

Bernard DRZEŻLA
Politechnika Śląska, Gliwice

UTRUDNIENIA W PIONOWEJ LOKALIZACJI OGNISK WSTRZĄSÓW GÓROTWORU W OPARCIU O METODĘ P W PRZYPADKU PŁASKICH SIECI SEJSMOMETRÓW

Streszczenie. Przedstawiono przyczyny trudności w lokalizacji pionowej ognisk wstrząsów górotworu oraz pewną „pułapkę” tkwiącą w lansowanej przez niektórych autorów koncepcji ich usunięcia.

DIFFICULTIES IN VERTICAL LOCALIZATION OF SEISMIC TREMORS IN MINES IN THE CASE OF P METHOD AND PLANAR SEISMIC NETWORKS

Summary. Reasons for difficulties in vertical localization of mining tremors were presented. Also a “trap” connected with a concept of their removal, set forth by some authors, was pointed out.

1. Wprowadzenie

Lokalizacja ognisk wstrząsów w kopalniach, zarówno węgla, jak i w szczególności miedzi, natrafia na utrudnienia związane z faktem, że geometria sieci sejsmometrów nie jest dostatecznie przestrzenna. Kształt sieci sejsmometrów wynika z sieci istniejących (dostępnych) wyrobisk górniczych, a te w większości związane są z obsługą ściśle jednego, jak w kopalniach miedzi, lub, co najwyżej dwóch, rzadko trzech poziomów wydobywczych lub wentylacyjnych, jak w kopalniach węgla, przy dość rozległych obszarach górniczych i często rozproszonych w poziomie robotach przygotowawczych i eksploatacyjnych. Z uwagi na bardzo wysoki koszt drążenia nie zakłada się raczej wykonywania specjalnego wyrobiska dla założenia li tylko stacji sejsmometrów. Z kolei założenie stacji na powierzchni terenu też

natrafia na ograniczenia z przyczyn organizacyjnych i materialnych, a ponadto i tak nie za bardzo rozwiązuje problem, ponieważ wprowadza komplikacje do modelu prędkościowego ośrodka. Wszystko to powoduje, że istniejące sieci sejsmometrów są ściśle, prawie lub dość płaskie.

Druga przyczyna utrudnień w lokalizacji ognisk tkwi w stosowanej powszechnie metodzie P lokalizacji. Metoda ta z jednej strony posiada poważne zalety w postaci łatwości identyfikacji wejścia, małego błędu oszacowania momentu wejścia i łatwości komputeryzacji obliczeń. Zalety te spowodowały powszechne stosowanie metody. Z drugiej strony metoda ta posiada pewne wewnętrzne wady, słabo uświadamiane przez ogół, związane z jej numerycznymi właściwościami. Te negatywne właściwości numeryczne to słabe, złe, lub bardzo złe uwarunkowanie zadania lokalizacji w przypadku tzw. wstrząsów zewnętrznych, czyli wstrząsów leżących poza siecią oraz dwie formy niejednoznaczności lub quasi-niejednoznaczności rozwiązania zadania lokalizacji (np. Drzęźła 1993, 2000). W danym przypadku brak jednoznaczności rozwiązania nie jest wadą dokuczliwą, natomiast słabe uwarunkowanie zadania jest wadą o decydującym znaczeniu.

Lokalizacja przestrzenna ognisk wstrząsów górotworu przy płaskim rozmieszczeniu sejsmometrów jest szczególnym przypadkiem lokalizacji wstrząsów poza siecią. W tym szczególnym przypadku metoda P jest wyjątkowo bezradna i może dawać dowolnie duże błędy lokalizacji. Niekoniecznie przy tym musi pomóc umieszczenie jednego dodatkowego stanowiska poza siecią płaską, np. w otworze odwierconym w kierunku skał stropowych. Stwierdzenia te postaramy się zilustrować przykładami.

2. Wyjściowe zależności i informacja o programach komputerowych

Stwierdzenia wyżej wypowiedziane mają charakter ogólny, dlatego nie jest ważne, czy w rozważaniach będziemy rozpatrywać górotwór rzeczywisty, w całej jego złożoności, czy też oprzemy je na modelu najprostszym, tj. modelu ośrodka jednorodnego i izotropowego. Przy takim modelu lokalizacja ognisk wstrząsów według metody P przeprowadzana jest w oparciu o równania stacyjne

$$f_i = t_i - t_0 - \frac{P_i}{v} = 0 \quad (1)$$

gdzie:

$$P_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2}$$

- t_i – moment wejścia fali P na i-te stanowisko,
 t_0 – tzw. czas w ognisku (origin time – moment wystąpienia zdarzenia),
 v – prędkość fali P,
 x_i, y_i, z_i – współrzędne i-tego stanowiska,
 x_0, y_0, z_0 – współrzędne ogniska,
 $i = 1, \dots, n$
 n - liczba stanowisk sejsmometrów.

Niewiadomymi są tu oczywiście x_0, y_0, z_0 i t_0 .

Wektor błędów rozwiązań $\bar{\delta}$ wektora równań $\bar{f} = (f_1, \dots, f_n)^T$ (gdzie: T – symbol transpozycji) można oszacować według jednego z dwu wzorów (Drzęzła 1993, 1995)

$$\bar{\delta} = -(A^T A)^{-1} A^T B \bar{\varepsilon} \quad (2)$$

lub

$$\bar{\delta} = -(A^T V^{-1} A)^{-1} A^T V^{-1} B \bar{\varepsilon} \quad (3)$$

gdzie:

$$\bar{\delta} = (\Delta x_0, \Delta y_0, \Delta z_0, \Delta t_0)^T$$

$\bar{\varepsilon}$ - wektor błędów wektora danych \bar{d} ,

$V = \text{cov}(\bar{\varepsilon})$ - macierz kowariancji danych,

A - macierz pochodnych wektora \bar{f} względem składowych wektora niewiadomych;

$$A = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{x_i - x_0}{vp_i} & \frac{y_i - y_0}{vp_i} & \frac{z_i - z_0}{vp_i} & -1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \quad (4)$$

B – macierz pochodnych wektora \bar{f} względem składowych wektora danych \bar{d} .

Wersję (3) oszacowania wektora błędów zastosujemy wówczas, gdy błędy w danych mają różne wariancje lub są wzajemnie zależne.

W zależności od tego, jakie przyczyny błędów rozwiązania zadania lokalizacji rozpatrujemy, jako wektor danych \bar{d} możemy przyjąć

$$\bar{d} = (t_1, \dots, t_n)^T \quad (5)$$

lub

$$\bar{d} = (x_1, y_1, z_1, \dots, x_n, y_n, z_n) \quad (6)$$

lub

$$\bar{d} = (v) \quad (7)$$

Można też rozpatrywać dowolne układy mieszane (łączone), jak np.

$$\bar{d} = (t_1, \dots, t_n, v)^T \quad (8)$$

W szczególności można też analizować wpływ błędów czasów wejścia w jednej, dwu itd. stacjach na błąd lokalizacji. W przypadku analizy wpływu błędu czasu wejścia w stacji o numerze k na błąd lokalizacji wektor \bar{d} miałby postać

$$\bar{d} = (t_k) \quad (9)$$

Postać macierzy B będzie oczywiście zależeć od przyjętego wektora danych. W pierwszych trzech przypadkach będzie ona następująca

$$B_i = I_{n \times n} \quad (10)$$

$$B_x = \begin{bmatrix} b_{x1} & b_{y1} & b_{z1} & 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & b_{x2} & b_{y2} & b_{z2} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & b_{xn} & b_{yn} & b_{zn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$B_v = \left(\frac{p_1}{v^2}, \dots, \frac{p_n}{v^2} \right)^T \quad (12)$$

gdzie:

I_n - macierz jednostkowa o wymiarach $n \times n$ (macierz z jedynkami na diagonalu i zerami poza nią),

$$b_{xi} = -\frac{x_i - x_0}{vp_i}, \quad b_{yi} = -\frac{y_i - y_0}{vp_i}, \quad b_{zi} = -\frac{z_i - z_0}{vp_i}$$

W szczególnym przypadku (9) gdy analizujemy wpływ błędu czasu wejścia w jednej stacji na błąd lokalizacji, macierz B miałaby postać

$$B = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)^T \quad (13)$$

w której jedynka umieszczona jest na k -tym miejscu.

Rozpatrując wpływ błędów tylko jednej grupy danych na błąd lokalizacji i zakładając w poszczególnych grupach niezależność błędów i jednakową wariancję, macierz kowariancji wektora błędów $\bar{\delta}$ wyrazi się wzorem

$$C = \text{cov}(\bar{\delta}) = E \left\{ [\bar{\delta} - E(\bar{\delta})][\bar{\delta} - E(\bar{\delta})]^T \right\} \quad (14)$$

$$= (A^T A)^{-1} A^T B \left[(A^T A)^{-1} A^T B \right]^T \sigma^2$$

gdzie:

σ - odchylenie standardowe danej grupy danych ($\sigma = \sigma_t$ lub $\sigma = \sigma_x$ lub $\sigma = \sigma_y$),
 $\sigma_t, \sigma_x, \sigma_y$ - odpowiednio: błąd czasów, błąd współrzędnych stanowisk, błąd prędkości,
 $B = B_t$ lub $B = B_y$ lub $B = B_x$

Obliczając łączny wpływ błędów we wszystkich grupach danych na błąd lokalizacji nadamy macierzy kowariancji postać

$$C = (A^T A)^{-1} A^T B V \left[(A^T A)^{-1} A^T B \right]^T \quad (15)$$

gdzie:

A – jak wyżej,

B – jest macierzą o wymiarach $n * (n+3*n+1)$, w której n pierwszych kolumn zajmują elementy macierzy B_t , dalszych $3*n$ kolumn – elementy macierzy B_x i ostatnią kolumnę – kolumna B_y ($B = [B_t \ ; \ B_x \ ; \ B_y]$),

V – macierz diagonalna, w której na diagonalu występuje n razy σ_t^2 , $3*n$ razy σ_x^2 oraz jednokrotnie σ_y^2 .

Objaśnienia do wzoru (15) należy odpowiednio zmodyfikować, jeśli chcemy rozpatrywać wpływ błędów dwu grup danych na błąd lokalizacji.

W przypadku łączenia różnych metod lokalizacji, np. P + S, lub P + (S - P), błąd lokalizacji (macierz kowariancji) określa wzór

$$C = (A^T V^{-1} A)^{-1} A^T V^{-1} B V \left[(A^T V^{-1} A)^{-1} A^T V^{-1} B \right]^T \quad (16)$$

gdzie:

A – jak wyżej,

B, V – odpowiednio zmodyfikowane macierze pochodnych wektora równań względem wektora danych i kowariancji wektora danych.

W dalszym ciągu rozważania ograniczymy do rozpatrywania wpływu błędu czasów wejścia na błąd lokalizacji, zakładając niezależność i jednakową wariancję tych błędów, ponieważ błąd czasów jest najbardziej istotnym czynnikiem wpływającym na błąd lokalizacji (Kijko i in. 1985; Drzęźła 1993, 1995). W takim przypadku macierz kowariancji (14), biorąc pod uwagę (10), wyrazi się wzorem (Kijko 1978)

$$C = (A^T A)^{-1} \sigma^2 \quad (17)$$

Błąd lokalizacji można oszacować jako (patrz m.in. Kacprzyński 1974, Pazman 1984).

$$\sigma_D = \sqrt{[\det(C)]^{1/m}} \sigma_i \quad (18)$$

lub

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{1}{m} \text{tr}(C)} \sigma_i \quad (19)$$

lub

$$\sigma_E = \sqrt{\max_{(i)} \lambda_i(C)} \sigma_i \quad (20)$$

gdzie:

$\lambda_i(C)$ – i-ta wartość własna macierzy C ,

m – wymiar zadania;

$m = 4$ – w przypadku przestrzennym,

$m = 3$ – w przypadku płaskim.

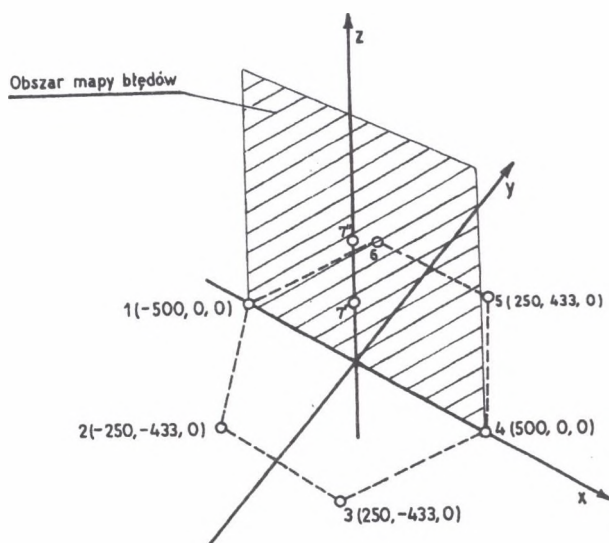
W przypadku pierwszym oszacowanie błędu lokalizacji jest pierwiastkiem odpowiedniego stopnia z objętości elipsoidy ocen parametrów (Kijko 1978), w przypadku drugim byłaby to wartość średnia długości osi elipsoidy ocen, a w trzecim przypadku – najdłuższa oś elipsoidy ocen (Drzęźła 1992, Drzęźła – Garus 1990).

Wzory powyższe, a w szczególności (14), (15), (16), (17) i (20) stały się podstawą do opracowania programów komputerowych służących do szacowania błędów lokalizacji ognisk wstrząsów i optymalizacji sieci sejsmometrów. Programy te posiadają przeróżne odmiany i uwzględniają ośrodek jednorodny i izotropowy oraz ośrodek elipsoidalnie anizotropowy, a ponadto metody lokalizacji P, S-P, kierunkową i mieszane (wzór (16)), a także różne przyczyny błędów lokalizacji (wzory (10), (11), (12), (13), (15)) i trzy sposoby szacowania błędów (wzory (18), (19), (20)), oraz różne sposoby rozwiązywania układów równań stacyjnych (Drzęźła 1990). Niektóre wersje tych programów uwzględniają ponadto tzw. „matematyczne” łączenie sieci sejsmometrów.

Oszacowania błędów lokalizacji podane w dalszym ciągu pracy stanowią normę spektralną (pierwiastek największej wartości własnej) odpowiedniego fragmentu macierzy C (wzory (14) i (20)).

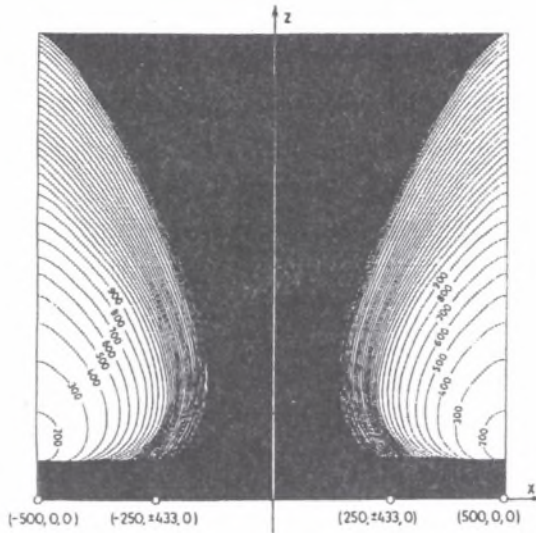
3. Przyjęte kształty sieci sejsmometrów i oszacowania błędów lokalizacji

W celu zilustrowania trudności lokalizacji pionowej ognisk wstrząsów według metody P w przypadku płaskich sieci sejsmometrów lub ich modyfikacji przyjęto kształt sieci według wariantów, jak na rys. 1.



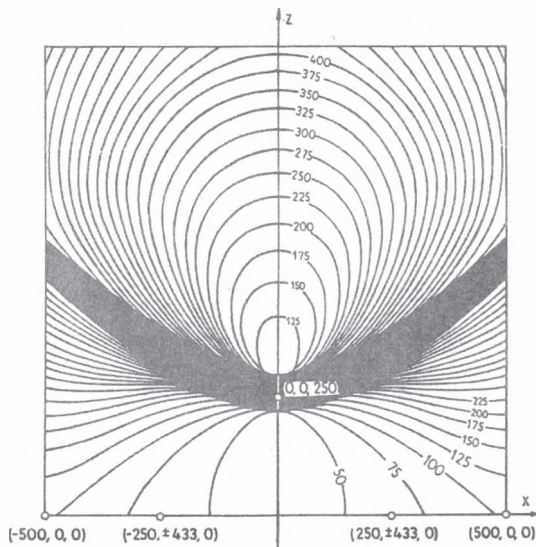
Rys.1. Rozpatrywane warianty sieci sejsmometrów: wariant 1 – sieć płaska złożona z 6 sejsmometrów rozmieszczonych w wierzchołkach sześciokąta foremnego o boku 500 m (na okręgu), wariant 2 – zawiera dodatkowo siódme stanowisko położone na wysokości $z=250$ m, wariant 3 – jak wariant 1 z dodatkowym siódmym stanowiskiem na poziomie $z=500$ m. Obszar zakreskowany jest obszarem, dla którego przeprowadzono oszacowanie błędów lokalizacji

Fig.1. Variants of seismic network taken into account: variant 1 – planar network composed of 6 seismometers placed in vertices of the regular hexagon with the sides of 500 m. (i.e. on the circle with the radius of 500 m.), variant 2 – comprises additional seismometer at the height $z = 250$ m. with respect to the planar network, variant 3 – comprises seismometers like in variant 1 plus an additional seismometer at the height $z = 500$ m. The area hatched is the area for which assessment of location errors (hypocentre determination errors) was carried out (it is the vertical plane passing through the diagonal of the hexagon of the planar network). All the calculations were done with the assumption $v_p=4000$ m/s and $\sigma_t = 0.01$ s



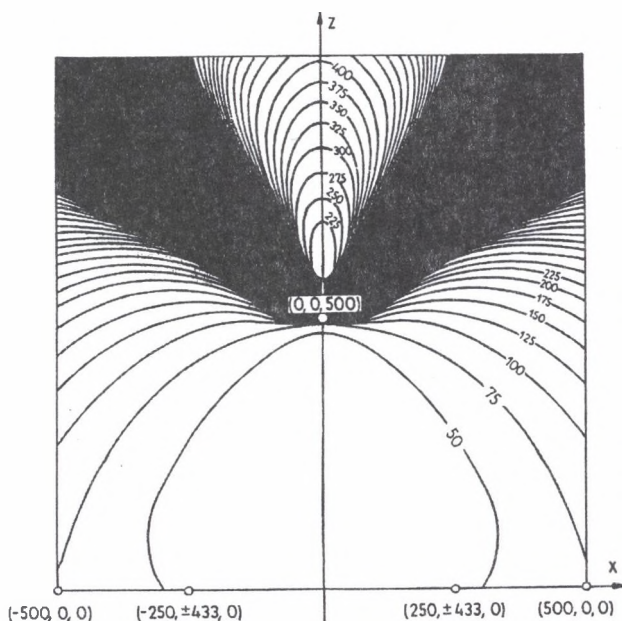
Rys.2. Oszacowanie błędów lokalizacji (błędów określenia hipocentrum) w przypadku wariantu 1 (sieć płaska 6-stanowiskowa) w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez przekątną sześciokąta sieci. Dane: $v_p=4000$ m/s, $\sigma_t = 0.01$ s

Fig.2. Assessment of location errors for the variant 1 (see: Fig. 1)



Rys.3. Oszacowanie błędów lokalizacji (błędów określenia hipocentrum) w przypadku wariantu 2 (sieć płaska 6-stanowiskowa wzbogacona o siódme stanowisko na poziomie $z=250$ m) w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez przekątną sześciokąta sieci. Dane: $v_p=4000$ m/s, $\sigma_t = 0.01$ s

Fig.3. Assessment of location errors for the variant 2 (see: Fig. 1)



Rys.4. Oszacowanie błędów lokalizacji (błędów określenia hipocentrum) w przypadku wariantu 3 (sieć płaska 6-stanowiskowa wzbogacona o siódme stanowisko na poziomie $z=500$ m) w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez przekątną sześciokąta sieci. Dane: $v_p=4000$ m/s, $\sigma_t = 0.01s$

Fig.4. Assessment of location errors for the variant 3 (see: Fig. 1)

Rys. 2, 3 i 4 pokazują oszacowania błędów wyznaczenia hipocentrum w kolejnych wariantach kształtu sieci. Oszacowania dokonano w obszarze kwadratu pokazanego na rys. 1, a wyniki obliczeń przedstawiono w formie planu warstwicowego błędów.

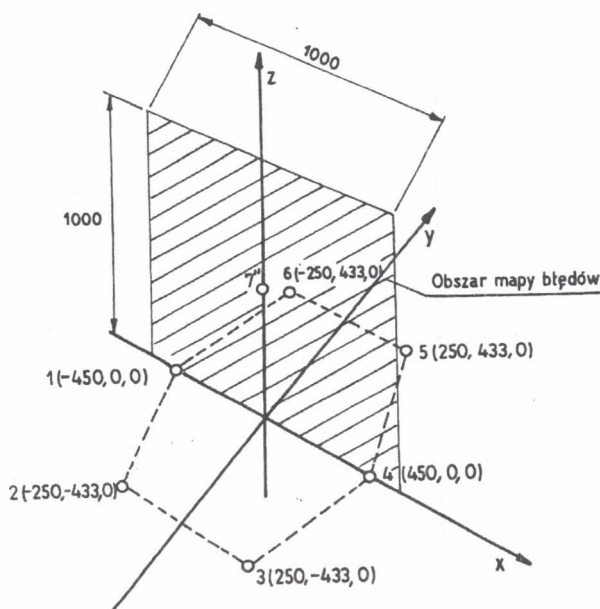
Z rys. 2 wynika, że kształt sieci i obszar oszacowania błędu wyznaczenia hipocentrum zostały dobrane wyjątkowo drastycznie. Większa część rozpatrywanego obszaru oszacowania stanowi ślepy obszar sieci, tj. obszar, w którym błędy lokalizacji są nieskończenie wielkie lub na tyle duże, że lokalizacja nie ma sensu. Można podać przykłady sieci płaskich, dla których ślepy obszar nie będzie tak duży, ale można też podać przykłady, dla których obszar ten będzie jeszcze większy. Niezależnie od liczby stanowisk i kształtu sieci płaskiej, ślepym obszarem takiej sieci jest zawsze obszar przyległy do płaszczyzny sieci.

Warianty 2 i 3 (rys. 1) przeliczono z tego względu, że istnieją poglądy, iż dla rozwiązania zagadnienia lokalizacji przestrzennej w przypadku sieci płaskiej wystarczy do niej dodać jedno stanowisko na innym poziomie, np. w specjalnie wykonanym otworze wiertniczym. Rys. 3 i 4 nie potwierdzają tego poglądu. Wprawdzie ślepy obszar sieci uległ zmniejszeniu i zmienił kształt, ale nadal istnieje. Tzn. nadal istnieją znaczne połacie przestrzeni górotworu,

w których lokalizacja ognisk wstrząsów byłaby obarczona zbyt dużym, w tym nieskończenie dużym, błędem.

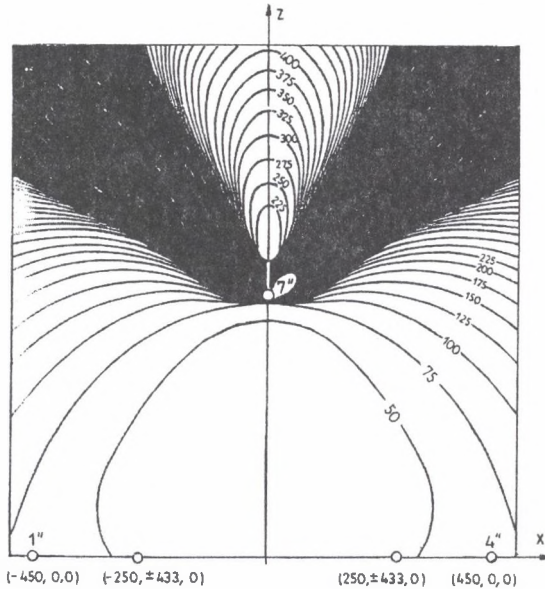
W danym przypadku istnieje dokładnie jeden punkt, w którym błąd lokalizacji jest nieskończenie wielki. Jest nim punkt dodatkowego stanowiska. Punkt ten jest bowiem wierzchołkiem powierzchni stożkowej, przechodzącej przez wszystkie stanowiska. Taki punkt, zgodnie z dowodem przeprowadzonym w pracy Salamona – Wiebolsa (1974), jest punktem osobliwym sieci, w którym lokalizacja jest niemożliwa. Istnienie punktu osobliwego pociąga za sobą istnienie, w jego otoczeniu, całego obszaru przestrzeni, w którym błędy lokalizacji są nadmierne, w związku z czym jest ona pozbawiona sensu.

Sieć, która daje efekt Salamona–Wiebolsa, jest dość specyficznym przypadkiem, ale wystarczy, żeby podane przez tych autorów warunki zaistnienia osobliwości były spełnione tylko z pewnym przybliżeniem, to i tak pewne połacie przestrzeni będą wyłączone z lokalizacji. Dowodzą tego rys. 5 i 6. Rys. 6 przedstawia pewną sieć, przekształconą w stosunku do sieci z rys. 1 tak, żeby nie dawała efektu Salamona – Wiebolsa, a rys. 6 przedstawia oszacowanie błędów wyznaczenia hipocentrum.



Rys.5. Przekształcona sieć sejsmometrów z rys. 1 nie spełniająca warunku Salamona–Wiebolsa (w stosunku do sieci z rys. 1 przemieszczone są stanowiska 1 i 4)

Fig.5. A modification of the variant 3 of the network in which seismometers 1 and 4 are relocated (the new network does not satisfy the Salamon – Wiebol's condition)



Rys.6. Oszacowanie błędów lokalizacji (błędów określenia hipocentrow) w przypadku sieci sejsmometrów, jak na rys. 5

Fig.6. Assessment of location errors for the network like in Fig. 5

4. Stwierdzenia i wnioski

1. Istniejące sieci sejsmometrów, zarówno w kopalniach węgla, jak i, przede wszystkim, w kopalniach miedzi, posiadają często geometrię niedostatecznie przestrzenną lub są ściśle płaskie.
2. W przypadku płaskich sieci sejsmometrów lokalizacja przestrzenna ognisk wstrząsów górnotworu z zastosowaniem metody P jest wątpliwa, bardzo utrudniona lub niemożliwa. Jest to specyficzny przypadek lokalizacji ogniska poza siecią, w którym metoda P jest bardzo zawodna.
3. W przypadku jak wyżej, z lokalizacji mogą być wyłączone znaczne obszary przestrzeni lub nawet cała przestrzeń, w tym zawsze wyłączony jest obszar przylegający do poziomu sieci.
4. Próby poprawy lokalizacji poprzez dołożenie jednego stanowiska na poziomie innym niż poziom sieci, np. w otworze odwierconym w kierunku skał stropowych, mogą nie dać pożądanego rezultatu z powodu efektu (sensu stricto lub quasi) Salamona –

Wiebolsa, w którym punkt dodatkowego stanowiska jest punktem osobliwym sieci, a pewne jego otoczenie jest obszarem nadmiernych błędów lokalizacji.

5. Celem umożliwienia lokalizacji ognisk wstrząsów górotworu istnieje potrzeba zastosowania zupełnie innych rozwiązań, które istnieją w seismologii, ale zostały już w Polsce dawno zaniechane i częściowo zapomniane.

LITERATURA

1. Dryja M., Jankowscy J. i M., 1982: Przegląd metod i algorytmów numerycznych. WN-T, Warszawa, cz.II.
2. Drzęźła B., 1990: Cele i sposoby wspólnej (grupowej) lokalizacji hipocentrow wstrząsów górniczych na przykładzie metody P i wzorów dla ośrodka jednorodnego i izotropowego. ZN. Pol. Śl. nr 1074, Górnictwo z. 188, Gliwice. str. 9 ÷ 29.
3. Drzęźła B., Garus A., 1990: Pewien aspekt stosowania kryteriów A, D i E w optymalnym planowaniu sieci sejsmometrów. Ref. na XX Polsko-Czechosł. Konferencji Geofizyki Górniczej, Sedlec - Prcice (CSRS), 28-30.05.1990 (maszynopis ITEZ Pol. Śl.).
4. Drzęźła B., 1992: Teoretyczne i praktyczne zasady oceny błędów lokalizacji ognisk wstrząsów oraz projektowania sieci sejsmometrów. Materiały III Szkoły Geofizyki Górniczej nt. "Emisja Sejsmoakustyczna w Skałach". Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice, 126 + 141.
5. Drzęźła B., 1993: Warunki niejednoznaczności zadania lokalizacji ognisk wstrząsów i niektóre aspekty praktyczne z nią związane. Mat.Szkoły Eksploatacji Podziemnej '93, t.II, Ustroń 1 ÷ 5 marca 1993 r., Centrum Podst. Probl. Gosp. Sur. Min. i En. PAN, Kraków, str. 7 ÷ 16.
6. Drzęźła B., 1994: Zasady projektowania konfiguracji sieci sejsmometrów. Przegląd Górniczy nr 11, str. 1+6.
7. Drzęźła B., Dubiński J., 1995: Rozdz. 7.4. Poradnika Geofizyka Górniczego t.II pt. „Lokalizacja ognisk wstrząsów górniczych”. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków.
8. Drzęźła B., 1995: Rozdz. 7.6. Poradnika Geofizyka Górniczego t.II pt. „Optymalizacja sieci sejsmologicznych”. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków.
9. Drzęźła B., 1995: Przyczyny błędów lokalizacji ognisk wstrząsów i możliwości ich ograniczenia. Przegląd Górniczy nr 12, str. 4 + 10.
10. Drzęźła B., 2000: Niejednoznaczność rozwiązania zadania lokalizacji ognisk wstrząsów w przypadku trzech metod: P, S-P i kierunkowej (w przygotowaniu).
11. Drzęźła B., 2000: Formy niejednoznaczności zadania lokalizacji ognisk wstrząsów w przypadku metod P i S-P (w przygotowaniu).
12. Gibowicz J.S., Kijko A., 1994: An introduction to mining seismology. Academic Press
13. Kacprzyński B., 1974: Planowanie eksperymentów - podstawy matematyczne. WNT, Warszawa.
14. Kijko A., 1978: Methods of the optimum planning of regional seismic networks. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., vol. A ÷ B7(119).
15. Kijko A., Głowacka E., Stankiewicz T., 1985: Wpływ błędów prędkości oraz położenia stacji sejsmologicznych na dokładność lokalizacji wstrząsów. Publs. Inst. Geophys. Pol. Ac. Sci., M-6(176), 65 ÷ 78.

16. Kijko A., Stankiewicz T., Głowacka E., 1985: Ocena efektywności lokalizacji zjawisk sejsmicznych w przypadku systematycznego błędu modelu sejsmogeologicznego. *Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-6(176)*, 79 ÷ 89.
17. Kornowski J., 1989: Lokalizacja ognisk wstrząsów - podstawy i problemy. *Prace GIG, Seria Dodatkowa nt. "Wybrane zagadnienia lokalizacji wstrząsów górniczych oraz geotomografii sejsmicznej"*, s. 9 ÷ 58, Katowice.
18. Lurka A., 1999: Analiza błędów lokalizacji ognisk wstrząsów górniczych z wykorzystaniem funkcji uwikłanych. *Praca doktorska, GIG*.
19. Mańczak K., Nahorski Z., 1983: Komputerowa identyfikacja obiektów dynamicznych. *PWN, Warszawa*.
20. Marczak H., Zuberek W., 1994: *Geofizyka górnicza*. Śl. Wyd. Techn., Katowice.
21. Mendecki A., 1997: *Seismic Monitoring in Mines*. Chapman & Hall, London.
22. Pazman A., 1986: *Foundations of Optimum Experimental Design*. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Boston-Lancaster-Tokyo.
23. Salamon M.D.G., Wiebols G.A., 1974: Digital location of seismic event by an underground network of seismometers using the arrival times of compressional waves. *Rock Mechanics* 6, 141 ÷ 166, Springer Verlag.
24. Wanat K., 1992: Numeryczne aspekty metod lokalizacji wstrząsów sejsmicznych i optymalizacji sieci sejsmometrów. *Praca o symbolu BW-710/RG-6/92, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice (maszynopis)*.
25. Woźniakowski H., 1977: Numerical stability for Solving Nonlinear Equations. *Numer. Math.*, 27, 373 ÷ 390.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Dubiński

Abstract

Reasons for difficulties in vertical localization of mining tremors were presented. They result from generally applied P method as well as from planar or insufficiently spatial seismic networks. The concept of improvement in vertical localization by the installation of another station (seismometer) outside the planar network e.g. in a borehole, set forth by some authors, may also fail because of the effect of Salamon – Wiebols or a situation close to that effect. The doubtful result of an implementation of that concept impose the necessity of search for other, unconventional solutions. The article also contains fundamentals of assessment of localization errors and examples of assessment of hypocentre errors which illustrate the described difficulties.