 roku Sałustowicz (1955) sformułował wniosek, że w warunkach zagrożenia tąpnięciami nie należy stosować zbyt dużego postępu frontu eksploatacyjnego, a raczej umiarkowany a nawet powolny. Wzrost prędkości eksploatacji na zagrożenie sejsmiczne można

uzasadnić korzystając z wyników badań właściwości geomechanicznych skał. Wzrost prędkości frontu jest tożsamy ze wzrostem prędkości odkształcania skały, co powoduje bardziej kruchy charakter zniszczenia oraz wzrost wytrzymałości skały (Goszcz 1999). Na skutek bardziej kruchego charakteru zniszczenia, następuje ono w pobliżu granicy sprężystości skały, przy małych odkształceniach pseudoplastycznych powodujących dyssypację energii sprężystej. Wzrasta przez to wartość energii kinetycznej. Natomiast wzrost wytrzymałości skał jest powodem tego, że zniszczenie skały następuje przy większych wartościach naprężeń krytycznych. W rezultacie wzrost prędkości frontu ściany powoduje wzrost zagrożenia sejsmicznego. Można jednak ten wniosek odwrócić i powiedzieć, że brak postępu ściany powoduje zmniejszenie lub zanik zagrożenia sejsmicznego.

Analizę wpływu prędkości postępu wybierania na zagrożenie sejsmicznością rozpatrywano w wielu pracach naukowych. Drzęźła (1993) przedstawił zasady projektowania i prowadzenia eksploatacji górniczej pod kątem ograniczenia sejsmiczności indukowanej. W kwestii wpływu prędkości postępu ściany zaleca: prędkości wybierania powinny być możliwe małe, a w przypadku zagrożenia tąpnięciami również prędkości postępu robót przygotowawczych, szczególnie w strefach dużych naprężeń; postęp robót eksploatacyjnych i przygotowawczych powinien być równomierny. Szkodliwe np. jest zatrzymanie produkcji na kilka dni w końcu tygodnia, a w szczególności na dłuższy okres. Praktycznym przykładem podanym w w/w pracy jest sejsmiczność w kopalni „Piast”, gdzie po uruchomieniu wydobywania po dwutygodniowej przerwie nastąpił około sześciokrotny wzrost aktywności sejsmicznej (mierzonej sumaryczną energią wstrząsów) w stosunku do okresu poprzedzającego (rys.2.1).



Rys. 2.1. Wydobywanie, liczba wstrząsów i ich sumaryczna energia w dwutygodniowych okresach przed, w czasie i po zatrzymaniu wydobywania w kopalni „Piast” (Drzęźła 1996)

Fig. 2.1. Mining, the number of shocks and their total energy in the two-week periods before, during, and after stopping mining in the mines "Piast"(Drzęźła 1996)

W swojej pracy Drzewiecki (2004) opracował model tzw. fazowego mechanizmu niszczenia górotworu na wybiegu ścian. Według tego modelu w górotworze, w wyniku prowadzonych robót eksploatacyjnych, tworzone są nieciągłości, przy czym jak to wynika z badań przeprowadzonych dla różnych systemów i prędkości eksploatacji, jako pierwotne powstają nieciągłości równoległe do uwarstwienia. Miejsca inicjacji nieciągłości równoległych do uwarstwienia na wybiegu ściany występują w ściśle określonych obszarach. Odształcenie objętościowe i postaciowe, szczególnie w strefie przecięć zespołu pierwotnie spójnych warstw, powodują powstawanie w ich przekroju naprężeń rozciągających w kierunku zbliżonym do kierunku uwarstwienia. Zasięg stref tych naprężeń w kierunku wybiegu ściany jest tym większy im większa jest prędkość postępu ściany.

Prędkość postępu ściany wpływa na przemieszczanie się fali ciśnienia zgodnie z teorią Budryka (1933). Zmienne naprężenia w stropie wpływają na zagrożenie sejsmicznością indukowaną. W obszarze tym powstaje niekorzystny dla skał obszar naprężeń, gdyż przy zwiększonych pionowych naprężeniach ściskających, pojawiają się poziome naprężenia rozciągające, co stwarza korzystne warunki do powstawania wstrząsów indukowanych (Goszcz 1999). Obszar tych naprężeń przemieszcza się w miarę postępu ściany obejmując sukcesywnie znajdujące się dalej skały. Gdy postęp ściany zostanie zatrzymany, wówczas wzdłuż linii, na której nastąpiło zatrzymanie, nazywanej tzw. krawędzią eksploatacyjną czasową, występuje strefa zniszczenia w skałach stropowych na skutek koncentracji naprężeń. Krawędzie takie są strefami zagrożenia sejsmicznego. Wpływ struktury górotworu naruszonego robotami górniczymi na tworzenie się sekwencji wstrząsów górniczych opisuje również szeroko Marcak (1995).

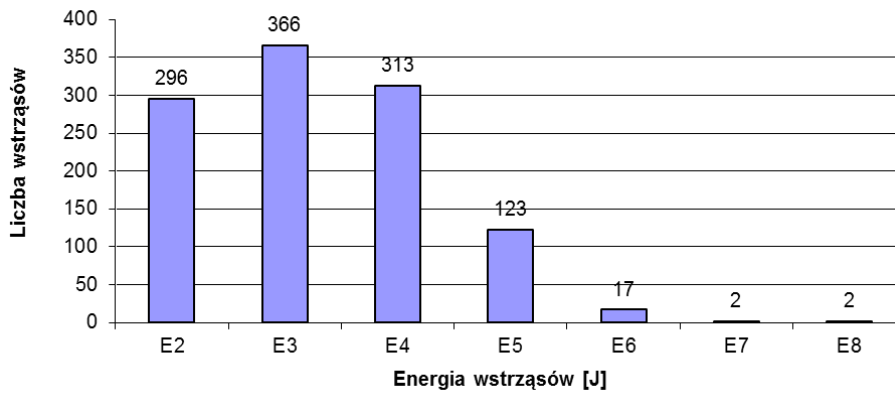
3. Statystyczna analiza wpływu postępu ścian w KWK „Piast” na energię sejsmiczną

Przeprowadzono statystyczną analizę rozkładów sumarycznej dobowej energii sejsmicznej zarejestrowanych wstrząsów indukowanych z poszczególnych ścian w KWK „Piast” w podziale na poszczególne dni tygodnia. Analizą objęto wszystkie zarejestrowane wstrząsy od energii $E = 10^2$ J do najsilniejszych wstrząsów o energii $E = 10^8$ J. Zestawiono sumaryczne, dobowe energie sejsmiczne liczone dla wszystkich poniedziałków, wtorków, itd. W okresie eksploatacji konkretnej ściany. Aktualnie praca w kopalni trwa od poniedziałku do piątku, tak więc w sobotę i niedzielę praktycznie nie ma postępu ściany. Nie oznacza to, że sejsmiczność także ma wartość zerową w tych dniach, niemniej jednak wykazuje tendencję spadkową. Analizą sumarycznej energii sejsmicznej objęto 20 ścian i wszystkie wykazały ten sam trend sumarycznej energii sejsmicznej, malejący od poniedziałku do niedzieli. Poniżej przedstawiono 4 przykłady z omawianej analizy w różnych przedziałach sumarycznej sejsmiczności w podziale na dni tygodnia.

Przykład 1.

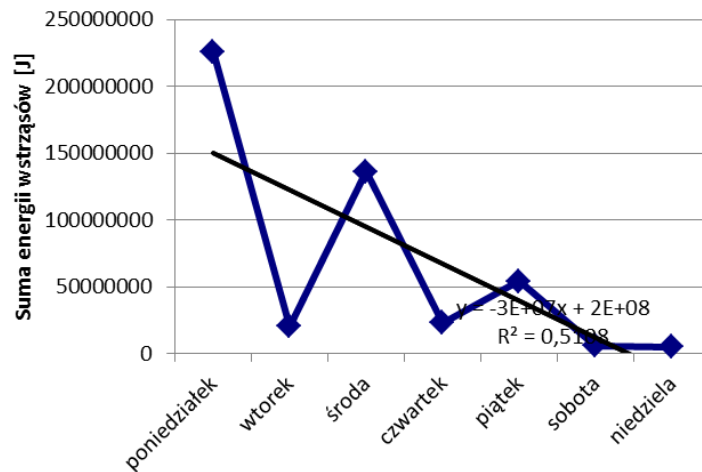
Analiza sejsmiczności ściany 370 obejmuje okres od 17.09.2009 roku do 21.03.2011 roku. W tym czasie wystąpiły dwa silne wysokoenergetyczne wstrząsy o energii rzędu 10^8 J i dwa o energii rzędu 10^7 J (rys.2). Pierwszy wystąpił w piątek 23.04.2010 roku i miał energię $E = 3 \times 10^7$ J. Drugi wystąpił w środę 17.11.2010 roku i miał energię $E = 1 \times 10^8$ J. Trzeci wstrząs wystąpił w poniedziałek dnia 31.01.2011 roku i miał energię $E = 2 \times 10^8$ J. W tym samym dniu czyli 31.01.2011 roku miał miejsce jeszcze jeden wysokoenergetyczny wstrząs o nieco słabszej energii $E = 1 \times 10^7$ J. Te dwa ostatnie wstrząsy spowodowały wiele szkód w obiektach

budowlanych na powierzchni terenu. Na rysunku 3.2 przedstawiono sumaryczną, dobową energię wstrząsów ze ściany 370 w badanym okresie w podziale na poszczególne dni tygodnia. Można zauważyć, że największą sumaryczną energię zarejestrowano w poniedziałki. Jednak w poniedziałek wystąpiły dwa silne wstrząsy w dniu 31.01.2011 roku, które można zakwalifikować do wstrząsów regionalnych o przyczynach górnictwo-tektonicznych. Analiza rozkładu energetycznego bez tych silnych wstrząsów wykazała, że trend nie zmienił się.



Rys. 3.1. Rozkład ilościowo-energetyczny wstrząsów ze ściany 370 w okresie od 17.09.2009 roku do 21.03.2011 roku

Fig.3.1. The distribution of the quantity-energy shocks of the wall 370 in the period from 09.17.2009 till 03.21.2011 years

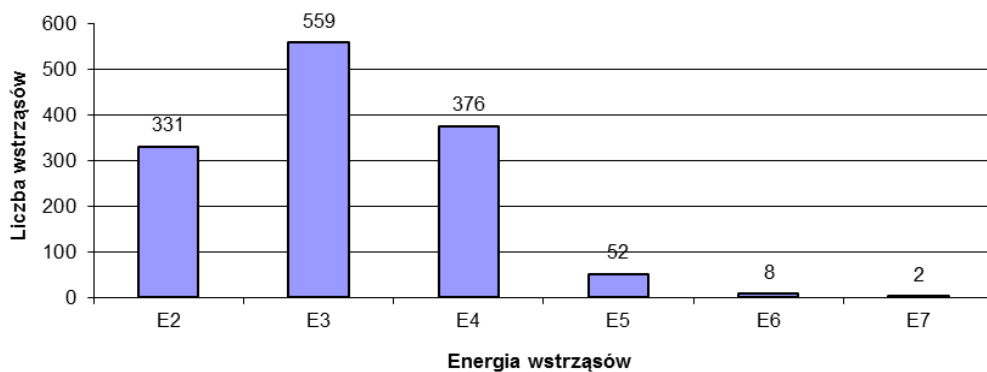


Rys. 3.2. Rozkład energetyczny wstrząsów ze ściany 370 w okresie od 17.09.2009 roku do 21.03.2011 roku w podziale na dni tygodnia

Fig.3.2. The distribution of vibration energy from the wall 370 in the period from 09/17/2009 till 21/03/2011, divided into days of the week

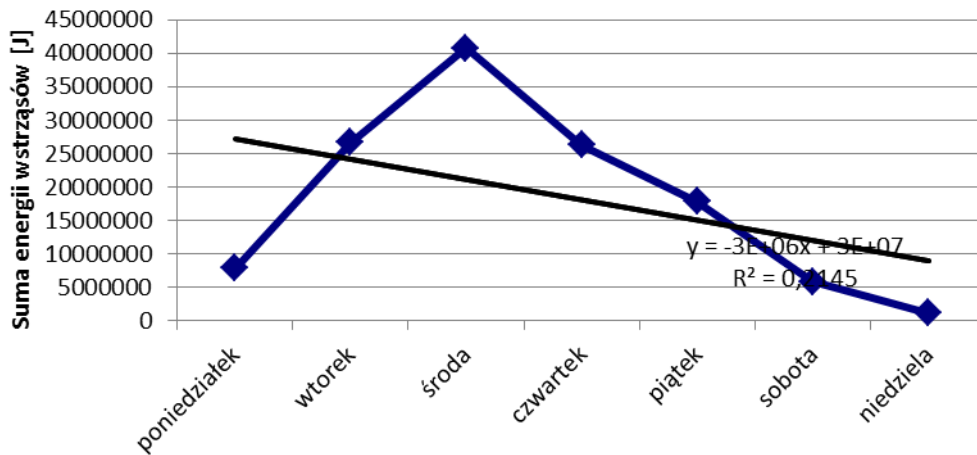
Przykład 2.

Analiza zarejestrowanej sumarycznej energii wstrząsów indukowanych na skutek eksploatacji ściany 368 przeprowadzona w okresie od 10.03.2011 roku do 21.03.2012 roku (rys 3.45). W analizowanym okresie wystąpiły dwa silne wysokoenergetyczne wstrząsy o energii powyżej 10^7J (rys. 3.3). Jeden w dniu 21.12.2011 roku w środę o energii $E = 2 \times 10^7\text{J}$ i drugi w dniu 3.12.2012 roku we wtorek także o energii wstrząsu $E = 2 \times 10^7\text{J}$. Analiza rozkładu sumaryczną energię wstrząsów indukowanych eksploatacją ściany 368 bez powyższych silnych wstrząsów wykazała, że trend nie zmienił się.



Rys. 3.3. Rozkład ilościowo-energetyczny wstrząsów ze ściany 368 w okresie od 10.03.2011 roku do 21.03.2012 roku

Fig. 3.3. The distribution of the quantity-energy shocks of the wall 368 in the period from 10.03.2011 until 03.21.2012 years

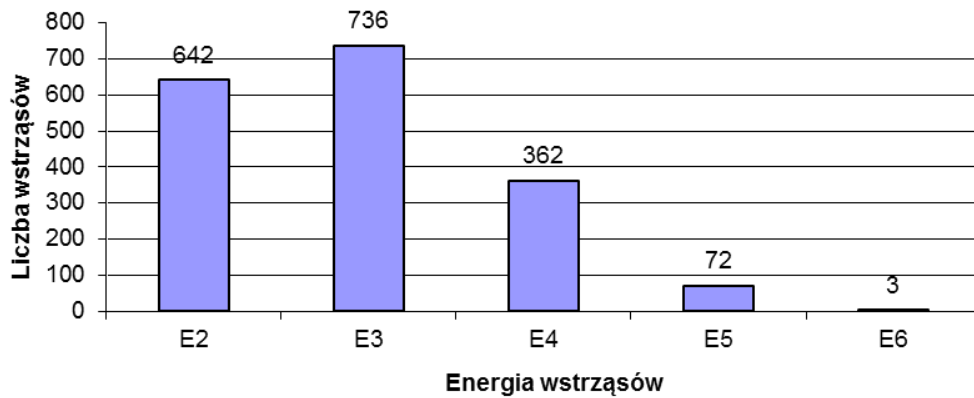


Rys. 3.4. Rozkład energetyczny wstrząsów ze ściany 368 w okresie od 10.03.2011 roku do 21.03.2012 roku w podziale na dni tygodnia

Fig. 3.4. The distribution of vibration energy from the wall 368 in the period from 10.03.2011 until 03.21.2012, divided into days of the week

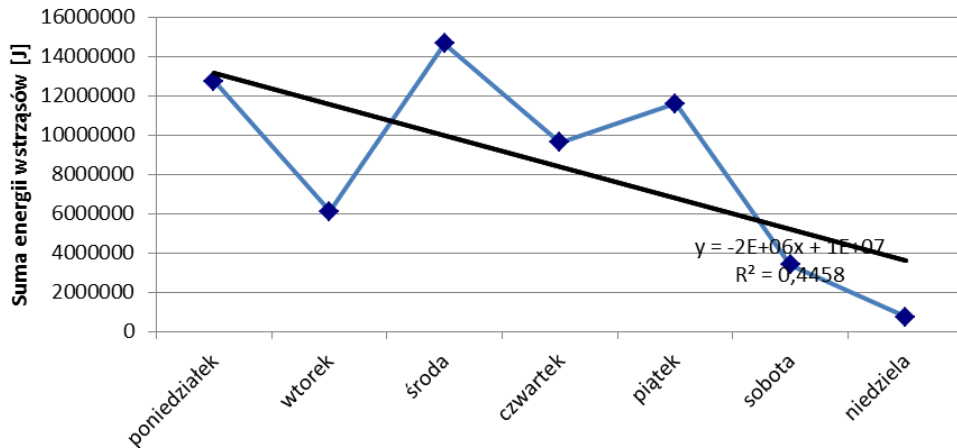
Przykład 3.

Analiza sumarycznej energii sejsmicznej wstrząsów indukowanych eksploatacją ściany 432 objęła okres jej eksploatacji od 1.01.2007 roku do 31.01.2008 roku. W tym czasie nie zaobserwowano silnych wysokoenergetycznych wstrząsów, które mogły być spowodowane eksploatacją tej ściany. Największe obserwowane energie były rzędu $E = 10^6 \text{J}$ (rys.3.5). Zaobserwowano zwiększenie aktywności sejsmicznej na początku tygodnia i tendencję spadkową (trend) od poniedziałku do niedzieli (rys.3.6).



Rys. 3.5. Rozkład ilościowo-energetyczny wstrząsów ze ściany 432 w okresie od 1.01.2007 roku do 31.01.2008 roku

Fig. 3.5. The distribution of the quantity-energy shocks of the wall 432 in the period from 1.01.2007 until 31.1.2008 years

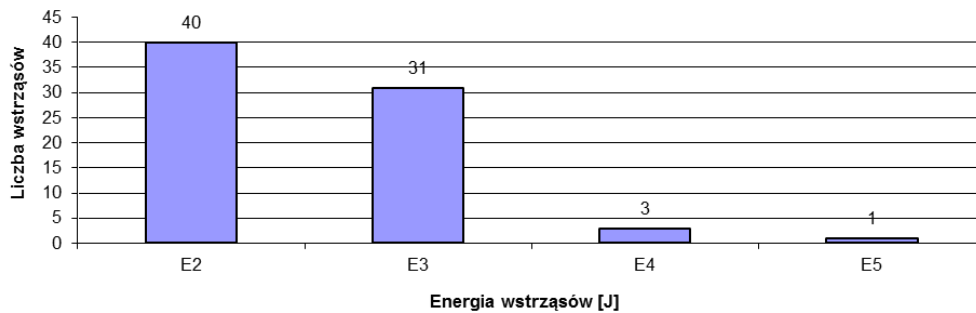


Rys. 3.6. Rozkład energetyczny wstrząsów ze ściany 432 w okresie od 1.01.2007 roku do 31.01.2008 roku w podziale na dni tygodnia

Fig. 3.6. The distribution of vibration energy from the wall 432 in the period from 1.01.2007 to 01.31.2008 years, divided into days of the week

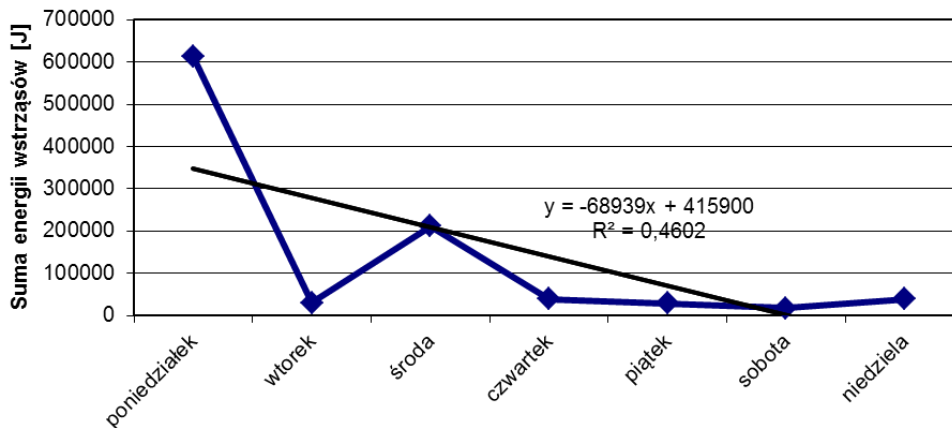
Przykład 4.

Sejsmiczność spowodowana eksploatacją ściany 441 analizowana była w okresie od 12.07.2006 roku do 31.08.2007 roku. Nie zanotowano w tym okresie silnych wstrząsów wysokoenergetycznych. Najsilniejszy z wstrząsów był rzędu 10^5 J (rys. 3.7). Sumaryczna energia wstrząsów największa była w poniedziałek i wykazywała tendencję spadkową od poniedziałku do niedzieli (rys. 3.8). Sejsmiczność indukowana eksploatacją ściany 441 ma charakter eksploatacyjny.



Rys. 3.7. Rozkład ilościowo-energetyczny wstrząsów ze ściany 441 w okresie od 12.07.2006 roku do 31.08.2007 roku

Fig. 3.7. The distribution of the quantity-energy shocks of the wall 441 in the period from 07.12.2006 till 08.31.2007 years



Rys. 3.8. Rozkład energetyczny wstrząsów ze ściany 441 w okresie od 12.07.2006 roku do 31.08.2007 roku w podziale na dni tygodnia

Fig. 3.8. The distribution of vibration energy from the wall 441 in the period from 12/07/2006 till 31/08/2007, divided into days of the week

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wnioski z analizy dobowej energii wstrząsów ze ścian KWK „Piast” zsumowanej dla konkretnych dni tygodnia. Przedstawiono przykłady poszczególnych ścian o sejsmiczności od energii $E = 10^2$ J do $E = 10^8$ J. We wszystkich przypadkach zmiany energii sejsmicznej w przedziale od poniedziałku do niedzieli wykazały malejący trend liniowy. Taki trend jednoznacznie wskazuje, że brak postępu ścian w sobotę i niedzielę powoduje kumulację energii sejsmicznej w górotworze w pierwszych dniach kolejnego tygodnia. Trend ten zaburzony jest najczęściej występowaniem silnych wstrząsów typu regionalnego. Niemniej jednak ostatnie najsilniejsze wstrząsy w KWK „Piast” miały miejsce w poniedziałek (31.01.2011 r.) (przykład 1).

Przyczyny sejsmiczności w warunkach geologicznych i górniczych KWK „Piast” są złożone, lecz nie można wykluczyć wpływu przestojów ścian w sobotę i niedzielę na charakterystyczne zmiany uwalnianej energii sejsmicznej w układzie tygodniowym. Podjęcie eksploatacji w poniedziałki po dwudniowych przerwach, prowadzi do wzrostu zagrożenia sejsmicznego na początku tygodnia, czego dowodzą przeprowadzone analizy.

Literatura

- [1] Budryka W., 1933: Teoria fali ciśnień, Kraków, 1993.
- [2] Drzewiecki J., 2004: Wpływ postępu frontu ściany na dynamikę niszczenia górotworu karnońskiego, Prace Naukowe GIG, Studia - Rozprawy – Monografie, nr 860.
- [3] Drzęźła B., 1993: Zasady projektowania eksploatacji pod kątem ograniczenia sejsmiczności indukowanej i deformacji górotworu, Mat. Międzynarodowej Konf. nt.: Ekologiczne aspekty podziemnej eksploatacji złóż kopalin użytecznych, Szczyrk, Wyd. GIG, 230-236.
- [4] Drzęźła B., 1996: Możliwości ograniczenia sejsmiczności indukowanej w górnictwie podziemnym, Mat. Konferencji Naukowo-Technicznej: Ochrona środowiska terenów górniczych, Krynica, 1996 r., 199 – 217
- [5] Goszcz A., 1999: Elementy mechaniki skał oraz tąpnięcia w polskich kopalniach węgla i miedzi. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 237.
- [6] Marczak H., 1995: Wpływ struktury górotworu naruszonego robotami górniczymi na tworzenie się sekwencji wstrząsów górniczych, Mat. Szkoły Eksploat. Podz., Wyd. IGSMiE PAN, Kraków .
- [7] Pilecka E., Piątkowska A., Stec K., Buła Z., Pilecki Z., Król M., 2006: Związek lineamentów z sejsmicznością indukowaną na terenach górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [8] Pilecka E., Szermer-Zaucha R., 2011: Analiza lokalnej tektoniki w powiązaniu z uszkodzeniami budynków wynikającymi z wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu w dniu 9 lutego 2010 roku w KWK „Piast”. Prace Naukowe GIG nr4/2/2011, 366-382.
- [9] Sałstowicz A., 1955: Mechanika Górotworu, Wyd. Śląsk.

Analysis of the impact of longwalls stoppage on the seismic hazard on the example of coal mines "Piast"

Key words

Exploitation of coal beds, induced seismicity, longwall progress

Summary

This paper presents an analysis of daily seismic energy changes registered tremors induced from selected longwalls in the coal mine "Piaś" lumped in specific days of the week. Seismic energy was calculated for all the tremors recorded by seismic network of KWK Piaś, generally the energy of 10^2 J to 10^8 J. The analysis comprised 20 operating longwalls in the period of their exploitation. The article presents four typical examples of the presented analysis. In all cases, the changes of seismic energy in the period from Monday to Sunday showed decreasing linear trend. This trend clearly indicates that the lack of progress of longwalls on Saturday and Sunday, causing accumulation of seismic energy in the rock mass in the first days of next week. This trend is most often disturbed by the occurrence of strong tremors of the regional type. The conclusion was that the causes of seismicity in mining and geological conditions of Piaś coal mine are complex, but one can not exclude the impact of longwall stoppage in Saturdays and Sundays on the characteristic changes of seismic energy released in a weekly schedule.

Przekazano: 7 maja 2012 r.