Jan BIAŁEK, Violetta SOKOŁA – SZEWIOŁA, Krzysztof OPAŁKA Politechnika Śląska, Gliwice

PRĘDKOŚĆ OBNIŻEŃ PUNKTÓW POWIERZCHNI TERENU A AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA GÓROTWORU

Streszczenie. Przedstawiono kształtowanie się zmian prędkości obniżeń punktów linii obserwacyjnej usytuowanej wzdłuż postępującego frontu ścianowego i rejestrowanej aktywności sejsmicznej. Wykorzystano wyniki pomiarów geodezyjnych.

THE SUBSIDENCE RATE OF THE LAND SURFACE POINTS AND ROCKMASS SEISMIC ACTIVITY

Summary. The paper presents the forming of the subsidence rate changes of observation line points located along the advancing longwall front and the recorded seismic activity of rockmass. The study was worked out on the base of periodical measurements using geodesic methods.

1. Wprowadzenie

Wskutek prowadzenia eksploatacji górniczej zalegające nad jak i pod eksploatowanym pokładem warstwy skalne ulegają deformacjom zależnym od warunków górniczo - geologicznych, w jakich prowadzone są roboty górnicze. W pewnych warunkach deformacje warstw skalnych mogą być przyczyną występowania wstrząsów górotworu oraz tąpnięć w wyrobiskach górniczych. W przeszłości wskazywano na możliwość uwzględnienia wskaźników opisujących procesy deformacyjne wstrząsogennych warstw górotworu i powierzchni terenu do charakteryzowania poziomu sejsmiczności indukowanej [2,7,8,9,13].

Badania [1,3,6] prowadzone w Instytucie Eksploatacji Złóż wykazały istnienie zależności korelacyjnych pomiędzy procesami deformacyjnymi zachodzącymi w górotworze wskutek prowadzenia wybierania a rejestrowaną ilością i sumaryczną energią wstrząsów. W pracach

korelowano emisję sejsmiczną z przestrzennymi rozkładami wskaźników dynamicznej niecki osiadania warstw górotworu oraz poszukiwano zależności pomiędzy tymi wielkościami w funkcji czasu.

Celem zaprezentowanych w artykule badań jest określenie zależności pomiędzy wielkościami deformacji powierzchni terenu a rejestrowanym poziomem sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą. Badania stanowią kontynuację wcześniejszych prac prowadzonych w Instytucie Eksploatacji Złóż Politechniki Śląskiej. Wykonano je w rejonie eksploatacji prowadzonej przez KWK "Halemba" ścianą 6 w pokładzie 415/1. Eksploatację prowadzono w warunkach występowania aktywności sejsmicznej górotworu. W celu wyznaczenia wielkości deformacji wykonywano okresowe pomiary geodezyjne oraz pomiary ciągłe przy wykorzystaniu laserowego systemu ciągłego pomiaru przemieszczeń punktów powierzchni terenu z dużych odległości [5]. Badania realizowano na odpowiednio zaprojektowanej na podstawie wykonanych prognoz deformacji powierzchni terenu oraz aktywności sejsmicznej [12] sieci obserwacyjnej, składającej się z linii obserwacyjnych oraz punktów rozproszonych, stanowiących sieci pomiarowe obserwacji kątowo - liniowych oraz niwelacyjnych. W prowadzonych badaniach przyjęto wskaźniki charakteryzujące poziom sejsmiczności możliwe do określenia na podstawie standardowo wyznaczanych w kopalnianych stacjach geofizycznych współrzędnych ognisk wstrząsów oraz energii sejsmicznej. W artykule przedstawiono wyniki analiz zmian prędkości obniżeń punktów powierzchni terenu i zarejestrowanej aktywności sejsmicznej.

2. Ogólna charakterystyka prowadzonych badań

Badaniami objęto rejon prowadzonej przez KWK "Halemba" eksploatacji ścianą 6 w pokładzie 415/1, partia F. Pokład należy do grupy warstw rudzkich. W przeszłości w rejonie tym prowadzono eksploatację pokładów: 402, 403/1, 404/2, 405, 407/2, 409, 410, 411, 413/1, 413/2 oraz 414/2 i 502, 504, 506, 507, 510. Roboty wybierkowe w obszarze przedmiotowej ściany 6 stanowiły kontynuację eksploatacji prowadzonej w tej partii. Długość ściany wynosiła 285 m, a wybieg 1070 m. Miąższość pokładu w partii F waha się w granicach od 2,9 m do 5,3 m. Złoże wybierano 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 7⁰. Pokład w tym rejonie zaliczony jest do IV kategorii zagrożenia metanowego, do III stopnia zagrożenia tąpaniami, klasy B zagrożenia pyłowego, I stopnia zagrożenia wodnego oraz II grupy samozapalności węgla. Z uwagi na zagrożenie pożarowe stosowano okresowe doszczelnianie zrobów zawałowych pyłami dymnicowymi.

Sieć obserwacyjna objęła układ dwóch prostopadłych linii obserwacyjnych składających się z 52 punktów pomiarowych przy średniej wzajemnej ich odległości około 50 m oraz punkty rozproszone. Linia usytuowana wzdłuż przesuwającego się frontu wybierania składała się z 36 punktów o numerach od 1 do 36. Linia prostopadła do niej z 16 punktów oznaczonych numerami od 51 do 66. Sieć tworzyła układ sieci obserwacyjnej dla pomiarów niwelacyjnych oraz kątowo - liniowych. Częstotliwość prowadzenia obserwacji dostosowano do postępu frontu eksploatacji. Szczegółowo prowadzone badania oraz wstępne rezultaty prowadzonych analiz omówiono w pracach [4,5,10,11].

3. Wyniki obserwacji

W celu poszukiwania zależności pomiędzy sejsmicznością i deformacjami powierzchni terenu wywoływanymi rozpatrywanymi robotami górniczymi w polu ściany 6 wykorzystano między innymi wyniki przeprowadzonych okresowych pomiarów wysokościowych. Dane na temat aktywności sejsmicznej w rejonie badań pozyskano z Kopalnianej Stacji Geofizyki KWK "Halemba". Zweryfikowano je wykorzystując rejestracje sieci regionalnej GIG w Katowicach. Opierając się na analizie czasoprzestrzennego rozkładu eksploatacji oraz kształtowaniu się aktywności sejsmicznej, wyodrębniono okresy analiz wyników obserwacji wysokościowych. Wybieranie w polu przedmiotowej ściany rozpoczęto 21.12.2004 r. Ścianę zakończono 23.11.2005 r. Analizy wyników pomiarów wysokościowych wykonywano dla dwóch okresów:

- Okres I: 21.12.2004 r. 25.07.2005 r. ściana osiągnęła 425 m wybiegu.
- Okres II: 26.07.2005 r. 20.03.2006 r. ściana osiągnęła 819 m wybiegu.

Na rysunkach 1, 2 przedstawiono kontury eksploatacji prowadzonych w badanym rejonie.

- Rys. 1. Kontury eksploatacji prowadzonej w badanym rejonie w okresie 21.12.2004 r. -25.07.2005 r.
- Fig. 1. Contours of the completed mining works in the period from 21.12.2004 to 23.07.2006



- Rys. 2. Kontury eksploatacji prowadzonej w badanym rejonie w okresie 21.12.2004 r. -20.03.2006 r.
- Fig. 2. Contours of the completed mining works in the period from 21.12.2004 to 20.03.2006

3.1. Aktywność sejsmiczna

W okresie od 21.12.2004 r. do 23.11.2006 r. w przedmiotowej partii zarejestrowano 339 wstrząsów o energiach rzędu 10³ do 10⁶ J. Roboty w polu obserwowanej ściany indukowały 327 wstrząsów. Maksymalna energia wstrząsu wyniosła 3x10⁶ J. Rozkład wydatku energetycznego wstrząsów w postaci map izolinii przedstawiono na rys. 3, 4, 5.



- Rys. 3. Rozkład gęstości energii wstrząsów [J/m²] zarejestrowanych w okresie 21.12.2004 r. -23.11.2006 r.
- Fig. 3. Denisity distrubution of tremor energy [J/m2] within the period from 21.12.2004 to 23.11.2006



- Rys. 4. Rozkład gęstości energii wstrząsów [J/m²] zarejestrowanych w okresie 21.12.2004 r. -25.07.2005 r.
- Fig. 4. Denisity distrubution of tremor energy [J/m2] - within the period from 21.12.2004 to 25.07.2005



- Rys. 5. Rozkład gęstości energii wstrząsów [J/m²] zarejestrowanych w okresie 26.07.2005 г. -20.03.2006 г.
- Fig. 5. Denisity distrubution of tremor energy [J/m2] within the period from 21.12.2004 to 20.03.2006

3.2. Obserwacje geodezyjne

Obserwacje wysokościowe wykonano w 101 cyklach pomiarów niwelacyjnych. Pierwszy pomiar wykonano 29.10.2004 r., ostatni 24.11.2006 r. W I okresie wyodrębnionym w celu przeprowadzenia analiz wykonano 44 cykle pomiarowe. W okresie II od 26 lipca 2005 r. do 20.03.2006 r. wykonano 39 cykli.

Po przeprowadzeniu wstępnych analiz z uwzględnieniem przede wszystkim czasoprzestrzennego rozkładu eksploatacji prowadzonej w rejonie dalsze rozważania ograniczono do punktów linii obserwacyjnej 1. W okresie prowadzenia wybierania do dnia 24.11.2006 roku zanotowano maksymalne obniżenie w na punkcie 25 o wartości 2539 mm. W okresach I, II stwierdzono maksymalne obniżenie w na tym samym punkcie o wartościach odpowiednio 2206 mm oraz 2504 mm. Na rysunku 6 przedstawiono wykres pomierzonych obniżeń w punktów linii obserwacyjnej 1.



- Rys. 6. Obniżenia punktów linii obserwacyjnej 1 na podstawie pomiarów w okresach wykonywanych analiz
- Fig. 6. Subsidence on the observation line 1 basing on measurement results in the analysis periods

4. Jakościowe związki zmian prędkości obniżeń i zarejestrowanej aktywności sejsmicznej

Zależności pomiędzy wielkościami deformacji powierzchni terenu a rejestrowana aktywnością sejsmiczną górotworu poszukiwano w pierwszym etapie poprzez zbadanie, czy istnieja jakościowe związki pomiędzy zmianami wielkości deformacji powierzchni terenu wyznaczonymi na podstawie zrealizowanych okresowych pomiarów geodezyjnych i zmianami zarejestrowanej aktywności sejsmicznej górotworu. Rozważania te przeprowadzono dla narastających wielkości energii E i liczby wstrząsów N i narastających wielkości deformacji powierzchni terenu. Badania wykonano również dla przyrostów wielkości energii sejsmicznej Ei i liczby wstrząsów Ni w czasookresach cykli pomiarów niwelacyjnych oraz przyrostów wielkości deformacji. Analizy wykonano w wybranych czasookresach pomiarów wyodrębnionych na podstawie kryterium zmian aktywności sejsmicznej, zakresu pomiaru oraz czasoprzestrzennego rozwoju eksploatacji w rejonie badań.

Opierając się na przyrostach w czasookresach cykli pomiarów, obliczono średnie dobowe przyrosty poszczególnych wielkości deformacji. Wyznaczono również średnie dobowe wartości zarejestrowanej energii *Eśri*. Poniżej przedstawiono wyniki analiz zmian średnich dobowych przyrostów *Eśri* oraz prędkości obniżeń punktów powierzchni terenu v w wydzielonych okresach I i II.

W okresach tych na podstawie analizy zmian w kształtowaniu się narastających wielkości obniżeń w czasie w(t) poszczególnych punktów, określono czasookresy i punkty linii obserwacyjnej 1, które poddane zostały szczegółowym badaniom. Podstawowe rozważania przeprowadzono przyjmując za [13], że istnieją zależności pomiędzy kształtowaniem się dobowych zmian prędkości obniżeń a zarejestrowaną średnią dobową aktywnością sejsmiczną górotworu. Zależności tych poszukiwano uwzględniając dodatkowo rozkład ognisk wstrząsów o energii nie mniejszej niż $5x10^4$ [J]. W analizach uwzględniono wielkość postępu frontu eksploatacyjnego w poszczególnych czasookresach.

Biorąc pod uwagę następujące kryteria:

- ocena zmian zaobserwowanych obniżeń z uwzględnieniem skokowych przyrostów ich wartości,
- położenie frontu eksploatacyjnego w stosunku do obserwowanych punktów,
- określenie punktów podlegających wpływom eksploatacji prowadzonych w rejonie objętym badaniami,
- wyodrębniono 6 czasookresów do przeprowadzenia szczegółowych badań:
- a analizą objęto punkty 26,27,28. Wykorzystano wyniki pomiarów niwelacyjnych w okresie: 22.03.2005 r. - 27.05. 2005 r. Postęp ściany w tym okresie wyniósł 226,75 m.
- b analizą objęto punkty 23, 24, 25. Wykorzystano wyniki pomiarów niwelacyjnych w okresie od 22.03.2005 r. do 25.07.2005 r. Postęp ściany w tym okresie wyniósł 259,5 m.
- c analizą objęto punkty 20, 21, 22. Wykorzystano wyniki pomiarów niwelacyjnych w okresie 12.04.2005 r. - 25.07.2005 r. Postęp ściany w tym okresie wyniósł 212,5 m.
- d analizą objęto punkty 16, 17, 18, 19. Wykorzystano wyniki pomiarów niwelacyjnych w okresie 17.05.2005 r. - 5.07.2005 r. Postęp ściany w tym okresie wyniósł 100 m.
- e analizą objęto punkty 13, 14, 15. Wykorzystano wyniki pomiarów niwelacyjnych w okresie 12.09.2005 r. 20.03.2006 r. Postęp ściany w tym okresie wyniósł 294 m.
- f analizą objęto punkty 10, 11, 12. Wykorzystano wyniki pomiarów niwelacyjnych w okresie 28.11.2005 r.- 20.03.2006 r. Postęp ściany w tym okresie wyniósł 171,25 m.

Na rysunkach 7, 8, 9, 10 zaprezentowano zmiany prędkości obniżeń v punktów powierzchni terenu oraz średnie dobowe przyrosty energii sejsmicznej *Eśri* w czasookresach *a, b, c, e*.



- Rys. 7. Srednie dobowe prędkości obniżeń w okresie v [mm/dobę] na punktach 28, 27, 26 oraz średnia dobowa aktywność sejsmiczna w okresie Eśri [J/dobę]
- Fig. 7. The medium day rate of subsidences in the period v(mm/day) at the points 28, 27,26 and the medium day seismic activity in the period *Eśri* [J/day]



- Rys. 8. Srednie dobowe prędkości obniżeń w okresie v [mm/dobę] na punktach 23, 24, 25 oraz średnia dobowa aktywność sejsmiczna w okresie Eśri [J/dobę]
- Fig. 8. The medium day rate of subsidences in the period v(mm/day) at the points 23, 24,25 and the medium day seismic activity in the period *Eśri* [J/day]



- Rys. 9. Średnie dobowe prędkości obniżeń w okresie v [mm/dobę] na punktach 20, 21, 22 oraz średnia dobowa aktywność sejsmiczna w okresie Eśri [J/dobę]
- Fig. 9. The medium day rate of subsidences in the period v(mm/day) at the points 20, 21,22 and the medium day seismic activity in the period *Esri* [J/day]



- Rys. 10. Średnie dobowe prędkości obniżeń w okresie v [mm/dobę] na punktach 13, 14, 15 oraz średnia dobowa aktywność sejsmiczna w okresie Eśri [J/dobę]
- Fig. 10. The medium day rate of subsidences in the period v(mm/day) at the points 13,14,15 and the medium day seismic activity in the period *Eśri* [J/day]

Na podstawie opracowanych wykresów stwierdzono:

- czasookres a (rys. 7) zaobserwowane zwiekszone wartości predkości obniżeń punktu 26 koreluja z okresami notowanej zwiekszonej średniej sejsmiczności dobowej. Front ściany 22.03.2005 r. znajdował się w odległości około 70 m (zroby) od punktu 26. W miarę oddalania się frontu od punktu 26 prędkości obniżeń maleją. W odległości około zwiększony wydatek energetyczny wykazuje mniejsza zgodność 200 m z zaobserwowanymi obniżeniami. W okresie od 6.05.2005 r. do 13.05.2005 r. front ściany znajdował się w odległości około 180 m od punktu 26, po okresie spadku predkości 26.04.-6.05.2005 r. zanotowano zwiekszona predkość obniżeń. Jednocześnie w reionie punktu 26 zlokalizowano ognisko wstrzasu o energii 8x10⁴ [J], który wystapił 11.05.2005 r. Dnia 24.05.2005 r. zanotowano na punkcie duże prędkości obniżeń. Front ściany znajdował się w odległości 230 m od punktu. W rejonie punktu zlokalizowano w tym okresie ognisko wstrząsu o energii 6x10⁵ [J]. W przypadku pozostałych punktów zgodności zwiększonych prędkości obniżeń korelują z sejsmicznością w okresie do 19.04.2005 r. Punkt 27 znajdował się dnia 22.03 2005 r. w odległości 120 m (zroby) od frontu ściany (zroby), dnia 19.04 - około 190 m (zroby). Punkt 28 odpowiednio w odległościach 155 m (zroby) i 225 m (zroby) od frontu. Mimo wzrostu odległości punktu od frontu oraz zmniejszenia prędkości postępu w okresie 13.05.-17.05.2005 r. zanotowano zwiększoną dobową średnią energię sejsmiczną. W tym okresie zlokalizowano w pobliżu punktów ogniska wstrząsów o energiach rzędu 6x10⁴ [J].
- czasookres b (rys. 8) zaobserwowane zwiększone wartości prędkości obniżeń w okresie objętym analizą korelują ze zwiększonymi przyrostami dobowymi energii sejsmicznej. Punkty 23, 24, 25 znajdowały się 22.03.2005 r. w odległościach odpowiednio 60 m (wybieg), 15 m (wybieg), 30 m (zroby) od frontu ściany, natomiast dnia 10.06.2005 r. w odległościach odpowiednio 123 m (zroby), 168 m (zroby), 217 m (zroby). Zgodności zwiększonych prędkości obniżeń ze zwiększonym dobowym wydatkiem energetycznym wystąpiły na punktach 24, 25 w okresie do 24.05.2005 r. Na punkcie 23 zaobserwowano zwiększoną prędkość obniżeń w okresie do 26.04. 29.04.2005 r. W rejonie punktu zlokalizowano ognisko wstrząsu o energii 6x10⁴. Wzrost nastąpił po okresie zmniejszonych prędkości obniżeń. W okresie 24.05.-31.05.2005 r. nie stwierdzono korelacji pomiędzy analizowanymi wielkościami na wszystkich punktach, co można wiązać z wystąpieniem wstrząsów wysokoenergetycznych.
- czasookres c (rys. 9) dnia 12.04.2005 r. punkty 20, 21, 22 znajdowały się w odległościach od frontu ściany odpowiednio 123 m (wybieg), 89 m (wybieg), 53 m

(wybieg), dnia 25.07.2005 r. w odległościach od frontu 85 m (zroby), 123 m (zroby), 159 m (zroby). Jak wynika z wykresu, zasadniczo okresy zaobserwowanych zwiększonych prędkości obniżeń korelują ze zwiększonymi średnimi dobowymi energiami sejsmicznymi. Dnia 13.05.2005 r. ognisko wstrząsu zlokalizowano na punkcie 22, na którym zanotowano jednocześnie duży przyrost prędkości obniżeń.

czasookres e - analiza objęto punkty 13, 14, 15. Dnia 12.09.2005 r. znajdowały się one w odległościach od frontu odpowiednio 123 m (wybieg), 73 m (wybieg), 30 m (wybieg), dnia 20.03.2005 r. w odległościach od frontu ściany odpowiednio 160 m (zroby), 210 m (zroby), 253 m (zroby). Zaobserwowano zmniejszenie prędkości obniżeń w okresach poprzedzających wystąpienie zwiększonej średniej dobowej energii sejsmicznej. Na punkcie 13 w okresie od 10.10.2005 r. do 17.10.2005 r. stwierdzono stała predkość obniżeń. Zwiększenie prędkości nastąpiło w okresie następnym, co korelowało ze zwiekszona zarejestrowaną średnią dobową energią sejsmiczną i wystąpieniem wstrzasów o energii 8x10⁴ J, którego ognisko zlokalizowano w pobliżu analizowanych punktów. Na punkcie 15 zaobserwowano stałą prędkość obniżeń w okresie 7.11. - 14.11.2005 r. W okresie następnym nastąpił jej wzrost oraz zanotowano zwiększoną średnią dobową energią sejsmiczną. Dalszy przyrost prędkości nastąpił w okresie następnym, w którym wystąpił wstrząs wysokoenergetyczny o energii 4x105 J, którego ognisko zlokalizowano w pobliżu analizowanych punktów. W okresie poprzedzającym wystąpienie tego wstrząsu również na punkcie 13 zanotowano stałą prędkość obniżeń. Zmniejszenie prędkości obniżeń zanotowano na punktach w okresie 19.12. - 27.12.2005 r. W okresie następnym nastąpił duży przyrost prędkości, co można wiązać ze wstrzasem o energii 7x 10⁴ J z dnia 5.01.2005 r., którego ognisko zlokalizowano w pobliżu analizowanych punktów. Podobne zjawisko zmniejszenia się narastania obniżeń zaobserwowano na punktach 13,14 w okresie 10.02. - 21.02.2005 r. W okresie następnym zanotowano duży ich przyrost prędkości, co koreluje ze wzrostem średniej dobowej energii sejsmicznej Eśri. Jednocześnie dnia 1.03.2006 r. zarejestrowano w rejonie punktów wstrząs o energii 3x105[J].

5. Podsumowanie

Przedstawione analizy zmian dobowych przyrostów energii wstrząsów *Eśri* oraz prędkości obniżeń punktów linii obserwacyjnej l wykazały:

- zwiększone prędkości obniżeń obserwowanych punktów powierzchni terenu v korelują
 z obserwowanymi przyrostami średniej dobowej sejsmiczności indukowanej *Eśri.* Siła
 korelacji jest zależna od położenia frontu ściany w stosunku do obserwowanego punktu,
- strefa wzmożonej rejestrowanej aktywności sejsmicznej górotworu przemieszcza się wraz postępem frontu ściany. Największy poziom sejsmiczności zaobserwowano w początkowym okresie biegu ściany w zrobach. W trakcie dalszych robót od czerwca 2005 r. ogniska wstrząsów lokalizowano w zrobach lub na wybiegu w odległości do kilkudziesięciu metrów od frontu ściany. W przypadku analizowanej ściany, z uwagi na wystąpienie większości wstrząsów w zrobach można stwierdzić, że deformacje powierzchni terenu zasadniczo "wyprzedzają" aktywność sejsmiczną górotworu.

Uzyskane wyniki wskazują na zasadność poszukiwania zależności ilościowych pomiędzy analizowanymi wielkościami.

LITERATURA

- 1. Bańka P.: Wpływ deformacji górotworu na czasowe zmiany aktywności sejsmicznej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo z. 232, Gliwice 1996.
- Białek J. Jaworski A.: Próba oceny aktywności sejsmicznej na podstawie prognozowanych stanów deformacyjnych górotworu. Zeszyty Naukowe AGH, s. Górnictwo z.142, Kraków 1989.
- Białek J., Drzęźla B., Jaworski A.: Próba ustalenia zależności funkcyjnych pomiędzy przebiegiem deformacji górotworu w czasie a energią sejsmiczną dla warunków KWK Rydułtowy. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. M - 16 (245), Warszawa 1992.
- Białek J., Sokoła Szewioła 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. 2-4.06.2004, Szczyrk 2004.
- 5. Białek J., Sokoła-Szewioła V., Opałka K.: Subsidence of land area points in relation to recorded rock mass seismic activity. 6 RWTH Aachen, 9 11.11.2006, Aachen 2006.
- Drzęźla B., Białek J., Jaworski A., Bańka P., Kołodziejczyk P.: Badanie związków sejsmiczności indukowanej eksploatacją górniczą z parametrami opisującymi deformacje ośrodka skalnego. Projekt badawczy KBN nr 903759101. Praca niepublikowana, Gliwice 1994.
- 7. Descour J.: Aktywność sejsmiczna i osiadanie powierzchni a mechanizm tąpań. Cuprum nr 2, 1979.
- Goszcz A.: Wpływ gradientu prędkości obniżania się powierzchni pod wpływem robót górniczych na stan zagrożenia wstrząsami górniczymi. Zeszyty Naukowe AGH, s. Górnictwo z. 141, Kraków 1988.
- 9. Goszcz A.: Zagrożenie powierzchni ze strony wstrząsów górniczych i możliwość jego prognozowania. Przegląd Górniczy nr 4, 1991.

- Sokoła Szewioła V.: Obserwowane zmiany obniżeń punktów powierzchni terenu a rejestrowana aktywność sejsmiczna górotworu. XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna nt.: Górnicze zagrożenia naturalne 2006. GIG, Katowice 2006.
- 11. Sokoła Szewioła V.: Deformacje powierzchni terenu a rejestrowana aktywność sejsmiczna górotworu. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., s. Górnictwo z. 270, Gliwice 2005.
- Sokoła Szewioła 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 z. 261, Gliwice 2004.
- 13. 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 nr 4 T12A 032 26.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Edward Maciąg