

Violetta SOKOŁA-SZEWIOLA
Politechnika Śląska, Gliwice

DEFORMACJE POWIERZCHNI TERENU A REJESTROWANA AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA GÓROTWORU

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów obniżen powierzchni wykonywanych w ramach badań deformacji powierzchni terenu na skutek prowadzonej eksploatacji górniczej oraz kształtowanie się w tym okresie zarejestrowanej aktywności sejsmicznej górotworu. Obserwacje wykonywano w rejonie objętym robotami eksploatacyjnymi prowadzonymi przez KWK Halemba w pokładzie 415/1. Przedstawiono wstępne wyniki przeprowadzonych analiz.

DEFORMATION OF SURFACE AREA IN VIEW OF THE RECORDED SEISMIC ACTIVITY OF ROCKMASS

Summary. The paper presents measurement results of surface area subsidence carried out within complex investigation studies on surface area deformation effected by the ongoing mining process and seismic activity of rockmass recorded at that time. The observations were carried out in the area of mining works carried out at Coal Mine Halemba at the seam 415/1. Introductory results involving the carried out investigation studies were presented.

1. Wstęp

Prowadzenie eksploatacji górniczej ujemnie oddziałuje na górotwór i powierzchnię terenu. W wyniku wybrania pewnej objętości kopaliny użytecznej z masywu skalnego następują między innymi zmiany geometryczne powierzchni terenu zwane ogólnie deformacjami. Opracowanych jest wiele teorii i metod pozwalających na prognozowanie tych zmian. Dotyczą one głównie typowych warunków górniczo-geologicznych. Szczególnego znaczenia nabiera fakt prowadzenia górniczej działalności w warunkach powstawania

wstrząsów górniczych. Zagrożenie tąpnięciami i wstrząsami należy do najgroźniejszych zagrożeń naturalnych w polskim górnictwie. Bardzo istotna staje się więc prognoza potencjalnego zagrożenia sejsmicznego, a tym samym zagrożenia tąpnięciami obejmująca określenie miejsca, energii i czasu wystąpienia zjawiska sejsmicznego. Zadanie to jest trudne do wykonania. Istotnie może w jego rozwiązaniu pomóc prognoza sejsmiczności. Zagadnieniem tym zajmowano się w wielu pracach badawczych. W dotychczasowych badaniach autorzy [1,2,3,6,7,8,11] wskazywali na możliwość uwzględnienia wskaźników opisujących procesy deformacyjne wstrząsogennych warstw górotworu i powierzchni terenu do charakteryzowania poziomu sejsmiczności indukowanej. Próby powiązania deformacji powierzchni terenu z sejsmicznością podejmował już w latach siedemdziesiątych prof. H. Gil. J. Wanior [11] szukał zależności pomiędzy wielkością deformacji powierzchni lub wyrobiska i miejscem oraz energią wstrząsu. A. Goszcz [8] analizując przemieszczenia powierzchni terenu wywołane robotami górniczymi uzyskał zależność wskazującą na proporcjonalność energii sejsmicznej wstrząsu do kwadratu wysokości frontu eksploatacyjnego, prędkości jego postępu oraz współczynnika eksploatacji. Stwierdził jej odwrotną proporcjonalność do czwartej potęgi promienia zasięgu wpływów głównych. Badania prowadzone w rejonie Katowic potwierdziły te związki. J. Białek, A. Jaworski, P. Bańka [1,2,3] zaproponowali wykorzystanie do prognozy sumarycznego wydatku energetycznego wstrząsów indukowanych działalnością górniczą prognozowanych rozkładów wybranych wskaźników dynamicznej niecki osiadania warstw górotworu. Prace w tym zakresie prowadzone są od kilkunastu lat w Instytucie Geotechnologii Geofizyki Górniczej i Ekologii Terenów Przemysłowych Politechniki Śląskiej.

Obecnie realizowany jest w Instytucie projekt badawczy, którego celem jest poszukiwanie zależności pomiędzy rozkładem deformacji powierzchni terenu, a rejestrowanym poziomem sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą. Badania wykonywane są na obszarze górniczym KWK „Halemba” w rejonie, w którym eksploatacja górnicza prowadzona jest w partii zaliczonej do III stopnia zagrożenia tąpnięciami, charakteryzującej się wysoką sejsmicznością indukowaną. Obejmują one pomiary okresowe metodami geodezyjnymi oraz pomiary ciągłe z wykorzystaniem opracowanego w Instytucie laserowego systemu ciągłej rejestracji przemieszczeń punktów powierzchni terenu z dużych odległości [1,2].

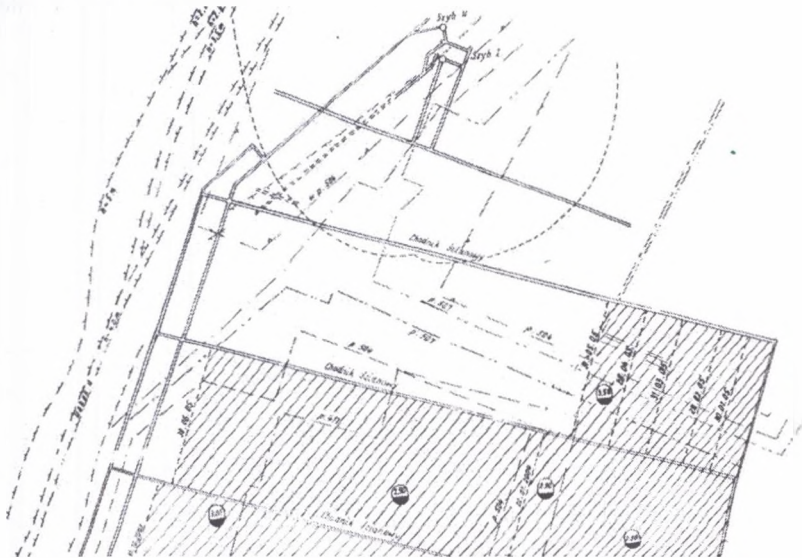
W artykule przedstawiono wyniki pomiarów obniżenia powierzchni wykonywanych w ramach prowadzenia ww. badań deformacji powierzchni terenu na punktach linii

obserwacyjnej oraz kształtowanie się w tym okresie zarejestrowanej aktywności sejsmicznej górotworu.

2. Charakterystyka warunków górniczo-geologicznych

Badaniami deformacji, których element stanowią pomiary obniżeń punktów powierzchni terenu objęto rejon prowadzonej przez KWK „Halemba” eksploatacji ścianą 6 w pokładzie 415/1, partia F. Długość ściany wynosi 285 m, a wybieg 1070 m. Pokład wybierany jest na wysokość do 3,5 m z pozostawieniem węgla w spągu o grubości około 0,9 m, na średniej głębokości około 600 m, systemem ścianowym podłużnym z zawałem stropu. W rejonie badań pokład zapada na południe pod kątem 7° . Partia ta zaliczona jest do III stopnia zagrożenia tapaniami i charakteryzuje się wysoką sejsmicznością indukowaną.

Pokład w przedmiotowym rejonie wybierany jest od roku 1998, systemem ścianowym podłużnym z zawałem stropu. Ściany prowadzone są ze wschodu na zachód. Roboty wybierkowe w obszarze ściany 6 stanowiącej kontynuację eksploatacji prowadzonej w tej partii rozpoczęto 21.12.2004 roku. Na rysunku 1 przedstawiono kontury eksploatacji dokonanej i prowadzonej w rejonie badań.



Rys. 1. Kontury eksploatacji dokonanej i prowadzonej w rejonie objętym badaniami - pokład 415/1- partia F
 Fig. 1. Contours of the completed and ongoing mining works in the area subjected to investigation studies – seam 415/1 – part

Od dnia 31.12.2004 r. do 6.05 2005 roku ściana osiągnęła 268 m wybiegu. Dobowe postępy frontu ścianowego wahały się w granicach od 1,5 do 5 m. Średni postęp dobowy (liczony na wszystkie dni miesiąca) wyniósł 2.18 m.

3. Aktywność sejsmiczna górotworu

Analizowana partia charakteryzuje się stosunkowo wysoką sejsmicznością indukowaną prowadzoną eksploatacją górnictw. Występowanie w trakcie eksploatacji średnio i wysokoenergetycznych wstrząsów wiąże się z zalegającymi w stropie i spągu pokładu grubymi warstwami piaskowców skłonnych do akumulacji energii sprężystej oraz licznymi krawędziami eksploatacji w sąsiednich pokładach. Duża aktywność sejsmiczna powodowana jest także prowadzeniem eksploatacji pod niewybranymi parcelami oraz w rejonie uskoku w sąsiedztwie, których pozostawiono liczne resztki.

W okresie objętym badaniami tj. od 21.12.2005 r. do 6 maja 2005 r. w badanej partii zarejestrowano 132 wstrząsy o energiach od 10^3 do 10^5 J z czego 121 indukowały roboty w polu przedmiotowej ściany. Pozostałe zarejestrowano w rejonie ściany 5. Maksymalna energia wstrząsu wynosiła 6×10^5 J.

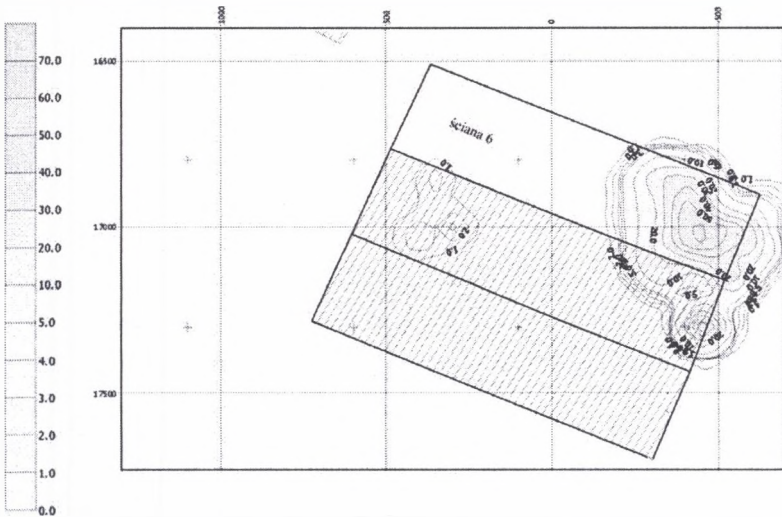
Kształtowanie się zarejestrowanej sejsmiczności w trakcie eksploatacji ścianą 6 ilustruje tablica 1.

Tabela 1

Zarejestrowana sejsmiczność towarzysząca eksploatacji przedmiotowej ściany

Energia [J]	Ilość wstrząsów	Suma energii [J]
10^3	21	1.2E5
10^4	97	3.39E6
10^5	3	1.2E6

Na rysunku 2 zaprezentowano rozkład gęstości energii wstrząsów [J/m^2] zarejestrowanych w partii F w okresie prowadzenia obserwacji deformacji powierzchni terenu. Obserwowano zmienną aktywność sejsmiczną w poszczególnych okresach. W początkowym odcinku biegu ściany notowano aktywność niższą. W okresie prowadzenia robót górnictw w rejonie obszarów, w których prognozowano duże przyrosty odkształceń pionowych rejestrowano wysoką aktywność sejsmiczną górotworu.



Rozkład gęstości energii wstrząsów [J/m²] zarejestrowanych w okresie 21.12.2004 r do 6.05.2005 r

Rys. 2. Rozkład gęstości energii wstrząsów [J/m²] w okresie 21.12.2004r. do 6.05.2005r.

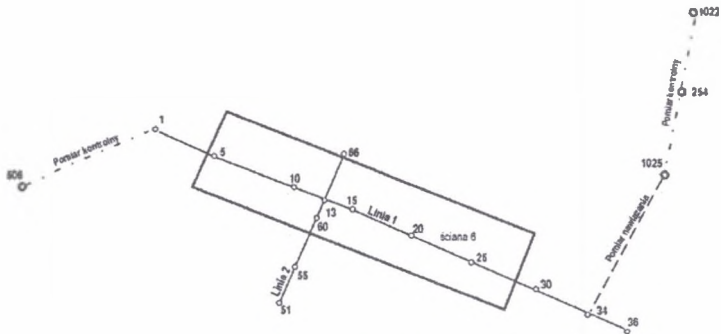
Fig. 2. Density distribution of tremor energy [J/m²] – within the period from 21.12.2004 to 6.05.2005

4. Badania deformacji powierzchni terenu

Badania deformacji powierzchni terenu wykonywane są zgodnie z projektem uwzględniającym oszacowania potencjalnego poziomu sejsmiczności indukowanej, jaka może towarzyszyć eksploatacji w polu przedmiotowej ściany [10]. W projekcie uwzględniono również wyniki prognozy deformacji powierzchni terenu.

Zakres pomiaru obejmuje okresowe pomiary obniżen i przemieszczeń poziomych metodami geodezyjnymi na liniach obserwacyjnych oraz pomiary ciągłe z wykorzystaniem systemu laserowego [4]. Sieć obserwacyjna stanowi układ dwóch prostokątnych linii obserwacyjnych składających się z 52 punktów pomiarowych. Linia 1 usytuowana wzdłuż przesuwanego się frontu wybierania zawiera 36 punktów. Linia 2, prostopadła do niej składa się z 16 punktów. Średnia odległość między punktami wynosi 45 m

Pomiary wysokościowe wykonywane są metodą niwelacji precyzyjnej, przy wykorzystaniu niwelatorów kodowych w nawiązaniu do reperów o numerach 1022 , 1025 i 254 oraz reperu numer 506 (rys.3).



Rys.3. Schemat sieci obserwacyjnej- pomiary niwelacyjne
 ○ punkty linii obserwacyjnych

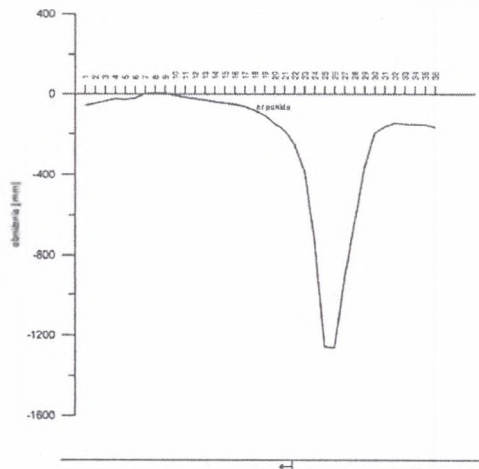
● punkty nawiązania wysokościowego

Fig.3. Diagram of observation network – leveling measurements

○ Points of observation lines

● Height connection points

W celu wyznaczenia bezwzględnych wektorów przemieszczeń poziomych punktów wykonywane są okresowe pomiary liniowo – kątowe punktów sieci obserwacyjnej i punktów nawiązania sytuacyjnego przy zastosowaniu tachimetrów elektronicznych. Do wyznaczenia współrzędnych punktów nawiązania okresowo w badaniach stosowana jest technologia GPS. Pierwszy pomiar niwelacyjny wykonano 29.10.2005r. Do dnia 6 maja 2005 roku wykonano 21 cykli pomiarowych. Cykle wykonywano w odstępach od 3 do 14 dni. Na rys. 4 przedstawiono przykładowy wykres obniżenia punktów na linii pomiarowej 1 dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005r.



Rys. 4. Obniżenia punktów na linii obserwacyjnej 1- na podstawie pomiarów dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005

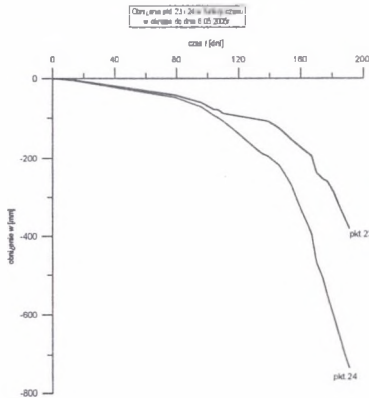
Fig. 4. Subsidence on the observation line I basing on measurement results for the mining period to 6.05.2005

Największe obniżenie wystąpiło w tym okresie na punkcie 26 i wyniosło 1263 mm.
Największa dobowa prędkość narastania obniżeń wynosiła w tym okresie 29 mm.

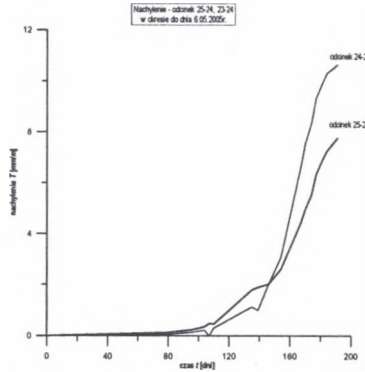
5. Obniżenia a poziom sejsmiczności indukowanej

Prowadzone badania mają na celu określenie zależności pomiędzy rozkładem deformacji powierzchni terenu a rejestrowaną sejsmicznością indukowaną prowadzoną eksploatacją górnictw. W celu wstępnego określenia potencjalnych związków tych wielkości przeprowadzono analizę obniżeń punktów oraz nachyleń i krzywizn na wybranych odcinkach pomiarowych, które uległy największym deformacjom i najlepiej opisują przebieg ruchów w górotworze, i zarejestrowanej sejsmiczności. Wykorzystano wyniki pomiarów 18 cykli niwelacyjnych wykonanych w okresie od 29.10.2004 r. do 6.05.2005 r.

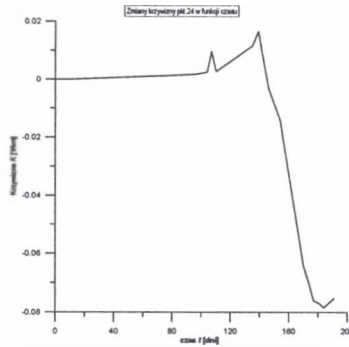
Na rysunku 5 przedstawiono obniżenia punktów 23 i 24 w funkcji czasu. Rysunek 6 zawiera wykresy zmian nachyleń w czasie, w analizowanym okresie odcinków 24-23 oraz 25-24. Zmiany krzywizny w czasie w punkcie 24 zaprezentowano na rysunku 7. Średnią dobową prędkość obniżeń punktów 23, 24 oraz średnią dobową sumaryczną energię wstrząsów w czasokresach cykli pomiarów niwelacyjnych przedstawiono na rysunku 8. Obniżenie punktów 23 i 24 w porównaniu z sumą energii wstrząsów zarejestrowanych w kolejnych czasokresach pomiarów niwelacyjnych zaprezentowano na rysunku 9. Zależności tego rodzaju przedstawił A. Kijko [9] w postaci modelu związku aktywności sejsmicznej górotworu z wielkością wyeksploatowanej powierzchni złoża (objętością wyeksploatowanego złoża).



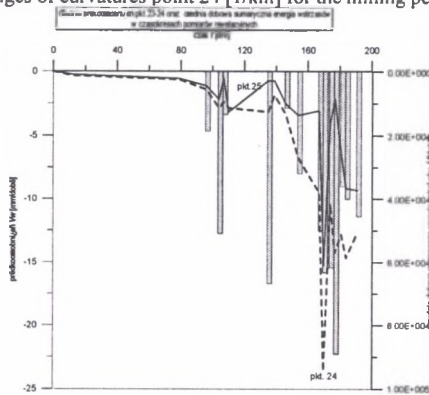
Rys. 5. Obniżenia punktu pkt.23i 24 w funkcji czasu dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005
Fig. 5. Subsidence of points 23 and 24 in time function results for the mining period to 6.05.2005



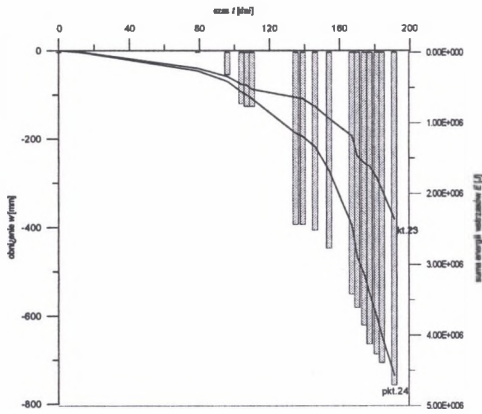
Rys. 6. Zmiany nachylenia odcinka 24-23 i 25-24 dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005
 Fig. 6. Changes of inclination between points 24-23 and 25-24 for the mining period to 6.05.2005



Rys. 7. Zmiany krzywizny – punkt 24 dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005
 Fig. 7. Changes of curvatures point 24 [1/km] for the mining period to 6.05.2005



Rys. 8. Średnie prędkości obniżenia – pkt. 23 i 24 [mm/dobę] w funkcji czasu oraz średnia dobowa sumaryczna energia wstrząsów w czasokresach cykli pomiarów niwelacyjnych dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005
 Fig. 8. Average velocity of subsidence of point 23 and 24 [mm/24hours] in time function and average total tremor energy per 24hours in time-periods of leveling measurement cycles results for the mining period to 6.05.2005



Rys. 9. Obniżenie [mm] punktu 23 i 24 w funkcji czasu, dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005.

Suma energii zarejestrowanych wstrząsów górotworu dla zakresu eksploatacji do 6.05.2005

Fig. 9. Subsidence of points 23 and 24 in time function results for the mining period to 6.05.2005.

Sum of the recorded tremor energy [J] for the mining period to 6.05.2005

- Analiza wykresów obniżeń wskazuje, że w początkowym okresie, aż do chwili osiągnięcia wybiegu 141 m obniżenie bardzo małe. Od 11.03.2005 r. nastąpił gwałtowny wzrost obniżenia oraz wzrost prędkości obniżeń.
- Krzywizny w punkcie 24 w początkowym okresie biegu ściany do dnia 14.02.2005 r. wykazywały wartości bliskie zeru. Następnie z trudnych do wyjaśnienia przyczyn w krótkim czasie pojawiły się bardzo małe krzywizny dodatnie. W miarę postępujących obniżeń stwierdzono wzrost krzywizny aż do osiągnięcia wartości $-7,85 \text{ E-2 [1/km]}$.
- Przedstawione na rysunku 8 średnie prędkości obniżeń punktów w czasokresach pomiarów niwelacyjnych wykazują wyraźną fluktuację. Prędkość obniżeń punktów wzrasta wraz ze zbliżaniem się frontu do analizowanego odcinka linii pomiarowej.
- Porównanie średnich prędkości obniżeń punktów na wytypowanych odcinkach linii pomiarowej położonych w rejonie przesuwanego się frontu ścianowego oraz średniej dobowej sejsmiczności w czasokresach cykli pomiarowych wskazuje na jakościowy związek przyrostów obniżeń z sumą energii wstrząsów zarejestrowanych w tych samych przedziałach czasu.
- Przeprowadzone porównanie obniżeń punktów w czasie z zarejestrowaną sumaryczną energią sejsmiczną wskazuje na wyraźne jakościowe i ilościowe zależności pomiędzy tymi wielkościami.

6. Podsumowanie

Przedstawiona w artykule wstępną analizę ruchów pionowych górotworu wybranego fragmentu linii pomiarowej wykazała, że istnieją jakościowe i ilościowe związki pomiędzy narastającą sumą energii wstrząsów a wielkością obniżenia oraz pomiędzy przyrostami obniżenia punktów linii pomiarowej w czasie, a sumą energii sejsmicznych wstrząsów indukowanych prowadzonymi robotami eksploatacyjnymi w analizowanych przedziałach czasu. Rozwiązanie zadania postawionego w realizowanym projekcie wymaga dalszych badań oraz przeprowadzenia kompleksowych analiz wszystkich wielkości wskaźników deformacji powierzchni terenu z uwzględnieniem parametrów górnictwo-geologicznych prowadzonych robót górnictwowych.

LITERATURA

1. Bańka P.: Wpływ deformacji górotworu na czasowe zmiany aktywności sejsmicznej. ZN Pol. Śl. S. Górnictwo z. 232. Gliwice 1996.
2. Białek J. Jaworski A.: Sposób wyznaczania stref zagrożonych wzmogoną aktywnością sejsmiczną na podstawie prognozowanych rozkładów wskaźników deformacji górotworu. Mat. Seminarium „Ocena stanu zagrożenia łąpaniami w kopalniach KGW i środki ich minimalizacji. ST KG PAN o. Katowice. GIG. Jaworze 1989.
3. Białek J. Bańka P., Jaworski A. :Wykorzystanie analitycznych prognoz naprężeniowo – deformacyjnych warunków wybierania do projektowania eksploatacji w rejonach zagrożonych łąpaniami. Prace GIG, s. Konferencje nr 26. Katowice, 1998.
4. Białek J., Sokoła-Szewiōła V., Opałka K.: Ciągłe pomiary przemieszczeń punktów powierzchni terenu w rejonach eksploatacji prowadzonej w warunkach wysokiej aktywności sejsmicznej. XI Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika- Geotechnics 2004” Gliwice – Ustroń. 2004.
5. Białek J., Sokoła-Szewiōła V., Opałka K.: Badania deformacji powierzchni terenu w rejonach eksploatacji prowadzonej w warunkach wysokiej aktywności sejsmicznej. V konferencja Naukowo-Techniczna. Ochrona Środowiska na Terenach Górniczych. Szczyrk, 2-4.06.2004.
6. Descour J.: Aktywność sejsmiczna i osiadanie powierzchni a mechanizm łąpan. Cuprum nr 2. 1979.
7. Goszcz A.: Zagrożenie powierzchni ze strony wstrząsów górniczych i możliwość jego prognozowania. Przegląd Górniczy nr 4, 1991.
8. Goszcz A. Wpływ gradientu prędkości obniżania się powierzchni po wpływie robót górniczych na stan zagrożenia wstrząsami górniczymi. ZN AGH. S. Górnictwo z. 141. Kraków 1988.
9. Kijko A.: Theoretical model for relationship between minning seismicity and excavation area. Acta geoph. Pol. Vol.33. 1985.
10. Sokoła-Szewiōła V.: Wykorzystanie analitycznego opisu stanu zdeformowania górotworu do określania rejonu badań deformacji powierzchni terenu wywołanych eksploatacją

prowadzoną w warunkach wysokiej aktywności sejsmicznej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. s. Górnictwo, nr 261, Gliwice, 2004 (s. 287-296).

11. Wanior J.: Metoda prognozowania wstrząsów z tąpnięć w oparciu o wyniki pomiarów geodezyjnych. Wyd. PTPNoZ. Częstochowa, 1982

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2007 jako projekt badawczy.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Władysław Konopko