

BADANIE KORELACJI POMIĘDZY TEMPERATURĄ GÓROTWORU A ENERGIĄ WSTRZĄSU

Stanisław KOWALIK
Wyższa Szkoła Biznesu

WPROWADZENIE

Obserwacje przeprowadzone w kopalni węgla kamiennego „Jas-Mos” wykazały, że wstrząs górniczy może spowodować podwyższenie temperatury górotworu [1]. To zwiększenie temperatury następowało bezpośrednio po wstrząsie. Dotyczyło to jedynie rejonu najbliższego hipocentrum wstrząsu w promieniu nie większym od 30 m. Podwyższona temperatura utrzymywała się od 40 minut do 6 godzin [1].

Wstrząs górniczy jest poddaniem ośrodka skalnego obciążeniom zewnętrznym prowadzącym do jego dynamicznego pęknięcia. Podwyższenie temperatury można wyjaśnić na podstawie bilansu energetycznego związanego z procesem niszczenia struktury ośrodka skalnego. Ogólne równanie bilansu energetycznego ma postać [3]:

$$W + Q_0 = U + E_s + S = Q_1, \quad (1)$$

gdzie

W – praca wykonana przez obciążenie zewnętrzne,

Q_0 – energia cieplna przechodząca przez ośrodek,

U – energia odkształcenia sprężystego,

E_s – energia kinetyczna związana z procesem niszczenia odpowiadająca energii sejsmicznej,

S – energia nieodwracalnie rozproszona w procesie niszczenia,

Q_1 – energia cieplna zakumulowana w górotworze.

W równaniu (1) występuje energia cieplna Q_1 co oznacza, że efektem wstrząsu górniczego będzie również przyrost temperatury w ośrodku skalnym. Ujawnienie się energii sejsmicznej jest łatwo wykrywalne, niezależnie od odległości ogniska wstrząsów od wyrobisk górniczych. Przyrost temperatury górotworu może być wykrywalny tylko w przypadku niewielkiej odległości ognisk wstrząsów od wyrobisk z powodu niskiego przewietrzania cieplnego skał [1].

Kopalnia „Jas-Mos” należy do kopalń, w których występuje dużo wstrząsów, ale o niskiej energii. Ilustruje to tabela 1.

W niniejszej pracy zajęto się wyznaczeniem korelacji pomiędzy temperaturą a zaistniałym wstrząsem. Rozpatrywano temperaturę górotworu przed wstrząsem i po wstrząsie oraz obliczano współczynniki korelacji wielorakiej dla tych wielkości.

Tabela 1 Wstrząsy w kopalni „Jas-Mos”

Rok	10 ³ J	10 ⁴ J	10 ⁵ J	10 ⁶ J
1997	6869	568	2	0
1998	8981	228	6	0
1999	8213	162	3	0
2000	8850	192	19	0
2001	2673	131	9	0
2002	304	267	12	0

Źródło: [1]

OBLICZANIE KORELACJI

Do oceny zależności pomiędzy dwiema wielkościami wykorzystuje się współczynnik korelacji ρ_{kl} określony wzorem [2]

$$\rho_{kl} = \frac{\text{cov}(x_k, x_l)}{\sigma_k \sigma_l}, \quad (2)$$

gdzie

$\text{cov}(x_k, x_l)$ - oznacza kowariancję pomiędzy k-tą i l-tą wielkością,

σ_k - odchylenie standardowe k-tej wielkości,

σ_l - odchylenie standardowe l-tej wielkości.

Estymatorem zgodnym współczynnika korelacji ρ_{kl} jest współczynnik korelacji z próby prostej, który oznaczany jest zwykle jako r_{kl} . Współczynnik ten obliczamy według wzoru

$$r_{kl} = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_k)(x_{lj} - \bar{x}_l)}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{kj} - \bar{x}_k)^2 \cdot \sum_{j=1}^n (x_{lj} - \bar{x}_l)^2}}. \quad (3)$$

We wzorze tym wielkości $\bar{x}_k$ i $\bar{x}_l$ oznaczają średnie arytmetyczne k-tej i l-tej wielkości. Wzór (3) można przedstawić jeszcze w innej postaci dogodniejszej do obliczeń numerycznych [2]

$$r_{kl} = \frac{\sum_{j=1}^n x_{kj} x_{lj} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{kj} \sum_{j=1}^n x_{lj}}{\sqrt{\left[\sum_{j=1}^n x_{kj}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_{kj} \right)^2 \right] \left[\sum_{j=1}^n x_{lj}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n x_{lj} \right)^2 \right]}}. \quad (4)$$

Współczynnik korelacji jest unormowaną miarą korelacji i zawiera się w przedziale $[-1, +1]$.

W celu wyznaczenia korelacji wielorakiej tworzymy macierz K współczynników korelacji r_{kl} dla wszystkich badanych wielkości. Wykorzystujemy do tego wzory (3) lub (4)

$$K = \begin{bmatrix} 1 & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & 1 & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Macierz korelacji K jest macierzą symetryczną mającą na głównej przekątnej same jedynki. Następnie obliczamy współczynniki korelacji wielorakiej dla każdej badanej wielkości

$$R_{i(1..i-1,i+1..m)} = \sqrt{1 - \Delta / \Delta_{ii}}, \quad (6)$$

gdzie Δ jest wyznacznikiem macierzy K , a Δ_{ii} jest minorem po usunięciu z macierzy K i -ego wiersza i i -tej kolumny.

Współczynnik korelacji wielorakiej określa stopień skorelowania i -tej wielkości od pozostałych.

W niniejszej pracy będziemy rozpatrywali trzy wielkości tj. temperaturę przed wstrząsem, temperaturę po wstrząsie i energię wstrząsu. Wykaz skojarzonych wstrząsów górniczych z przyrostem temperatury w kopalni „Jas-Mos” przedstawia tabela 2.

Tabela 2 Wykaz skojarzonych wstrząsów górniczych z przyrostem temperatury

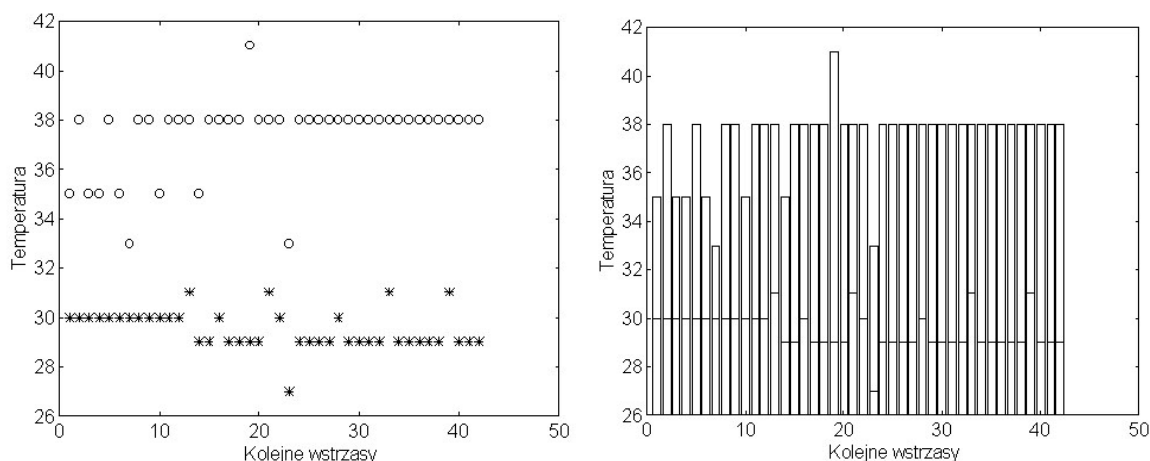
Lp.	Pokład	Energia wstrząsu [J]	Temp. górotworu przed wstrząsem [°C]	Temp. górotworu po wstrząsie [°C]	Lp.	Pokład	Energia wstrząsu [J]	Temp. górotworu przed wstrząsem [°C]	Temp. górotworu po wstrząsie [°C]
1	415/1-2	1,3E+03	30	35	22	417/1	1,4E+03	30	38
2	415/1-2	2,7E+03	30	38	23	417/1	2,3E+03	27	38
3	415/1-2	2,3E+03	30	35	24	417/1	2,2E+03	29	38
4	415/1-2	3,4E+03	30	35	25	417/1	1,2E+03	29	38
5	415/1-2	2,7E+03	30	38	26	417/1	3,1E+03	29	38
6	415/1-2	2,2E+03	30	35	27	417/1	2,0E+03	29	38
7	415/1-2	3,2E+03	30	33	28	417/1	2,6E+03	30	38
8	415/1-2	2,8E+03	30	38	29	417/1	4,5E+03	29	38
9	415/1-2	2,5E+03	30	38	30	417/1	1,9E+03	29	38
10	415/1-2	2,3E+03	30	35	31	417/1	7,5E+03	29	38
11	415/1-2	2,0E+03	30	38	32	417/1	1,9E+03	29	38
12	415/1-2	1,2E+03	30	38	33	417/1	9,2E+03	31	38
13	417/1	2,9E+03	31	38	34	417/1	1,3E+03	29	38
14	417/1	1,4E+03	29	35	35	417/1	3,0E+03	29	38
15	417/1	1,9E+03	29	38	36	417/1	1,9E+03	29	38
16	417/1	2,2E+03	30	38	37	417/1	2,1E+03	29	38
17	417/1	1,7E+03	29	38	38	417/1	3,4E+03	29	38
18	417/1	1,5E+03	29	38	39	417/1	5,3E+03	31	38
19	417/1	2,3E+03	29	41	40	417/1	1,1E+03	29	38
20	417/1	7,2E+03	29	38	41	417/1	1,E+03	29	38
21	417/1	1,8E+03	31	38	42	417/1	2,8E+03	29	38

Źródło: [1]

W celu wygody zapisu wprowadzono numeracją wielkości:

- 1 – temperatura górotworu przed wstrząsem,
- 2 – temperatura górotworu po wstrząsie,
- 3 – energia wstrząsu.

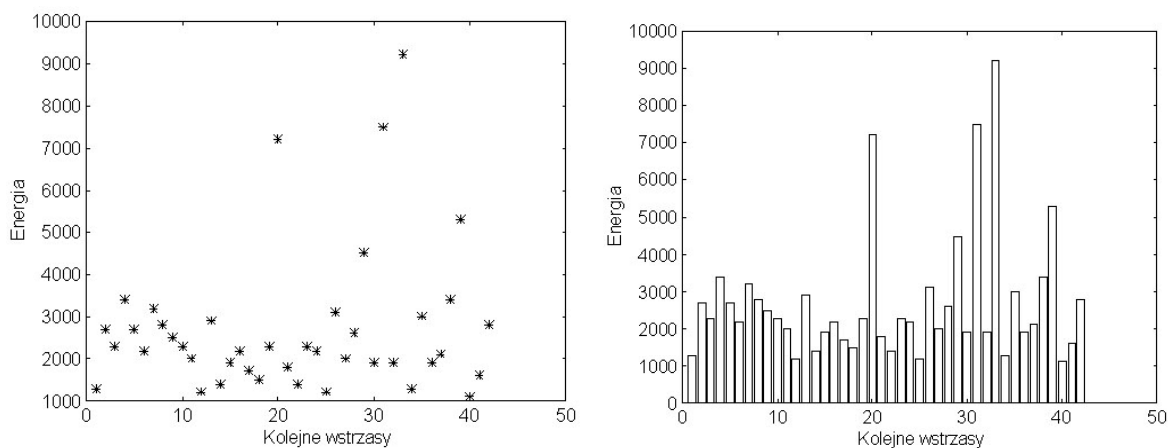
Temperaturę górotworu przed wstrząsem i po wstrząsie przedstawia rysunek 1.



Rys. 1 Temperatura kolejnych wstrząsów

(* - temp. przed wstrząsem, o - temp. po wstrząsie)

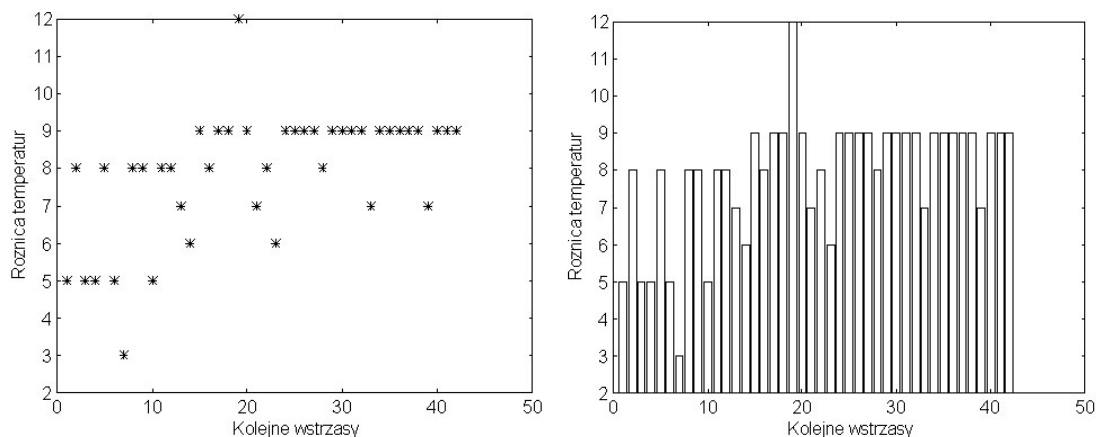
Rysunek 2 przedstawia energię dla kolejnych wstrząsów. Rysunki 1, 2 i 3 przedstawione są w dwóch postaciach graficznych w celu lepszej ilustracji rozpatrywanych zagadnień.



Rys. 2 Energia kolejnych wstrząsów

Na rysunku 3 przedstawiono różnicę temperatur dla kolejnych wstrząsów

Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP
"Przekraczamy Granice"



Rys. 3 Różnica temperatur kolejnych wstrząsów

Na podstawie wzorów (3) lub (4) obliczono współczynniki korelacji pomiędzy tymi wielkościami (odpowiednie kolumny tabeli 1). Wynoszą one odpowiednio:

$$r_{12} = 0.0510, \quad r_{13} = 0.2147, \quad r_{23} = 0.0774.$$

W celu wyznaczenia współczynników korelacji wielorakiej utworzono macierz korelacji. Macierz korelacji jest symetryczna, więc $r_{ij} = r_{ji}$. Ma ona następującą postać:

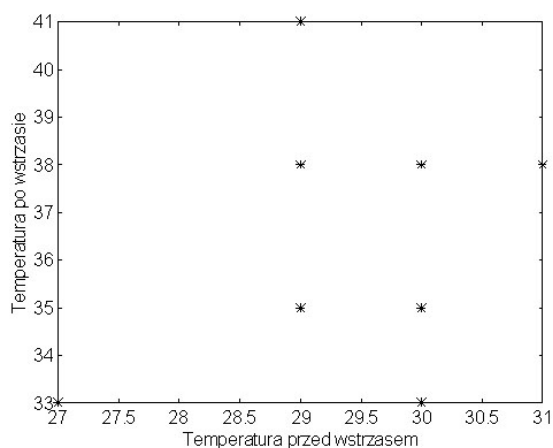
$$K = \begin{bmatrix} 1 & 0.0510 & 0.2147 \\ 0.0510 & 1 & 0.0774 \\ 0.2147 & 0.0774 & 1 \end{bmatrix}.$$

Współczynniki korelacji wielorakiej obliczone na podstawie wzoru (6) wynoszą:

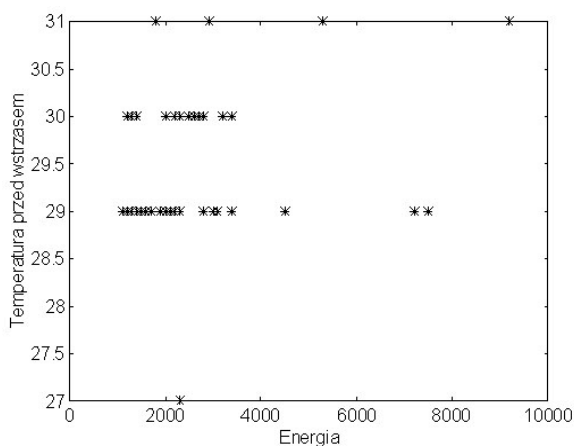
$$R_{1(2,3)} = 0.2174, \quad R_{2(1,3)} = 0.0850, \quad R_{3(1,2)} = 0.22747.$$

Policzono też korelację między energią a różnicą temperatur. Korelacja ta wnosi $r_{et} = -0.0273$.

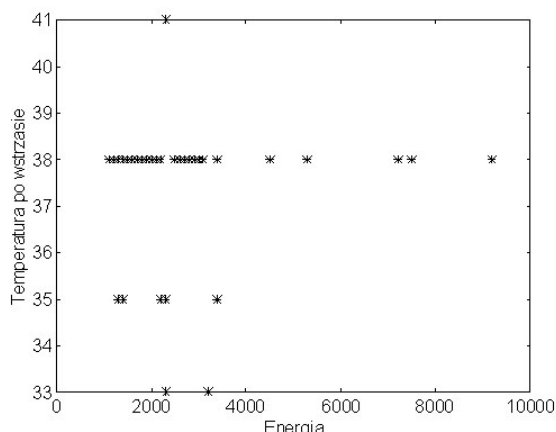
Ilustrację graficzną dla wielkości występujących przy wyznaczaniu współczynników korelacji r_{12} , r_{13} , r_{23} oraz r_{et} przedstawiają rysunki 4, 5, 6 i 7.



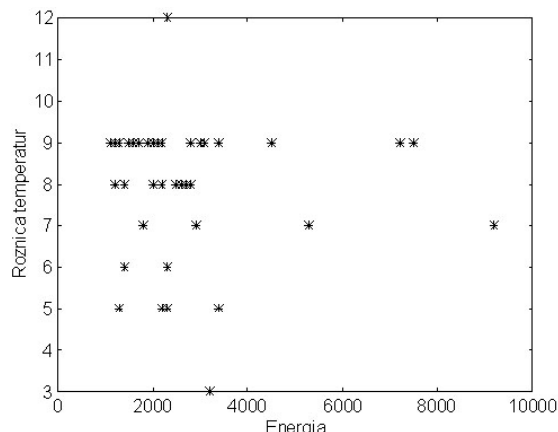
Rys. 4 Ilustracja korelacji r_{12}



Rys. 5 Ilustracja korelacji r_{13}



Rys. 6 Ilustracja korelacji r_{23}



Rys. 7 Ilustracja korelacji r_{et}

WNIOSKI KOŃCOWE

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wszystkie współczynniki korelacji r_{12} , r_{13} , r_{23} oraz r_{et} są bardzo małe. Potwierdza to też położenie punktów na rysunkach 4, 5, 6 i 7. Także współczynniki korelacji wielorakiej $R_{1(2,3)}$, $R_{2(1,3)}$ i $R_{3(1,2)}$ są bardzo małe. Tak więc nie uzyskano zależności pomiędzy rozpatrywanymi wielkościami. Natomiast rzeczywistym i zauważalnym był fakt, że po wstrząsie temperatura górotworu wzrastała o kilka stopni w najbliższym otoczeniu ogniska wstrząsu. Współczynnik r_{et} pokazuje, że występująca różnica temperatur po wstrząsie była niezależna od wielkości energii wstrząsu.

Należy zwrócić uwagę na to, że wzrost temperatury górotworu był rejestrowany po fakcie tj. po wystąpieniu wstrząsu. W celu prognozowania wystąpienia wstrząsu należałoby prowadzić badania górotworu przed wstrząsem i poszukiwać symptomów czy prekursorów wskazujących na niedalekie wystąpienie wstrząsu.

LITERATURA

1. P. Chmiel, J. Kutkowski, M. Lubryka, J. Sułkowski. "Występowanie wzrostu temperatury górotworu w strefach zaistniałych wstrząsów górniczych zaobserwowanych w wyrobiskach KWK „Jas-Mos”,". *Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2004*. PAN, AGH, Szczyrk 23-27. 02, 2004, s. 407-417.
2. J. Greń J. *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*. PWN, Warszawa, 1982, s. 407-417.
3. K. Stec. *Metody obliczania energii sejsmicznej – rozwój metod i stan aktualny. Badania geofizyczne w kopalniach*. Praca zbiorowa pod redakcją J. Dubińskiego, Z. Pileckiego, W. Zuberka. Wydawnictwo IGSM i E PAN, Kraków, 2001, s. 103-115.



PŘEKRAČUJEME HRANICE
PRZEKRACZAMY GRANICE
2014–2020



EVROPSKÁ UNIE / UNIA EUROPEJSKA
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO



Projekt jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP
"Przekraczamy Granice"

Data przesłania artykułu do Redakcji: 04.2017

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 05.2017

dr hab. inż. Stanisław KOWALIK, profesor WSB

Wyższa Szkoła Biznesu

Katedra Informatyki

ul. Cieplaka 1c, 41-300 Dąbrowa Górnicza, Polska

tel.: +48516635139, e-mail: skowalik@wsb.edu.pl

BADANIE KORELACJI POMIĘDZY TEMPERATURĄ GÓROTWORU A ENERGIĄ WSTRZĄSU

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki obliczeń korelacji pomiędzy temperaturą górotworu a energią wstrząsu w kopalni węgla „Jas-Mos”. Określono korelację pomiędzy temperaturą przed wstrząsem i po wstrząsie, temperaturą przed wstrząsem i energią wstrząsu oraz temperaturą po wstrząsie i energią wstrząsu. Obliczono też korelację wieloraką pomiędzy badanymi wielkościami. Określono także korelację między różnicą temperatur i energią wstrząsu.

Słowa kluczowe: górotwór, wstrząs górniczy, temperatura, korelacja.

RESEARCH OF CORRELATION BETWEEN TEMPERATURE ROCK MASS AND ENERGY OF TREMOR

Abstract: In paper results of calculations of correlation between temperature of rock mass in coal mine "Jas-Mos", and energy of tremor are presented. Correlation referred temperatures before tremor and after tremor, temperatures before tremor and energy of tremor and temperatures after tremor and energy of tremor. Also multiple correlation was calculated between the test values. At the correlation between difference of temperatures and energy of tremor was also determined.

Key words: rock mass, tremor, temperature, correlation