ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: AUTOMATYKA z. 122 Nr kol. 1388

Stanisław KOWALIK

MODYFIKACJA SPOSOBU OKREŚLENIA HIPOCENTRUM WSTRZĄSU GÓRNICZEGO W KOPALNI PRZY WYKORZYSTANIU TEORII ZBIORÓW ROZMYTYCH

Streszczenie. W kopalni rejestruje się wstrząsy podziemne za pomocą sejsmometrów. Różne metody obliczeniowe mogą prowadzić do różnych wyników. W pracy przedstawiono pomiary sejsmometrów w postaci zbiorów rozmytych. Podano metodę obliczania hipocentrum wstrząsu górniczego wykorzystując wcześniej określone zbiory rozmyte. Przedstawiono przykład określania hipocentrum wstrząsu górniczego na podstawie danych z kopalni węgla kamiennego „Szombierki" przy użyciu różnych metod pomiarowych.

MODIFICATION OF THE WAY DETERMINING THE HIPOCENTRE OF TREMORS IN A MINE WITH THE APPLICATION OF A THEORY OF FUZZY SETS

Summary. Tremors in a mine are monitored by means of seismometers. Different calculation methods give different results. Seismometer measurements by means of fuzzy sets has been presented in the paper. The method of locating the hipocentre of tremor in a mine, using described fuzzy sets,has been presented. The example of locating the epicentre of tremors upon data from coal mine „Szombierki" has been described (for using different measurement methods).

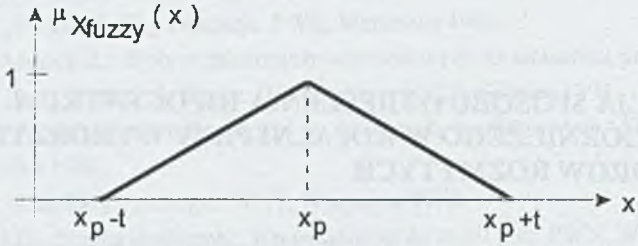
1. Wprowadzenie

Wstrząsy podziemne występujące w kopalni rejestrowane są przez układ sejsmometrów. Do określenia hipocentrum wstrząsu wykorzystuje się różne metody matematyczne [5], które mogą dać różne wyniki. Celem tej pracy jest określenie hipocentrum wstrząsu górniczego na podstawie różnych wyników otrzymanych z różnych metod. Wykorzystamy przy tym teorię zbiorów rozmytych [1], [2], [3], [4], [6]. Każda metoda określa trzy współrzędne hipocentrum x, y, z w przestrzeni trójwymiarowej oraz podaje tolerancje (błąd pomiaru) dla każdej współ-

rzędnej [4], [5]. Pomiar jednej współrzędnej, np. x, będziemy interpretowali jako zbiór rozmyty X_{fuzzy} o funkcji przynależności $\mu_{Xfuzzy}(x)$. Tę funkcję przedstawia rysunek 1, gdzie:

x_p - oznacza wielkość pomiaru współrzędnej x,

t - oznacza tolerancję dla pomiaru.



Rys.1. Funkcja przynależności dla współrzędnej x jednego pomiaru
Fig. 1. The membership function for one measurement of coordinate x

Do obliczeń wykorzystamy dane z pracy [5] odnośnie do faktycznych wstrząsów, które miały miejsce w kopalni węgla kamiennego "Szombierki" w rejonie 2A/509.

2. Przykład określania hipocentrum wstrząsu

Dla przykładu zajmiemy się jednym wstrząsem, który w pracy [5] ma numer 34. Na podstawie danych z sejsmometrów wstrząs lokalizowany był według pięciu różnych metod obliczeniowych:

a) przez kopalnianą służbę geofizyczną na podstawie algorytmu A. Kijki,
b) według metody P dla ważonej funkcji błędu lokalizacji,
c) według metody P dla nieważonej funkcji błędu lokalizacji,
d) według metody PA dla ważonej funkcji błędu lokalizacji,
e) według metody PA dla nieważonej funkcji błędu lokalizacji.

Współrzędne miejsca wstrząsu oznaczono poprzez x, y, z. Są to współrzędne wyrażone w metrach od ustalonego punktu odniesienia w kopalni. Współrzędna z oznacza głębokość pod ziemią.

Otrzymano następujące rezultaty lokalizacji wstrząsu [5]:

metoda	x[m]	y[m]	z[m]
a)	6820	-1620	-520
b)	6828.21	-1658.83	-554.42
c)	6815	-1658	-531

d)	6855	-1663	-535
e)	6919	-1816	-581
średnia wart.	6847.44	-1683.17	-544.28

Tolerancje w obliczeniach [5] zostały przyjęte jako:

58.33 [m] - dla metody a),

52.01 [m] - dla metody b), d),

99.27 [m] - dla metody c), e).

Autor pracy [5] przyjął jako współrzędne hipocentrum wstrząsu średnie arytmetyczne z metod a), b), c), d), e). W ten sposób potraktował wszystkie pomiary jednakowo. My do pomiarów bardziej skupionych będziemy przywiązywali większą wagę, a dla pomiarów zbyt oddalonych (zbyt różniących się od pozostałych) mniejszą. Metody a), b), c), d), e) zostały ponumerowane cyframi 1, 2, 3, 4, 5.

Na podstawie wymienionych danych tworzymy dla każdego pomiaru zbiór rozmyty, jak na rysunku 1. Trójkątną funkcję przynależności możemy napisać jako triangle (x;a,b,c) = max $(\min(\frac{x-a}{b-a},\frac{c-x}{c-b}),0)$. Po przyjęciu odpowiednich parametrów a, b, c otrzymuje się następujące funkcje przynależności:

$$\mu_{x1}(x)=\begin{cases}0.017x-115.921 & \text{dla} \quad x\in[6761.67,6820)\\ -0.017x+117.921 & \text{dla} \quad x\in[6820,6878.33)\\ 0 & \text{dla} \quad x\notin[6761.67,6878.33)\end{cases} \tag{1}$$

$$\mu_{x2}(x)=\begin{cases}0.019x-130.287 & \text{dla} \quad x\in[6776.20,6828.21)\\ -0.019x+132.287 & \text{dla} \quad x\in[6828.21,6880.22)\\ 0 & \text{dla} \quad x\notin[6776.20,6880.22)\end{cases} \tag{2}$$

$$\mu_{x3}(x)=\begin{cases}0.01x-67.651 & \text{dla} \quad x\in[6715.73,6815)\\ -0.01x+69.651 & \text{dla} \quad x\in[6815,6914.27)\\ 0 & \text{dla} \quad x\notin[6715.73,6914.27)\end{cases} \tag{3}$$

$$\mu_{x4}(x)=\begin{cases}0.019x-131.379 & \text{dla} \quad x\in[6832.99,6885)\\ -0.019x+133.379 & \text{dla} \quad x\in[6885,6937.01)\\ 0 & \text{dla} \quad x\notin[6832.99,6937.01)\end{cases} \tag{4}$$

$$\mu_{x5}(x) = \begin{cases} 0.01x - 68.699 & \text{dla} \quad x \in [6819.73, 6919) \\ -0.01x + 70.699 & \text{dla} \quad x \in [6919, 7018.27) \\ 0 & \text{dla} \quad x \notin [6819.73, 7018.27) \end{cases} \tag{5}$$

$$\mu_{y1}(y) = \begin{cases} 0.017y + 28.773 & \text{dla} \quad y \in [-1678.33, -1620) \\ -0.017y - 26.773 & \text{dla} \quad y \in [-1620, -1561.67) \\ 0 & \text{dla} \quad y \notin [-1678.33, -1561.67) \end{cases} \tag{6}$$

$$\mu_{y2}(y) = \begin{cases} 0.019y + 32.894 & \text{dla} \quad y \in [-1710.84, -1658.83) \\ -0.019y - 30.894 & \text{dla} \quad y \in [-1658.83, -1606.82) \\ 0 & \text{dla} \quad y \notin [-1710.84, -1606.82) \end{cases} \tag{7}$$

$$\mu_{y3}(y) = \begin{cases} 0.01y + 17.702 & \text{dla} \quad y \in [-1757.27, -1658) \\ -0.01y - 15.702 & \text{dla} \quad y \in [-1658, -1558.73) \\ 0 & \text{dla} \quad y \notin [-1757.27, -1558.73) \end{cases} \tag{8}$$

$$\mu_{y4}(y) = \begin{cases} 0.019y + 32.975 & \text{dla} \quad y \in [-1715.01, -1663) \\ -0.019y - 30.975 & \text{dla} \quad y \in [-1663, -1610.99) \\ 0 & \text{dla} \quad y \notin [-1715.01, -1610.99) \end{cases} \tag{9}$$

$$\mu_{y5}(y) = \begin{cases} 0.01y + 19.294 & \text{dla} \quad y \in [-1915.27, -1816) \\ -0.01y - 17.294 & \text{dla} \quad y \in [-1816, -1716.73) \\ 0 & \text{dla} \quad y \notin [-1915.27, -1716.73) \end{cases} \tag{10}$$

$$\mu_{z1}(z) = \begin{cases} 0.017z + 9.915 & \text{dla} \quad z \in [-578.33, -520) \\ -0.017z - 7.915 & \text{dla} \quad z \in [-520, -461.67) \\ 0 & \text{dla} \quad z \notin [-578.33, -461.67) \end{cases} \tag{11}$$

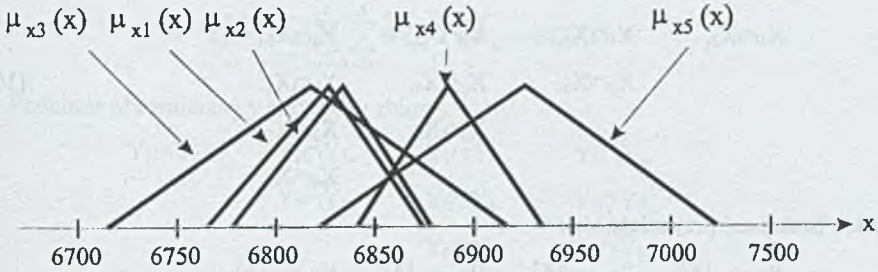
$$\mu_{z2}(z) = \begin{cases} 0.019z + 11.66 & \text{dla} \quad z \in [-606.43, -554.42) \\ -0.019z - 9.66 & \text{dla} \quad z \in [-554.42, -502.41) \\ 0 & \text{dla} \quad z \notin [-606.43, -502.41) \end{cases} \tag{12}$$

$$\mu_{z3}(z) = \begin{cases} 0.01z + 6.349 & \text{dla} \quad z \in [-630.27, -531) \\ -0.01z - 4.349 & \text{dla} \quad z \in [-531, -431.73) \\ 0 & \text{dla} \quad z \notin [-630.27, -431.73) \end{cases} \tag{13}$$

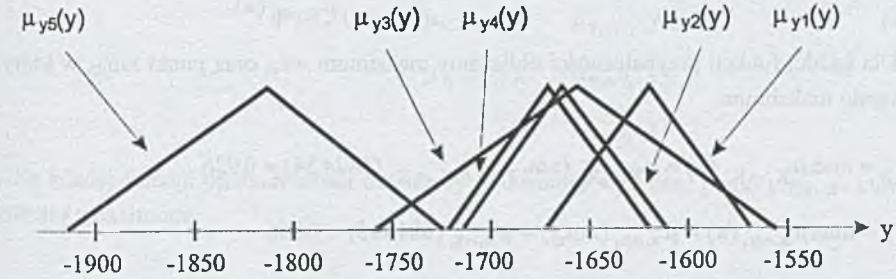
$$\mu_{z4}(z) = \begin{cases} 0.019z + 11.286 & \text{dla} \quad z \in [-587.01, -535) \\ -0.019z - 9.289 & \text{dla} \quad z \in [-535, -482.99) \\ 0 & \text{dla} \quad z \notin [-587.01, -482.99) \end{cases} \tag{14}$$

$$\mu_{z5}(z) = \begin{cases} 0.01z + 6.853 & \text{dla} \quad z \in [-680.27, -581) \\ -0.01z - 4.853 & \text{dla} \quad z \in [-581, -481.73) \\ 0 & \text{dla} \quad z \notin [-680.27, -481.73) \end{cases} \tag{15}$$

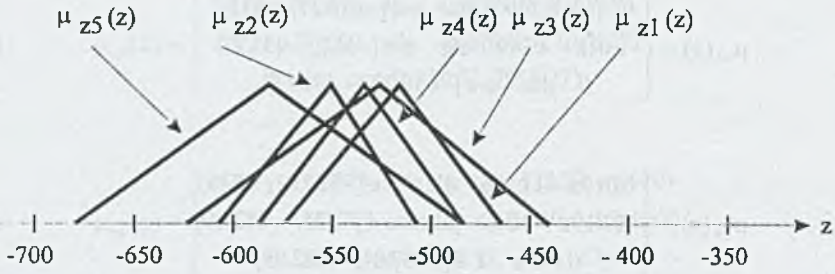
Te funkcje przynależności pokazane są na rysunkach 2, 3, 4.



Rys.2. Funkcje przynależności zbiorów rozmytych dla współrzędnej x
Fig. 2. The membership functions for fuzzy sets for x variable



Rys.3. Funkcje przynależności zbiorów rozmytych dla współrzędnej y
Fig. 3. The membership functions for fuzzy sets for y variable



Rys.4. Funkcje przynależności zbiorów rozmytych dla współrzędnej z
Fig. 4. The membership functions for fuzzy sets for z variable

Dla każdej współrzędnej x, y, z z osobna oraz dla każdej pary zbiorów rozmytych obliczamy iloczyny tych zbiorów i znajdujemy maksimum funkcji przynależności tych iloczynów. To maksimum charakteryzuje bliskość dwóch zbiorów rozmytych traktowanych jako pomiary niedokładne - rozmyte. Mianowicie dla zmiennej x tworzymy zbiory:

$$\begin{array}{llll} X_1 \cap X_2, & X_1 \cap X_3, & X_1 \cap X_4, & X_1 \cap X_5, \\ & X_2 \cap X_3, & X_2 \cap X_4, & X_2 \cap X_5, \\ & & X_3 \cap X_4, & X_3 \cap X_5, \\ & & & X_4 \cap X_5 \end{array} \tag{16}$$

wraz z ich funkcjami przynależności:

$$\begin{array}{llll} \mu_{X_1 \cap X_2}(x), & \mu_{X_1 \cap X_3}(x), & \mu_{X_1 \cap X_4}(x), & \mu_{X_1 \cap X_5}(x), \\ & \mu_{X_2 \cap X_3}(x), & \mu_{X_2 \cap X_4}(x), & \mu_{X_2 \cap X_5}(x), \\ & & \mu_{X_3 \cap X_4}(x), & \mu_{X_3 \cap X_5}(x), \\ & & & \mu_{X_4 \cap X_5}(x). \end{array} \tag{17}$$

Dla każdej funkcji przynależności obliczamy maksimum wx_{jk} oraz punkt xm_{jk}, w którym wystąpiło maksimum.

$$wx_{12} = \max_x \mu_{X_1 \cap X_2}(x) = \mu_{X_1 \cap X_2}(xm_{12}) = \mu_{X_1 \cap X_2}(6824.34) = 0.926$$

$$wx_{13} = \max_x \mu_{X_1 \cap X_3}(x) = \mu_{X_1 \cap X_3}(xm_{13}) = \mu_{X_1 \cap X_3}(6818.15) = 0.966$$

$$wx_{14} = \max_x \mu_{X_1 \cap X_4}(x) = \mu_{X_1 \cap X_4}(xm_{14}) = \mu_{X_1 \cap X_4}(6838.50) = 0.683$$

$$wx_{15} = \max_x \mu_{X_1 \cap X_5}(x) = \mu_{X_1 \cap X_5}(xm_{15}) = \mu_{X_1 \cap X_5}(6856.64) = 0.372$$

$$wx_{23} = \max_x \mu_{X_2 \cap X_3}(x) = \mu_{X_2 \cap X_3}(xm_{23}) = \mu_{X_2 \cap X_3}(6823.67) = 0.913$$

$$wx_{24} = \max_x \mu_{X_2 \cap X_4}(x) = \mu_{X_2 \cap X_4}(xm_{24}) = \mu_{X_2 \cap X_4}(6841.60) = 0.742$$

$$wx_{25} = \max_x \mu_{X_2 \cap X_5}(x) = \mu_{X_2 \cap X_5}(xm_{25}) = \mu_{X_2 \cap X_5}(6859.42) = 0.400$$

$$wx_{34} = \max_x \mu_{X_3 \cap X_4}(x) = \mu_{X_3 \cap X_4}(xm_{34}) = \mu_{X_3 \cap X_4}(6841.25) = 0.736$$

$$wx_{35} = \max_x \mu_{X_3 \cap X_5}(x) = \mu_{X_3 \cap X_5}(xm_{35}) = \mu_{X_3 \cap X_5}(6867.00) = 0.476$$

$$wx_{45} = \max_x \mu_{X_4 \cap X_5}(x) = \mu_{X_4 \cap X_5}(xm_{45}) = \mu_{X_4 \cap X_5}(6877.00) = 0.577$$

Wielkość xm_{jk} traktujemy jako pomiar współrzędnej x charakterystyczny dla zbiorów X_j i X_k i zastępujący dwa pomiary x_j i x_k, ale uwzględniający rozmytość zbiorów X_j i X_k.

Obliczamy teraz sumę s wielkości wx_{jk}

$$s = \sum_{j=1}^{4} \sum_{k=j+1}^{5} wx_{jk} = 6.792 \tag{18}$$

Następnie obliczamy współrzędną x_0 wystąpienia wstrząsu podziemnego jako kombinację liniową wielkości xm_{jk} ze współczynnikami proporcjonalnymi do wx_{jk}:

$$x_0 = (1/s) \sum_{j=1}^{4} \sum_{k=j+1}^{5} wx_{jk} \times xm_{jk} = 6839.81 \tag{19}$$

Podobnie dla zmiennej y tworzymy zbiory:

$$\begin{array}{llll} Y_1 \cap Y_2, & Y_1 \cap Y_3, & Y_1 \cap Y_4, & Y_1 \cap Y_5, \\ & Y_2 \cap Y_3, & Y_2 \cap Y_4, & Y_2 \cap Y_5, \\ & & Y_3 \cap Y_4, & Y_3 \cap Y_5, \\ & & & Y_4 \cap Y_5 \end{array} \tag{20}$$

oraz ich funkcje przynależności

$$\begin{array}{llll} \mu_{Y_1 \cap Y_2}(y), & \mu_{Y_1 \cap Y_3}(y), & \mu_{Y_1 \cap Y_4}(y), & \mu_{Y_1 \cap Y_5}(y), \\ & \mu_{Y_2 \cap Y_3}(y), & \mu_{Y_2 \cap Y_4}(y), & \mu_{Y_2 \cap Y_5}(y), \\ & & \mu_{Y_3 \cap Y_4}(y), & \mu_{Y_3 \cap Y_5}(y), \\ & & & \mu_{Y_4 \cap Y_5}(y) \end{array} \tag{21}$$

Dla każdej funkcji przynależności obliczamy maksimum wy_{jk} oraz punkt ym_{jk}, w którym wystąpiło maksimum.

$$wy_{12} = \max_y \mu_{Y_1 \cap Y_2}(y) = \mu_{Y_1 \cap Y_2}(ym_{12}) = \mu_{Y_1 \cap Y_2}(-1640.53) = 0.645$$

$$wy_{13} = \max_y \mu_{Y_1 \cap Y_3}(y) = \mu_{Y_1 \cap Y_3}(ym_{13}) = \mu_{Y_1 \cap Y_3}(-1634.06) = 0.759$$

$$wy_{14} = \max_y \mu_{Y_1 \cap Y_4}(y) = \mu_{Y_1 \cap Y_4}(ym_{14}) = \mu_{Y_1 \cap Y_4}(-1642.73) = 0.610$$

$$wy_{15} = \max_y \mu_{Y_1 \cap Y_5}(y) = 0$$

$$wy_{23} = \max_y \mu_{Y_2 \cap Y_3}(y) = \mu_{Y_2 \cap Y_3}(ym_{23}) = \mu_{Y_2 \cap Y_3}(-1658.54) = 0.995$$

$$wy_{24} = \max_y \mu_{Y_2 \cap Y_4}(y) = \mu_{Y_2 \cap Y_4}(ym_{24}) = \mu_{Y_2 \cap Y_4}(-1660.92) = 0.960$$

$$wy_{25} = \max_y \mu_{Y_2 \cap Y_5}(y) = 0$$

$$wy_{34} = \max_y \mu_{Y_3 \cap Y_4}(y) = \mu_{Y_3 \cap Y_4}(ym_{34}) = \mu_{Y_3 \cap Y_4}(-1661.28) = 0.967$$

$$wy_{35} = \max_y \mu_{Y_3 \cap Y_5}(y) = \mu_{Y_3 \cap Y_5}(ym_{35}) = \mu_{Y_3 \cap Y_5}(-1737.00) = 0.204$$

$$wy_{45} = \max_y \mu_{Y_4 \cap Y_5}(y) = 0$$

Pojawienie się zer przy obliczaniu wielkości wy_{15}, wy_{25}, wy_{45} oznacza, że zbiór Y_5 nie ma części wspólnej ze zbiorami Y_1, Y_2, Y_5.

Obliczamy teraz sumę s wielkości wy_{jk}

$$s = \sum_{j=1}^{4} \sum_{k=j+1}^{5} wy_{jk} = 5.143 \tag{22}$$

Następnie obliczamy współrzędną y_0 wystąpienia wstrząsu podziemnego jako kombinację liniową wielkości ym_{jk} ze współczynnikami proporcjonalnymi do wy_{jk}:

$$y_0 = (1/s) \sum_{j=1}^{4} \sum_{k=j+1}^{5} wy_{jk} \times ym_{jk} = -1694.86 \tag{23}$$

Także dla zmiennej z tworzymy zbiory:

$$\begin{array}{llll} Z_1 \cap Z_2, & Z_1 \cap Z_3, & Z_1 \cap Z_4, & Z_1 \cap Z_5, \\ & Z_2 \cap Z_3, & Z_2 \cap Z_4, & Z_2 \cap Z_5, \\ & & Z_3 \cap Z_4, & Z_3 \cap Z_5, \\ & & & Z_4 \cap Z_5 \end{array} \tag{24}$$

wraz z ich funkcjami przynależności

$$\begin{array}{llll} \mu_{Z_1 \cap Z_2}(z), & \mu_{Z_1 \cap Z_3}(z), & \mu_{Z_1 \cap Z_4}(z), & \mu_{Z_1 \cap Z_5}(z), \\ & \mu_{Z_2 \cap Z_3}(z), & \mu_{Z_2 \cap Z_4}(z), & \mu_{Z_2 \cap Z_5}(z), \\ & & \mu_{Z_3 \cap Z_4}(z), & \mu_{Z_3 \cap Z_5}(z), \\ & & & \mu_{Z_4 \cap Z_5}(z) \end{array} \tag{25}$$

Dla każdej funkcji przynależności obliczamy maksimum wz_{jk} oraz punkt zm_{jk}, w którym wystąpiło maksimum.

$$wz_{12} = \max_z \mu_{Z_1 \cap Z_2}(z) = \mu_{Z_1 \cap Z_2}(zm_{12}) = \mu_{Z_1 \cap Z_2}(-538.20) = 0.688$$

$$wz_{13} = \max_z \mu_{Z_1 \cap Z_3}(z) = \mu_{Z_1 \cap Z_3}(zm_{13}) = \mu_{Z_1 \cap Z_3}(-524.07) = 0.930$$
$$wz_{14} = \max_z \mu_{Z_1 \cap Z_4}(z) = \mu_{Z_1 \cap Z_4}(zm_{14}) = \mu_{Z_1 \cap Z_4}(-527.93) = 0.864$$
$$wz_{15} = \max_z \mu_{Z_1 \cap Z_5}(z) = \mu_{Z_1 \cap Z_5}(zm_{15}) = \mu_{Z_1 \cap Z_5}(-542.58) = 0.613$$
$$wz_{23} = \max_z \mu_{Z_2 \cap Z_3}(z) = \mu_{Z_2 \cap Z_3}(zm_{23}) = \mu_{Z_2 \cap Z_3}(-546.37) = 0.845$$
$$wz_{24} = \max_z \mu_{Z_2 \cap Z_4}(z) = \mu_{Z_2 \cap Z_4}(zm_{24}) = \mu_{Z_2 \cap Z_4}(-544.71) = 0.813$$
$$wz_{25} = \max_z \mu_{Z_2 \cap Z_5}(z) = \mu_{Z_2 \cap Z_5}(zm_{25}) = \mu_{Z_2 \cap Z_5}(-563.56) = 0.824$$
$$wz_{34} = \max_z \mu_{Z_3 \cap Z_4}(z) = \mu_{Z_3 \cap Z_4}(zm_{34}) = \mu_{Z_3 \cap Z_4}(-533.63) = 0.974$$
$$wz_{35} = \max_z \mu_{Z_3 \cap Z_5}(z) = \mu_{Z_3 \cap Z_5}(zm_{35}) = \mu_{Z_3 \cap Z_5}(-556.00) = 0.748$$
$$wz_{45} = \max_z \mu_{Z_4 \cap Z_5}(z) = \mu_{Z_4 \cap Z_5}(zm_{45}) = \mu_{Z_4 \cap Z_5}(-550.81) = 0.696$$

Obliczamy teraz sumę s wielkości wz_{jk}:

$$s = \sum_{j=1}^{4} \sum_{k=j+1}^{5} wz_{jk} = 7.996 \tag{26}$$

Następnie obliczamy współrzędną z_0 wystąpienia wstrząsu podziemnego jako kombinację liniową wielkości zm_{jk} ze współczynnikami proporcjonalnymi do wz_{jk}:

$$z_0 = (1/s) \sum_{j=1}^{4} \sum_{k=j+1}^{5} wz_{jk} \times zm_{jk} = -542.13 \tag{27}$$

Wobec tego hipocentrum wstrząsu podziemnego w kopalni ma współrzędne:

$$x_0 = 6839.81 \text{ [m]}, \tag{28}$$
$$y_0 = -1654.86 \text{ [m]}, \tag{29}$$
$$z_0 = -542.13 \text{ [m]} \tag{30}$$

Porównanie współrzędnych x_0, y_0, z_0 z wynikami obliczonymi jako średnie arytmetyczne z metod a), b), c), d), e) [5] wskazuje, że wystąpiły różnice w określeniu hipocentrum wstrząsu. Dla współrzędnej x ta różnica wynosi około 8[m], dla y 28[m], a dla z 2[m]. Różnice te powstały dlatego, że w metodzie przedstawionej w tej pracy pomiary zbyt różniące się od grupy skupionych miały mniejszy wpływ na wynik obliczeń. Największa różnica wystąpiła dla współrzędnej y, ponieważ (jak widać na rysunku 3) pomiar według piątej metody e) posiadał najmniejszą wartość i był zbyt różniący się od pozostałych. Dlatego w obliczeniach miał mały udział.

LITERATURA

1. Czogała E., Pedrycz W.: Elementy i metody teorii zbiorów rozmytych. PWN, Warszawa 1985.
2. Drewniak J.: Fuzzy relation calculus. Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego Nr 1063, Katowice 1989.

3. Drewniak J.: Podstawy teorii zbiorów rozmytych. Skrypt Uniwersytetu Śląskiego Nr 347, Katowice 1987.
4. Kowalik S.: Podejmowanie decyzji w górnictwie w warunkach niepewności. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Górnictwo, z. nr 228, Gliwice 1996.
5. Mendecki A.: Metody jednoczesnej lokalizacji ognisk grupy wstrząsów górotworu i wyznaczania parametrów anizotropii prędkości fal sejsmicznych. Praca doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Górniczy, Gliwice 1981.
6. Zadeh L.A.: Fuzzy sets. Information and Control, vol. 8, 1965.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ernest Czogała

Wpłynęło do Redakcji 5. 05. 1998 r.

Abstract

Tremors which occur in a mine are recorded by a set of seismometers. Different mathematical methods [5] are used to locate the hipocentre of tremors. These methods can give different results. The aim of this paper is to locate the hipocentre of tremors upon different results given by different methods. Fuzzy sets theory [1], [2], [3], [4] and [6] will be used to achieve this purpose. Each method calculates the coordinates x, y and z in three dimensional space and gives positional tolerance (measurement error) for each coordinate [4], [5].

Seismometer measurements by means of fuzzy sets has been presented in the paper. The method of locating the hipocentre of tremors in a mine, using described fuzzy sets, has been presented. Coordinate x measurement will be considered as fuzzy set X_{fuzzy} with membership function $\mu_{X_{fuzzy}}(x)$. This function is shown in figure 1, where:

x_p - is coordinate x measurement,

t - is tolerance for coordinate x.

The example of locating the epicentre of tremor has been presented in the paper.Data from the paper [5] collected during tremors in coal mine "Szombierki" in the region 2A/509.