

Violetta SOKOŁA-SZEWIOŁA
Politechnika Śląska, Gliwice

PRZEBIEG ZAOBSERWOWANYCH PRZEMIESZCZEŃ PIONOWYCH TERENU GÓRNICZEGO W CZASOOKRESIE ZWIĄZANYM Z WYSTĄPIENIEM WSTRZĄSU INDUKOWANEGO EKSPLOATACJĄ ŚCIANOWĄ

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki analiz zmian zaobserwowanych przemieszczeń pionowych punktu zastabilizowanego w obszarze bezpośrednich wpływów eksploatacji ścianą 183 w pokładzie 418 KWK „Pokój”. Analizy przeprowadzono w wyodrębnionych przedziałach czasu obejmujących chwilę wystąpienia wstrząsów indukowanych tą eksploatacją. Przemieszczenia pionowe wyznaczono na podstawie wyników ciągłych pomiarów wykonanych z wykorzystaniem techniki GPS.

COURSE OF OBSERVED VERTICAL DISPLACEMENTS OF MINING GROUND IN THE TIME PERIOD RELETED TO OCCURRENCE OF THE TREMOR INDUCED BY LONGWALL EXPLOITATION

Summary. In the study results of analyses of changes of observed vertical displacements of a point located in the area of direct influence of exploitation of the longwall 183 in Coal-Mine “Pokój” is presented. Analyses were conducted in time period included the occurrence of tremors induced by this exploitation. Vertical displacements were determined on the base of results of continuous measurements using GPS technique.

1. Wprowadzenie

Poziom sejsmiczności indukowanej prowadzoną eksploatacją górnictwem można charakteryzować, uwzględniając wskaźniki deformacji górotworu i powierzchni terenu. Na taką możliwość wskazywano w licznych badaniach. J. Wanior [14] opracował metodę prognozowania wstrząsów lub tąpnięć polegającą na dokładnym poznaniu zmian, jakie zachodzą w górotworze wskutek prowadzenia eksploatacji górnictwowej, przejawiających się

w postaci zmian deformacji skał. Oparł ją na teorii przemieszczenia górotworu wskutek wybierania złoża. Możliwość wykorzystania pomiarów przemieszczeń górotworu do oceny zagrożenia tąpnięciami wskazano także w pracy [6]. Autorzy założyli dylatancyjny model górotworu tąpniącego, przyjmując, że dylatacja może zwiastować wstrząs górniczy. W rezultacie badań opartych na pomiarach deformacji otworów wiertniczych prowadzonych m.in. przez S. Orzepowskiego i J. Butrę [1, 7, 8] zaproponowano metodę oceny stanu górotworu na podstawie deformacji pionowych otworów wiertniczych w stropie wyrobisk. Stwierdzony stan górotworu wskazuje na możliwość wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu. Stan deformacji górotworu i jego związek z sejsmicznością indukowaną był także przedmiotem szerokich badań prowadzonych przez zespół J. Makówki [5].

Związek deformacji powierzchni terenu z aktywnością sejsmiczną indukowaną był w przeszłości podejmowany przez niewielu badaczy. Jedną z pierwszych prac wiążących deformacje powierzchni z sejsmicznością jest praca J. Descoura [2], który, na podstawie analiz mechanizmu zachowania się górotworu i powstawania silnych tąpnięć w warunkach LGOM, wykazał przydatność analizy przebiegu osiadania powierzchni terenu dla przewidywania rejonów koncentracji naprężeń. Istotny wkład w ten zakres badań bezspornie wniósł A. Goszcz [3, 4], który uzyskał matematyczną zależność pomiędzy wielkością energii sejsmicznej wstrząsu a gradientem deformacji powierzchni terenu. Badania przedstawione m.in. przez E. Popiołka i J. Ostrowskiego [9] wskazują, iż ze wstrząsami górniczymi wiąże się przyspieszenie procesu obniżenia terenu górniczego.

W latach 2004 – 2007, w Instytucie Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej, zrealizowany został obszerny program badań nad związkami pomiędzy procesami deformacyjnymi terenu górniczego i sejsmicznością górotworu. W ramach tych badań wykonywano cykliczne pomiary wysokościowe oraz kątowno-liniowe metodami geodezyjnymi. Pomiary realizowano na przestrzennej sieci obserwacyjnej w rejonie eksploatacji ścianą 6 w pokładzie 415/1 KWK „Halemba”. Sieć obejmowała również punkt, na którym wykonywano pomiary ciągłe przemieszczeń z wykorzystaniem urządzenia laserowego. W rezultacie przeprowadzonych analiz wyników cyklicznych pomiarów geodezyjnych stwierdzono występowanie zależności pomiędzy wielkościami deformacji powierzchni terenu a rejestrowaną aktywnością sejsmiczną indukowaną prowadzonymi robotami górniczymi [10, 11, 12]. Ustalono, że spośród analizowanych wskaźników deformacji zmiany sejsmiczności najlepiej opisują obserwowane obniżenia. Dalsza analiza cyklicznych pomiarów wysokościowych wykazała, że w czasookresie poprzedzającym wstrząs następuje zaburzenie w przebiegu ruchów pionowych terenu górniczego. Ciągłe pomiary przemieszczenia pionowego obserwowanego

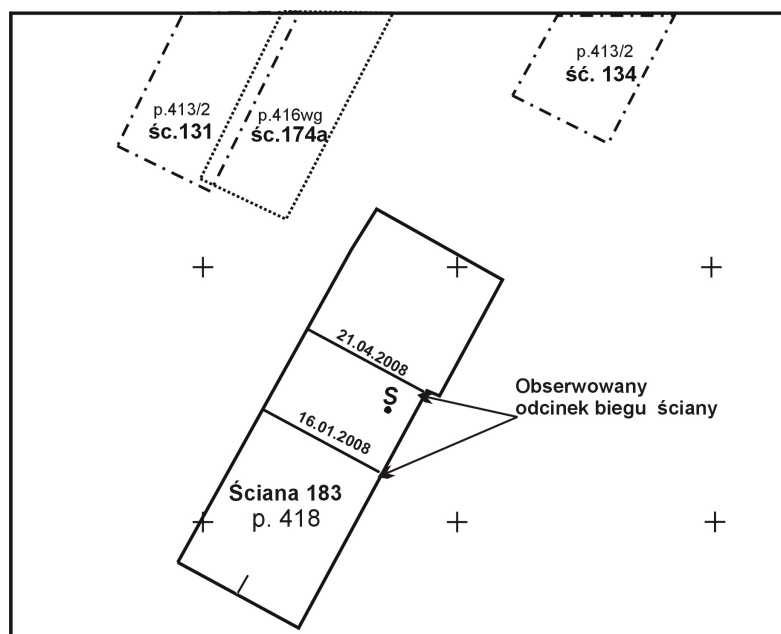
punktu, w okresach bezpośrednio poprzedzających wystąpienie wstrząsu oraz bezpośrednio po nim, wykazały powtarzalność (dla analizowanego zbioru obserwacji) kształtowania się zmian przyrostów przemieszczeń pionowych punktu. Szczególnie wyraźnie zależność tę stwierdzono w czasookresach związanych z wystąpieniem wstrząsu o wysokiej energii sejsmicznej [13]. Fakty te świadczą o związkach przebiegu ruchów pionowych terenu górniczego z wystąpieniem wstrząsu. Biorąc powyższe pod uwagę, badania związków kontynuowano w rejonie eksploatacji ścianą 183 w pokładzie 418 KWK „Pokój”. Tym razem, w celu prowadzenia ciągłych obserwacji przemieszczeń pionowych punktu, wykorzystano technikę GPS. Dane o wstrząsach pozyskano z Kopalnianej Stacji Geofizyki. Rezultaty tych badań przedstawiono w niniejszej pracy.

2. Charakterystyka górniczo-geologiczna rejonu badań

Jak już powiedziano, badania zrealizowano w rejonie wpływów bezpośrednich eksploatacji prowadzonej ścianą 183 w pokładzie 418 KWK „Pokój”. W obserwowanym rejonie pokład zalega na średniej głębokości 720 m. Zapada w kierunku SW, średnio pod kątem 7° . Miąższość pokładu wynosi 2,0 – 3,0 m. W stropie i spągu pokładu zalegają na przemian warstwy łupka ilastego, piaskowca oraz łupka piaszczystego.

Długość ściany 183 wynosiła w początkowym odcinku jej biegu ok. 250 m. Po osiągnięciu wybiegu 560 m, długość ściany uległa wydłużeniu do ok. 276 m. Całkowity wybieg ściany wynosił 825 m. Ścianę wybierano na wysokość 2,0 – 2,7 m, systemem ścianowym poprzecznym z zawałem stropu, z pozostawieniem półki węglowej w stropie lub spągu na wysokości ok. 0,3 m. Okresowo wykonywano doszczelnianie zrobów odpadami elektrownianymi. Eksploatację rozpoczęto w maju 2007 roku. Ścianę zakończono w listopadzie 2008 roku. W rejonie ściany pokład zaliczony jest do III stopnia zagrożenia tąpnięciami.

Obserwacje przemieszczeń pionowych punktu *S* wykonywano w okresie od 16 stycznia do 21 kwietnia 2008 roku. Ściana w dniu rozpoczęcia obserwacji osiągnęła 330 m wybiegu, a w dniu zakończenia 503 m wybiegu. Średni dobowy postęp frontu ściany (liczony na każdy dzień roku) wynosił w okresie objętym badaniami około 2,0 m. Rysunek 1 przedstawia obserwowany odcinek wybiegu ściany oraz usytuowanie punktu obserwacji ciągłych *S* na tle konturów eksploatacji prowadzonej w rejonie, w okresie biegu ściany 183.



Rys. 1. Kontury obserwowanego odcinka wybiegu ściany oraz usytuowanie punktu S na tle konturów eksploatacji prowadzonych w rejonie badań

Fig. 1. Contours of observed part of the longwall advance and position of point S on the background of exploitation conducted in studied region

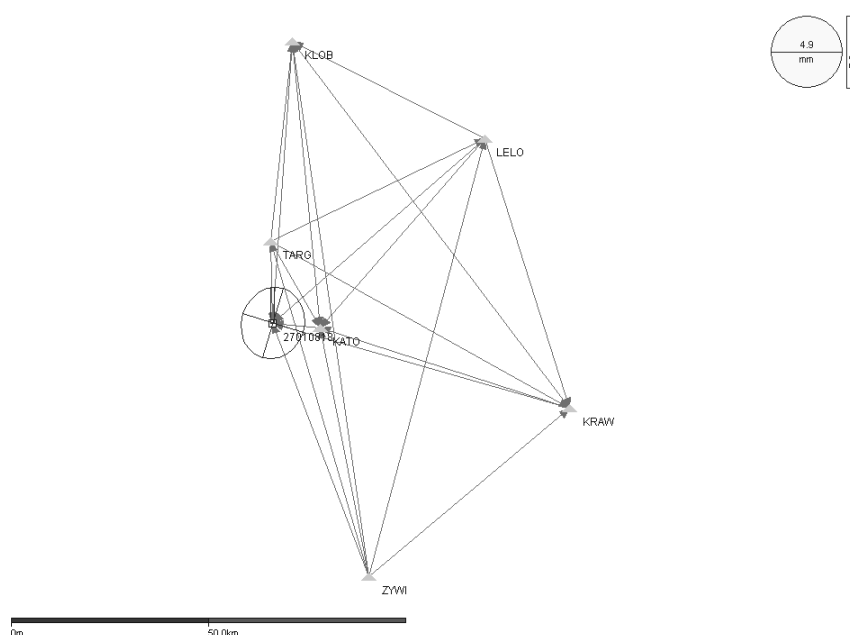
3. Obserwacje przemieszczeń pionowych

Obserwacje przemieszczeń pionowych punktu S (rys. 1) zrealizowano w sposób ciągły, z wykorzystaniem techniki satelitarnej GPS. Pomiary wykonano za pomocą odbiornika Topcon Hiper PRO, wyposażonego w precyzyjną antenę zewnętrzną PG-A1 GPS/GLONASS L1/L2.

Rejestracja danych następowała na komputerze klasy Pentium PC, wyposażonym w oprogramowanie Topcon Tools Total Survey Solution. Interwał rejestracji danych wynosił 1 sekundę, minimum satelitów 5 oraz kąt otwarcia horyzontu ustalono na 15° . Zapis realizowano do plików. Ustalono interwał czasu zapisu 10 minut.

Szeregi czasowe następujących po sobie 10-minutowych obserwacji zintegrowano w odcinki 2-godzinne. Współrzędne punktu obserwacyjnego wyznaczono w kolejnych szeregach czasowych na podstawie rozwiązania w postprocessingu lokalnej sieci nawiązanej do 6 fizycznych stacji referencyjnych precyzyjnej, permanentnej sieci ASG-PL (punkty KATO, TARG, KLOB, LELO, KRAW, ZYWI). Na etapie wykonywania postprocessingu ustalono optymalne parametry dla precyzyjnych rozwiązań wektorów przestrzennych, eliminując widoczne zakłócenia sygnałów. Do wyrównania zakwalifikowano wyłącznie

wektory o pełnej precyzji wyznaczenia (Double Diff./Fixed). Wyrównanie przeprowadzono w dwóch etapach. Pierwszy etap obejmował wyrównanie swobodne, którego zasadniczym celem była kontrola wewnętrznej spójności sieci. Następnie, po weryfikacji tego rozwiązania, wykonano każdorazowo ostateczne wyrównanie w pełnym nawiązaniu do wszystkich sześciu stacji referencyjnych, uzyskano wyniki w postaci współrzędnych kartezjańskich XYZ elipsoidy WGS-84. Opracowanie wszystkich obserwacji zostało wykonane za pomocą oprogramowania Trimble Total Control w wersji 2.73. Schemat sieci wektorowej GPS przedstawiono na rysunku 2. Przykładowy schemat przestrzenny rozproszenia wyników obserwacji dla punktu S z elipsami błędów (dla układu WGS-84) z dnia 26.03.2008 roku przedstawiono na rysunku 3.

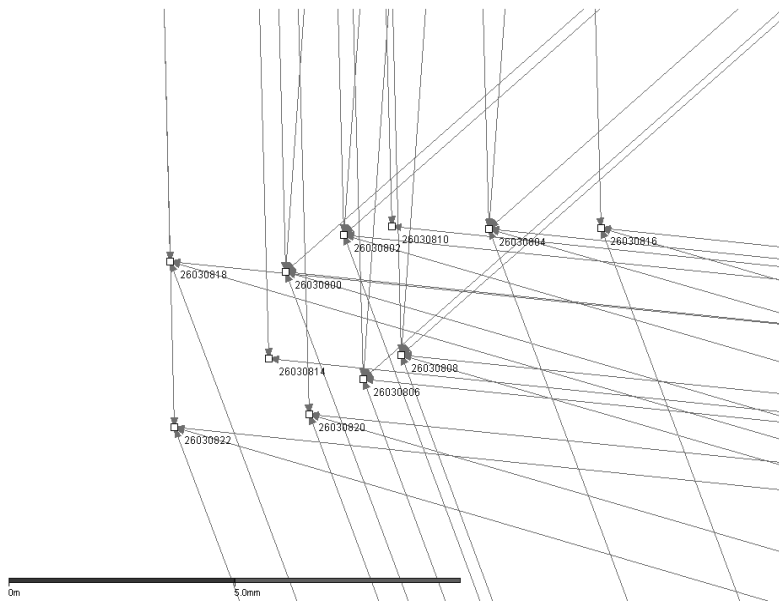


Rys. 2. Szkic sieci GPS w wyrównaniu, w nawiązaniu do stacji ASG-PL

Fig. 2. Adjusted draft GPS network referring to the ASG-PL

W okresie badań wykonano 1145 sesji pomiarowych. W tym czasie stwierdzone przemieszczenie pionowe wyniosło 0,074 m.

Do analiz będących przedmiotem pracy wykorzystano wyniki 900 sesji pomiarowych. Błąd wyznaczenia współrzędnej Z w poszczególnych analizowanych sesjach pomiarowych był zmienny i wahał się w granicach od $m_{zmin}=\pm 0,0023$ m do $m_{zmax}=\pm 0,0090$ m. Przed przeprowadzeniem analiz odrzucono obserwacje obciążone największymi błędami. Ostatecznie średni błąd dla sesji pomiarowych wyniósł $m_s=\pm 0,0036$ m.



Rys. 3. Schemat przestrzenny rozproszenia wyników obserwacji dla punktu S, z elipsami błędów (dla układu WGS-84), z dnia 26.03.2008 roku

Fig. 3. Displays spatial scheme of observation results scattering for point S with errors ellipse (for WGS-84 system) of 26.03.08

Wyrównane współrzędne Z w układzie WGS-84 posłużyły do obliczenia przemieszczeń pionowych $w_p(t)$ obserwowanego punktu. Obliczenia wykonano wzorem:

$$w_p(t)_i = Z_{i+1} - Z_1 \quad i=1, \dots, n, \quad (1)$$

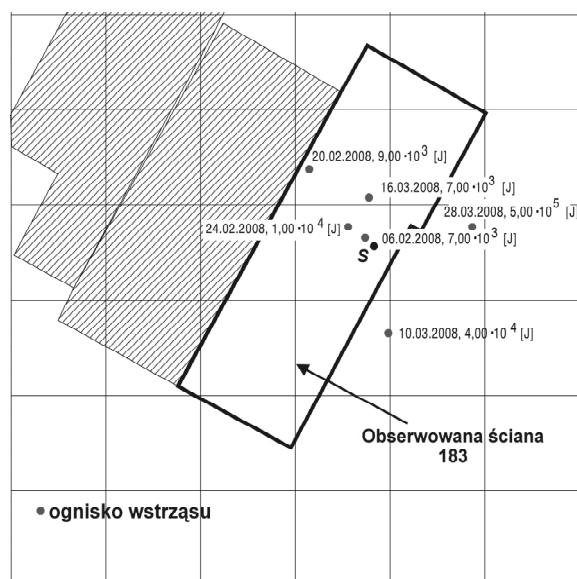
gdzie:

- $w_p(t)_i$ – przemieszczenie pionowe punktu, stwierdzone w i -tej sesji pomiarowej,
- Z_1 – obserwowana współrzędna Z punktu w pierwszej sesji pomiarowej,
- i – nr sesji pomiarowej,
- n – liczba sesji pomiarowych.

W celu weryfikacji wyników pomiarów ciągłych wykonano pomiary wysokościowe metodą niwelacji precyzyjnej w nawiązaniu do reperu państwowego II klasy. Punkt znajdował się poza zasięgiem wpływów eksploatacji górniczej, a jego stałość kontrolowano. W pomiarach wykorzystano niwelator kodowy Topcon DL 101C oraz kodowe łąty inwarowe. Przyrost obniżeń w okresie badań, stwierdzony na podstawie wyników pomiarów wysokościowych, wyniósł 0,070 m. Jak widać, wyniki pomiarów uzyskanych z wykorzystaniem techniki GPS dobrze korelują z wynikami pomiarów wysokościowych.

4. Zarejestrowana aktywność sejsmiczna w okresie badań

W okresie objętym badaniami, tj. od 16.01.2008 roku do 21.04.2008 roku, zarejestrowano 36 wstrząsów o energiach rzędu od 10^2 do 10^5 J, które indukowały roboty górnicze prowadzone w polu obserwowanej ściany. Maksymalna energia wstrząsu w tym okresie wyniosła $5,00 \cdot 10^5$ J. Z uwagi na małą aktywność sejsmiczną w okresie badań, analizą objęto 6 wybranych wstrząsów o energii sejsmicznej nie mniejszej niż $7 \cdot 10^{-3}$ J. Rozkład analizowanych wstrząsów na tle konturów ściany 183 przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Rozkład ognisk analizowanych wstrząsów indukowanych ścianą 183

Fig. 4. Distribution of the focuses of the analysed tremors induced by longwall 183

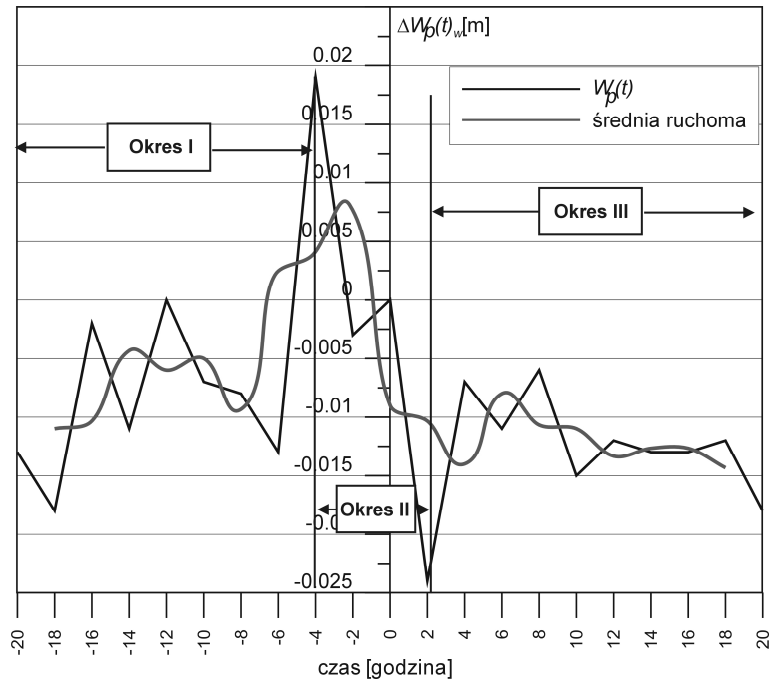
5. Analizy zmian przemieszczeń pionowych obserwowanego punktu w czasokresie związanym z wystąpieniem wstrząsu

Założono, iż pomiary GPS pozwalają na ciągłą obserwację przemieszczeń punktu powierzchni terenu z zadowalającą dokładnością. Wstępnie analizowano odcinki czasu obejmujące kilkadziesiąt godzin przed i po wstrząsie. Analizy szczegółowe wykonano następnie dla okresów obejmujących 20 godzin przed i po wystąpieniu wstrząsu.

Zmiany przemieszczeń pionowych przedstawiono na wykresach w odniesieniu do sesji pomiarowej, w której rejestrowano wstrząs. Rozpatrywano różnice pomiędzy wartością przemieszczenia $w_p(t)_i$ określoną w kolejnych sesjach pomiarowych przed wstrząsem ($i < 0$) i po wstrząsie ($i > 0$) a przemieszczeniem $w_p(t)_w$ stwierdzonym w sesji, w której wystąpił wstrząs ($i = 0$). Różnice obliczano wzorem:

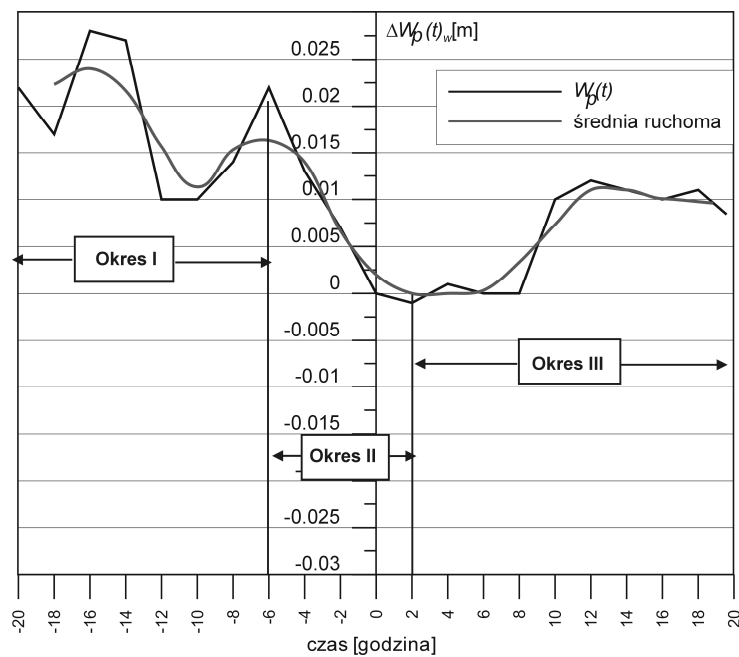
$$\Delta w_p(t)_{w,i} = w_p(t)_i - w_p(t)_w. \quad (2)$$

Zmiany przemieszczeń pionowych $\Delta w_p(t)_w$, wyznaczonych na podstawie wyników pomiarów oraz wyrównanych średnią ruchomą dla czasookresów 3 z analizowanych wstrząsów prezentują rysunki 5 – 7.



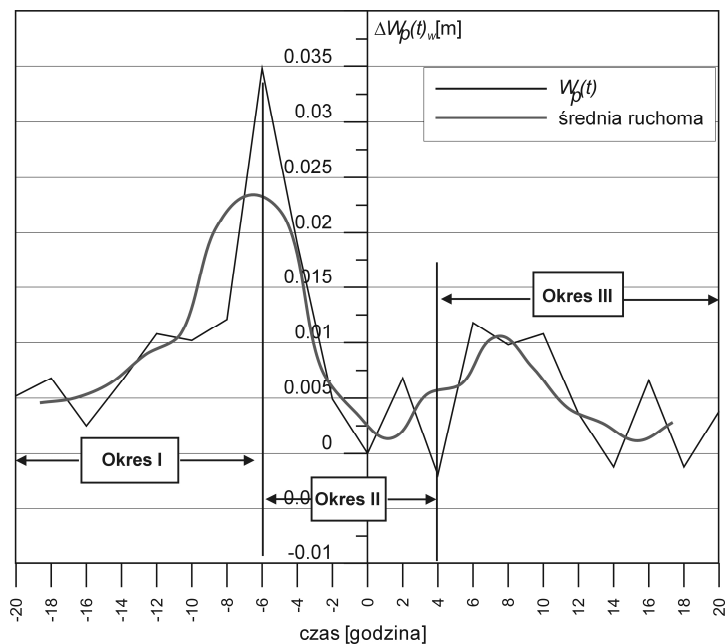
Rys. 5. Obserwowane przemieszczenia pionowe w odcinku czasu związanym ze wstrząsem zarejestrowanym 06.02.2008 roku

Fig. 5. Observed vertical displacements in the time period related to the tremor registered on 06.02.08



Rys. 6. Obserwowane przemieszczenia pionowe w odcinku czasu związanym ze wstrząsem zarejestrowanym 20.02.2008 roku

Fig. 6. Observed vertical displacements in the time period related to the tremor registered on 20.02.08



Rys. 7. Obserwowane przemieszczenia pionowe w odcinku czasu związanym ze wstrząsem zarejestrowanym 28.03.2008 roku

Fig. 7. Observed vertical displacement in the time period related to the tremor registered on 28.03.08

Na podstawie przedstawionych wykresów stwierdzono:

1. W czasookresach związanym z każdym z analizowanych wstrząsów można wyróżnić trzy następujące po sobie okresy:
 - przed wystąpieniem wstrząsu obserwowano wypiętrzenie lub spowolnienie procesu obniżenia – okres I,
 - w następnym okresie, obejmującym pewien odcinek czasu przed wystąpieniem wstrząsu, chwilę jego wystąpienia oraz pewien odcinek czasu po wystąpieniu wstrząsu, obserwowano duży przyrost obniżenia w krótkim czasie – okres II,
 - po okresie obserwowanej zwiększonej prędkości obniżenia następowała stabilizacja przemieszczeń pionowych – okres III.
2. Obserwowane w okresach I i II charakterystyczne zmiany przemieszczeń pionowych można uznać za zaburzenie w przebiegu przemieszczenia.

Podobny charakter przebiegu przemieszczeń pionowych stwierdzono w okresach związanych ze wstrząsami zarejestrowanymi 24.02.2008 roku, 10.03.2008 roku oraz 16.03.2008 roku.

Analizy uśrednionego (dla analizowanych wstrząsów) przebiegu obserwowanych przemieszczeń pionowych względem chwili wystąpienia wstrząsu wykazały, że już 16 godzin przed wstrząsem obserwowano ograniczenie procesu obniżenia i nieznaczne wypiętrzenie. Maksymalne wypiętrzenie występowało na ok. 4 godziny przed wstrząsem, po czym

następował zwiększony przyrost obniżeń, który trwał jeszcze 2 godziny po wystąpieniu wstrząsu. Trzeba jednak podkreślić, że powyższe czasookresy dla poszczególnych wstrząsów mogą się istotnie różnić.

6. Podsumowanie

1. W pracy przedstawiono wyniki analiz zmian zaobserwowanych przemieszczeń pionowych punktu zastabilizowanego w obszarze wpływów eksploatacji ścianą 183 w pokładzie 418 KWK „Pokój”. Analizy dotyczą czasookresów związanych z wystąpieniem wstrząsów indukowanych tą eksploatacją. W ich wyniku stwierdzono, iż w przebiegu przemieszczeń pionowych w czasie, w czasookresach związanych z wystąpieniem analizowanych wstrząsów, występuje powtarzalność. Można wydzielić trzy (I, II, III) następujące po sobie okresy, różniące się prędkością zmian zaobserwowanych przemieszczeń pionowych. Charakterystyczne zmiany przemieszczeń w okresach I i II, polegające na spowolnieniu procesu obniżeń lub wypiętrzeniu, a następnie zwiększonej prędkości obniżeń obserwowanego punktu, uznano za zaburzenie w przebiegu przemieszczenia. Zaburzenie to stwierdzano przed każdym z analizowanych wstrząsów, co wskazuje, iż może ono stanowić predyktor wstrząsu indukowanego eksploatacją ścianową.
2. Z uwagi na fakt, iż obserwowany przebieg przemieszczenia pionowego jest silnie zależny od zmiennego postępu frontu eksploatacyjnego oraz zmieniającej się odległości frontu ścianowego od punktu pomiarowego i reologicznych własności górotworu, w celu sformułowania ostatecznych wniosków należy wykonać analizy uwzględniające wymienione czynniki.

BIBLIOGRAFIA

1. Butra J., Orzepowski S.: Skuteczność wykrywania symptomów wstrząsów wysokoenergetycznych. „Miesięcznik WUG”, nr 8, 2000, s. 19-27.
2. Descour J.: Aktywność sejsmiczna i osiadanie powierzchni a mechanizm tąpnięć. „Cuprum”, nr 2, 1979, s. 3-7.
3. Goszcz A.: Badania związku pomiędzy deformacjami powierzchni a sejsmicznością górotworu w rejonie Katowic. Główny Instytut Górnictwa, Katowice 1989.

4. Goszcz A.: Wpływ gradientu prędkości obniżania się powierzchni pod wpływem robót górniczych na stan zagrożenia wstrząsami górniczymi. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, s. Górnictwo, z. 141, Kraków 1988, s. 67-73
5. Makówka J., Kabiesz J.: Prognoza miejsc i energii wstrząsów sejsmicznych – metoda i wyniki. Materiały XII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej, Górnictwo Zagrożenia Naturalne 2005. GIG, Katowice 2005, s. 166-171.
6. Mikołajczak J., Pielok J.: Wykorzystanie geodezyjnych pomiarów przemieszczeń górotworu do oceny zagrożeń tąpnięciami. Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, nr 1425, s. Sozologia i Sozotechnika, z. 33, Kraków 1991, s. 139-151.
7. Orzepowski S., Matwiejszyn A., Ptak M.: Możliwości zastosowania pomiarów deformacji otworów wiertniczych do prognozowania zagrożenia tąpnięciami w górnictwie węgla kamiennego. „Przegląd Górniczy”, nr 2, 1998, s. 14-20.
8. Orzepowski S.: Pomiary deformacji górotworu w otoczeniu wyrobisk górniczych. „Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa”, nr 9-10 (303), 1995, s. 137-143.
9. Popiołek E., Ostrowski J.: Prognozy deformacji powierzchni w planach ruchu podziemnych zakładów górniczych i dla potrzeb budownictwa na terenach górniczych. „Miesięcznik WUG”, nr 2, 2005, s. 3-8.
10. Sokoła-Szewioła V. (red.): Zależności pomiędzy wielkościami deformacji powierzchni terenu a aktywnością sejsmiczną górotworu. Grant KBN (projekt nr 4 T12A 032 26) realizowany w latach 2004-2007.
11. Sokoła-Szewioła V.: Jakościowe oraz ilościowe zależności pomiędzy sejsmicznością indukowaną a prędkościami obniżen punktów obserwacyjnych na terenie górniczym. „Przegląd Górniczy”, nr 11-12, 2008, s. 32-37.
12. Sokoła-Szewioła V.: Zaobserwowane i prognozowane zmiany obniżen terenu górniczego w rejonie aktywnym sejsmicznie. „Kwartalnik Górnictwo”, z. 1, tom 4, Politechniki Śląska, Gliwice 2009.
13. Sokoła-Szewioła V.: Смещения точек земной поверхности в районах ведения подземных горных работ и регистрируемая сейсмическая активность толщи горных пород. Горный информационно аналитический бюллетень. Московский государственный горный университет, Москва 2007.
14. Wanior J.: Metoda prognozowania wstrząsów i tąpnięć w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych. PTPNOZ, Częstochowa 1982.

Recenzent: Dr hab. inż. Andrzej Kowalski, prof. GIG

Abstract

In the study are presented the results of analyses of changes of the observed vertical displacements of a point located in the area of direct influence of the longwall exploitation in the Coal-Mine “Pokój” (fig.1). Vertical displacements were determined on the base of the results of continuous measurements using the GPS technique (fig.2, fig.3). The displacements analyses were conducted in a time period, including the moment of the occurrence of tremors induced by this exploitation (fig.4). It was determined that the course of vertical displacements in time, in the period connected with the occurrence of analysed tremors, is repeatable. We can distinguish three, following in succession, periods (I, II, III- fig.5, fig.6, fig.7) of the characteristic changes of the observed vertical displacements. The characteristic changes in the periods I and II consisting in a decrease of subsidence velocity or uplift and

then the increase of subsidence velocity of the observed point were considered as a disturbance in the course of vertical displacements. This disturbance occurred before each of the analysed tremors. Basing on the above, it was accepted that the disturbances can be viewed as a predictor of tremor induced by longwall exploitation.