

Piotr KOŁODZIEJCZYK, Henryk BADURA
Politechnika Śląska, Gliwice

POMIARY PRZYSPIESZEŃ DRGAŃ GRUNTU INDUKOWANYCH WSTRZĄSAMI GÓROTWORU

Streszczenie. Omówiono warunki górniczo-geologiczne oraz charakterystykę powierzchni w rejonie wybierania pokładu 703/1 w patii W1 przez kopalnię "Rydułtowy". Przedstawiono sposób prowadzenia pomiarów i obserwacji przyspieszeń drgań gruntu dla oceny oddziaływania wstrząsów towarzyszących eksploatacji górniczej na obiekty powierzchniowe w rejonie centrum Rydułtów. Podano wyniki obserwacji sejsmologicznych oraz rejestracji składowych przyspieszeń oraz wyniki komputerowego przetwarzania danych pomiarowych.

MEASUREMENTS OF GROUND SURFACE VIBRATIONS INDUCED BY ROCK-MASS TREMORS

Summary. The scope of the paper is to discuss the mining and geological conditions and the ground surface characteristics in the extraction area of section W1 located in seam 703/1 of "Rydułtowy" Coal Mine. The method of measurements taking and observations of the ground surface vibrations accelerations were presented to assess the impact of mine-induced tremors on surface engineering structures located the central zone of the town of Rydułtowy. The results of seismological observations and records of acceleration components have been given, as well as computer processing of measurement data.

1. Wstęp

Z bieżącą eksploatacją pokładu 703/1 w partii W1 KWK „Rydułtowy” związany jest zespół czynników naturalnych i górniczych powodujących występowanie wstrząsów górotworu. Do głównych przyczyn zagrożenia sejsmicznego należy zaliczyć: dużą głębokość prowadzenia robót górniczych, występowanie krawędzi i resztek pozostawionych w

pokładach nadległych oraz budowę geologiczną skał stropowych w postaci grubych i zwięzłych kompleksów piaskowców zdolnych do kumulowania energii sprężystej.

Drgania gruntu związane z wysokoenergetycznymi wstrząsami indukowanymi eksploatacją górnictwem w ww. rejonie kopalni mogą stanowić zagrożenie dla obiektów budowlanych na powierzchni terenu oraz powodować dyskomfort odczuwalny przez mieszkańców miasta Rydułtowy. Z tego też względu, niezależnie od prowadzenia ciągłych obserwacji sejsmologicznych, rozpoczęto pomiary przyspieszeń drgań gruntu, które umożliwiły bieżącą ocenę dynamicznego oddziaływania wstrząsów górotworu na powierzchnię oraz opracowanie wstępnych weryfikacji w zakresie prognozowanych wartości przyspieszeń korelowanych z obserwowanym zagrożeniem sejsmicznym.

2. Charakterystyka warunków górnictwo-geologicznych w rejonie badań

Budowę geologiczną rejonu W1 stanowią naprzemianległe warstwy piaskowców, łupków piaszczystych i łupków ilastych z pokładami węgla. Na podstawie zalegania utworów geologicznych, stwierdzonych w szybie Leon III, szybie powietrznym I i V, wyróżnia się kilka grubych, mocnych i zwięzłych warstw skalnych (piaskowców, łupków piaszczystych i zlepieńców) o miąższości powyżej 15 m. Warstwy te, zdolne do akumulowania ogromnej ilości energii sprężystej, oddają ją podczas ich gwałtownych pęknięć i załamania, co obserwuje się w postaci wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu, w szczególności po wyeksploatowaniu odpowiednio dużej przestrzeni złoża.

Wśród ww. warstw skalnych nad pokładem 703/1 można wyróżnić:

- kompleks piaskowców i łupków piaszczystych o łącznej miąższości około 24 m zalegający poniżej pokładu 630/2,
- kompleks piaskowców, zlepieńców i łupków piaszczystych o łącznej miąższości około 130 m zalegający poniżej pokładu 626/2,
- kompleks piaskowców z wkładkami węgla o łącznej miąższości około 62 m w odległości 22-84 m nad pokładem 624,
- kompleks piaskowców i łupków piaszczystych o łącznej miąższości około 36 m poniżej pokładu 620/1-2,

- kompleks piaskowców i łupków piaszczystych o łącznej miąższości około 28 m w odległości 8-36 m nad pokładem 620/1-2.

Warstwy te stanowią około 56% miąższości wszystkich warstw skalnych zalegających powyżej pokładu 703/1, tj. do stropu ostatniego z wymienionych kompleksów piaskowcowych.

W przedmiotowym rejonie (W1) kopalnia aktualnie prowadzi bądź projektuje eksploatację górnictwem w pokładach 703/1 i zalegającym poniżej w odległości od 75 do 110 m. pokładzie 713/1-2:

- pokład 703/1 należy stratygraficznie do pokładów grupy jeklowickiej (700). Jego grubość wynosi od 0,6 do 2,1 m. Nachylenie zmienia się w zakresie 12-18° w kierunku wschodnim. Rozciągłość pokładu zbliżona jest do kierunku północno-południowego. W stropie bezpośrednim występują: łupek o miąższości 2 m i warstwa piaskowca o miąższości 9 m. Natomiast w spągu znajduje się: łupek piaszczysty o grubości 6 m oraz piaskowiec o grubości około 15m,
- pokład 713/1-2 należy stratygraficznie do pokładów grupy jeklowickiej (700). Jego grubość wynosi od 2,2 do 2,9 m wraz z wkładkami węgla nieczystego i przerostu łupku. Nachylenie wynosi około 10° w kierunku wschodnim. Rozciągłość pokładu zbliżona jest do kierunku północno-południowego. W stropie bezpośrednim występują: łupek piaszczysty o miąższości 2,4 m i ława piaskowca o miąższości 26 m. Natomiast w spągu znajduje się piaskowiec o grubości około 9 m.

3. Charakterystyka powierzchni terenu i obiektów chronionych

Aktualnie prowadzona w partii W1 eksploatacja górnictwem wywołuje na powierzchni deformacje obejmujące swym zasięgiem obszar miasta Rydułtowy, a szczególnie jego centralną część. Są to tereny zurbanizowane o gęstej zabudowie, którą stanowią budynki jednorodzinne, wolno stojące, obiekty komunalne i użyteczności publicznej. W rejonie wpływów tej eksploatacji znajdują się budynki o szczególnym znaczeniu dla społeczności lokalnej. Do obiektów tych należą: Kościół pw. Św. Jerzego, Szkoła Podstawowa nr 1, Szpital przy ulicy Plebiscytowej, Liceum Ogólnokształcące nr 2, Urząd Miejski w Rydułtowach,

Szkoła Podstawowa nr 5, Ośrodek Zdrowia przy ulicy Strzelców Bytomskich, kryta pływalnia i budynek kina.

4. Ocena stanu zagrożenia wstrząsami górotworu

Analizę przeprowadzono na podstawie obserwacji i pomiarów prowadzonych w czasie eksploatacji ścian: VIII-W1 i IX-W1 w pokładzie 703 oraz ściany IV-W1 w pokładzie 705/2-3.

W okresie eksploatacji ww. ścian zarejestrowano łącznie 962 wstrząsy o energiach w przedziale od 10^3 J do 10^7 J.

Szczegółowe dane w zakresie ilości i skali energetycznej zarejestrowanych zjawisk sejsmicznych dla poszczególnych ścian oraz okresów eksploatacji przedstawiają tabele nr 1 i 2. Natomiast graficzne zobrazowanie tych danych przedstawiono na rysunkach nr 1-3.

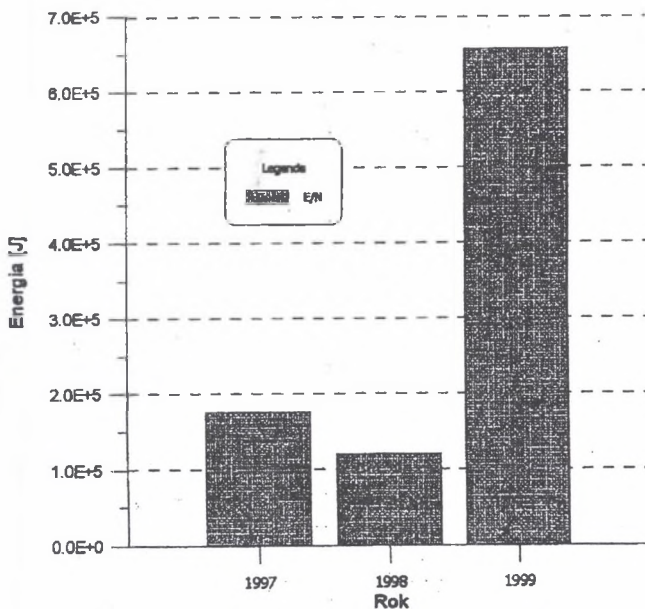
Tabela 1
Zestawienie ilości i energii wstrząsów dla ścian: IV, VIII i IX
w partii W1 w latach 1997-1999

| Rok | Ilość wstrząsów dla ścian | | | ΣN | Suma energii dla ścian | | | ΣE | $\Sigma E/N$ | E_{max} |
|------|---------------------------|------|----|------------|------------------------|-------|-------|------------|--------------|-----------|
| | IV | VIII | IX | | IV | VIII | IX | | | |
| | 1997 | 58 | | | | 58 | 1.0e7 | | | |
| 1998 | 135 | 660 | | 795 | 8.7e6 | 8.7e7 | | 9.6e7 | 1.2e5 | 3e7 |
| 1999 | | 10 | 99 | 109 | | 1.8e5 | 7.1e7 | 7.1e7 | 6.6e5 | 4e6 |

Tabela 2

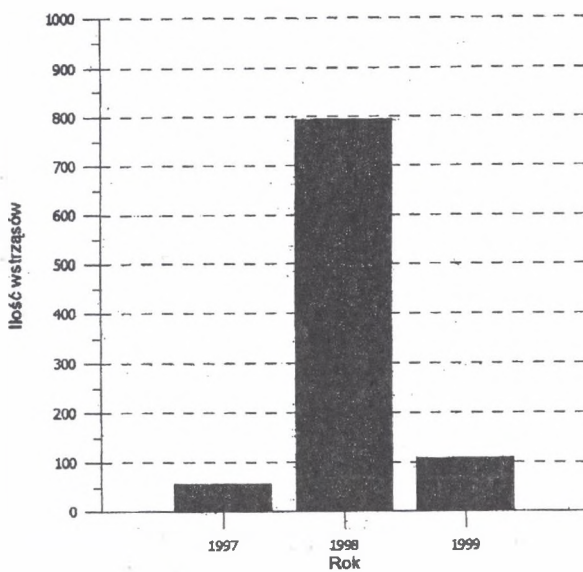
Zestawienie ilości wstrząsów w klasach energii dla ścian: IV, VIII i IX w partii W1

| Sciana | Ilość wstrząsów w klasach | | | |
|------------------|---------------------------|------------|------------|------------|
| | 10^3-10^4 [J] | 10^5 [J] | 10^6 [J] | 10^7 [J] |
| IV pokł. 705 | 169 | 22 | 2 | - |
| VIII pokł. 703/1 | 648 | 15 | 5 | 2 |
| IX pokł. 703/1 | 106 | 2 | 1 | - |
| Razem | 923 | 39 | 8 | 2 |



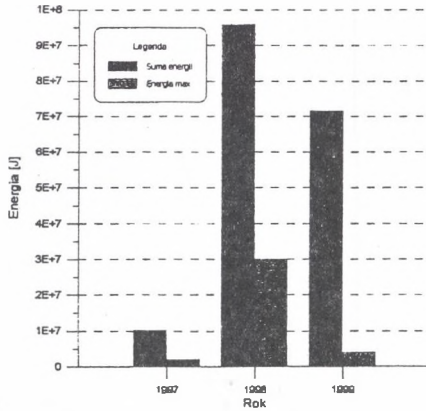
Rys 1. Stosunek sumy energii do ilości wstrząsów w latach 1997-1999

Fig.1. Relation of energy sum to number of tremors in 1997-1999



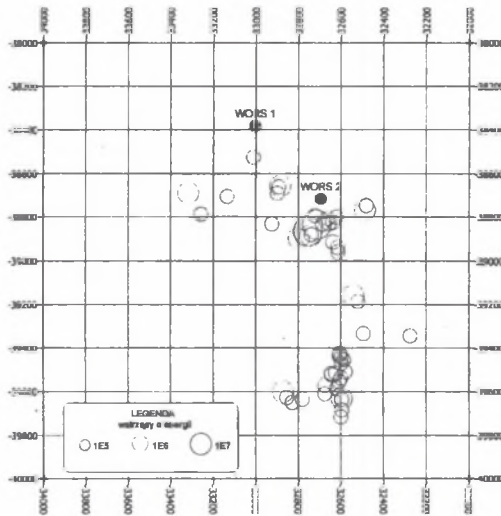
Rys. 2. Liczba zarejestrowanych wstrząsów w latach 1997-1999

Fig. 2. Number of recorded tremors in 1997-1999

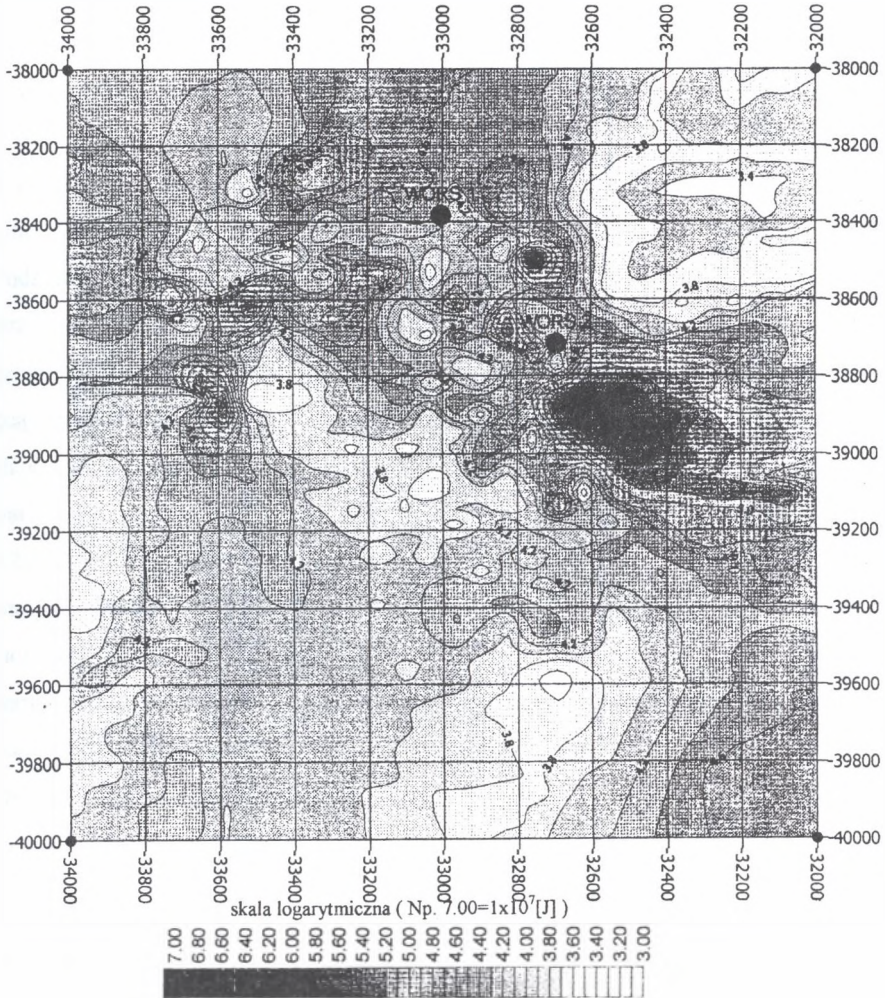


Rys. 3. Suma energii i maksymalna energia wstrząsów zarejestrowanych w latach 1997-1999
 Fig. 3. Energy sum and maximal energy of tremors recorded in 1997-1999

Dla zobrazowania rozkładu lokalizacyjnego i czasowego zagrożenia sejsmicznego wykonano analizę wartości wybranych parametrów sejsmologicznych. Analizą objęto: rozkład epicentrów wstrząsów o energii większej bądź równej 10^5 J oraz rozkład wskaźnika gęstości energii sejsmicznej. Łącznie z rejonu W1 w okresie dotychczasowej eksploatacji ścian: IV-W1 w pokładzie 705/2-3, VIII-W1 i IX-W1 w pokładzie 703/1 zarejestrowano 52 wstrząsy wysokoenergetyczne, tj. o energii $\geq 10^5$ J, z czego dwa największe zjawiska o energii $\geq 10^7$ J wystąpiły w czasie prowadzenia ściany VIII-W1.



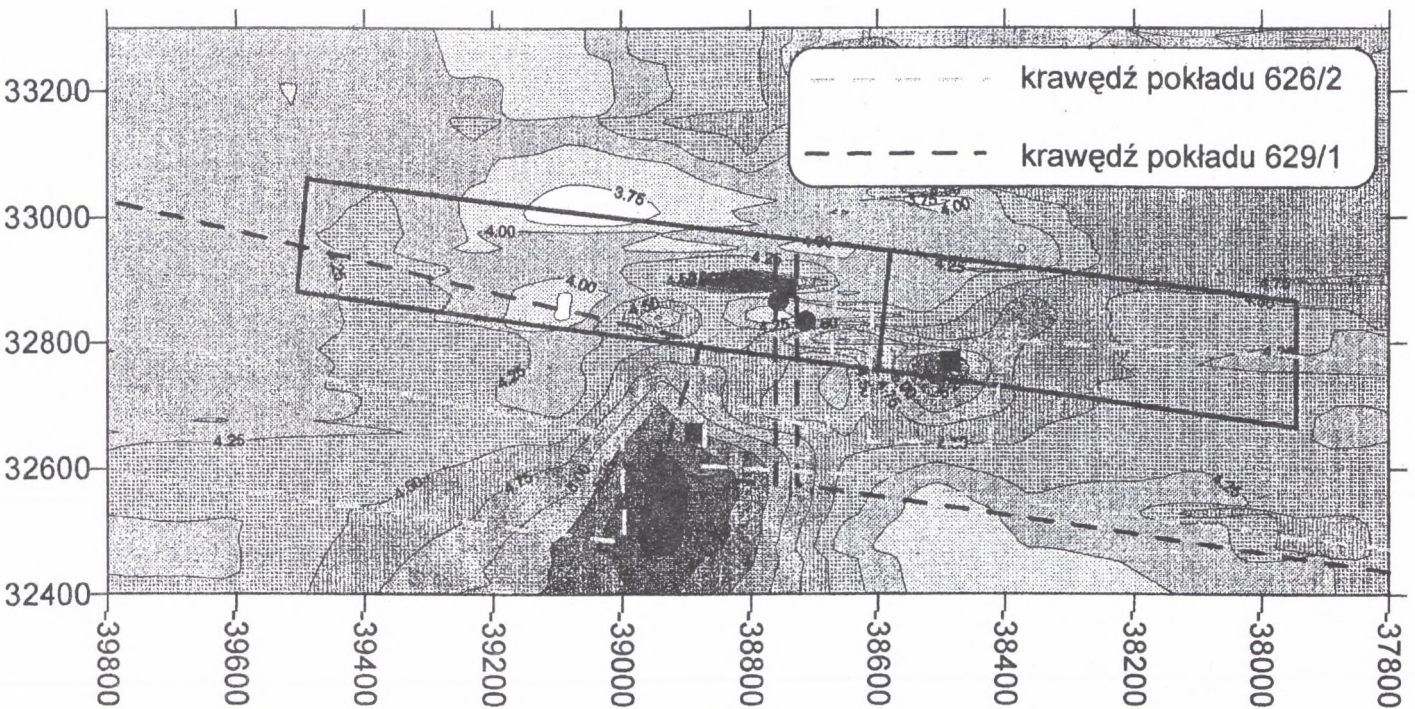
Rys. 4. Rozkład epicentrów wstrząsów o energii większej bądź równej 10^5 J
 Fig. 4. Distribution of tremors epicentres with the energy exceeding or equal to 10^5 J



Rys. 5. Rozkład wskaźnika gęstości energii sejsmicznej
 Fig. 5. Distribution of seismic energy density factor

Przedstawiony rozkład wskaźnika energii sejsmicznej wskazał, że maksymalne wartości gęstości energii sejsmicznej występowały w polu wybierania ściany VIII-W1 w obszarze występowania, równoległych do frontu wybierania tej ściany, krawędzi pokładów 626/2 i 629/1.

Szczegółowy rozkład wskaźnika energii sejsmicznej dla ściany VIII-W1 przedstawiono na rys. nr 6.



Rys. 6. Rozkład wskaźnika gęstości energii sejsmicznej dla ściany VIII-W1
Fig. 6. Distribution of seismic energy density factor for longwall VIII - W1

5. Charakterystyka pomiarów przyspieszeń drgań gruntu

Pomiary przyspieszeń drgań gruntu na obszarze górnictwem KWK "Rydułtowy" realizowane są od 1997 roku. Początkowo wykorzystywano jedno stanowisko aparatury typu "WORS-3", zabudowane w strefie epicentralnej w posesji przy ulicy Strzelców Bytomskich o współrzędnych ($x=38382$, $y=33004$), a od 1998 roku przez zabudowano drugie, w posesji przy ulicy Barbary - (współrzędne $x=38715$, $y=32695$).

Podstawą interpretacji były zapisy sygnałów przyspieszeń na ww. stanowiskach powierzchniowych oraz dane sejsmologiczne Kopalnianej Stacji Geofizyki Górniczej, tj. rejestracja czasów wejścia wstrząsów górotworu, ich lokalizacja i energia. Następnie za pomocą oprogramowania komputerowego wykonywano analizę czasowo korelacyjną oraz określano niektóre podstawowe parametry przyspieszeń drgań gruntu:

- wartość maksymalnej amplitudy przyspieszeń poszczególnych składowych $A1_{max}$ (EW), $A2_{max}$ (NS) i $A3_{max}$ (Z) [mm/s^2],
- wartość maksymalnej amplitudy skutecznej przyspieszeń składowych poziomych i pionowej,
- wartość maksymalnej wypadkowej amplitudy skutecznej przyspieszeń składowych poziomych $A1,2_{max}$ [mm/s^2],
- częstotliwości środkowej pasma - f_0 [Hz].

Wartości skuteczne przyspieszenia określano zgodnie z zasadami teorii sygnałów jako:

$$A_{sk} = \frac{A_{max}}{\sqrt{2}}$$

Wyznaczone parametry stanowiły podstawę dla oceny dynamicznego oddziaływania wstrząsów górotworu indukowanych eksploatacją górnictwem na obiekty infrastruktury powierzchni terenu.

Zmierzone maksymalne wartości amplitud składowych przyspieszenia $A1_{max}$ (EW), $A2_{max}$ (NS) i $A3_{max}$ (Z) [mm/s^2] oraz odpowiadające im energie wstrząsów w okresie wybierania ściany VIII-W1 w pokładzie 703/1, tj. w okresie obserwowanej największej aktywności sejsmicznej górotworu przedstawiono w tabeli nr 3.

Tabela 3

Zmierzone maksymalne wartości amplitud składowych przyspieszenia oraz odpowiadające im energie wstrząsów

| Data | Wyrobisko | Energ. [J] | Składowe amplitudy przyspieszenia [mm/s ²] | | | |
|----------|-----------|---------------|---|--------|--------|--------|
| | | | Nr | X | Y | Z |
| 17.06.98 | VIII-W1 | 7e5 | w1 | 27.39 | 44.24 | 17.87 |
| 17.07.98 | VIII-W1 | 2e7 | w1 | 155.26 | 98.62 | 58.10 |
| | | | w2 | | | |
| 30.07.98 | VIII-W1 | 2e5 | w1 | 107.90 | 118.64 | 32.71 |
| | | | w2 | 26.85 | 61.52 | 30.27 |
| 1.08.98 | VIII-W1 | 4e6 | w1 | 254.37 | 195.29 | 173.32 |
| | | | w2 | 73.23 | 81.05 | 145.98 |
| 2.08.98 | VIII-W1 | 6e5 | w1 | 106.43 | 172.35 | 95.69 |
| | | | w2 | | | |
| 2.08.98 | VIII-W1 | 5e5 | w1 | 81.53 | 102.53 | 30.27 |
| | | | w2 | | | |
| 9.08.98 | VIII-W1 | 3e7 | w1 | 91.79 | 127.92 | 59.56 |
| | | | w2 | | | |
| 11.08.98 | VIII-W1 | 2e6 | w1 | | | |
| | | | w2 | 90.32 | 78.61 | 94.72 |
| 16.08.98 | VIII-W1 | 5e5 | w1 | | | |
| | | | w2 | 103.99 | 118.15 | 88.86 |
| 21.08.98 | VIII-W1 | 8e5 | w1 | 100.09 | 87.39 | 84.46 |
| | | | w2 | 96.67 | 73.72 | 83.00 |
| 1.09.98 | VIII-W1 | 9e5 | w1 | 185.04 | 131.33 | 66.89 |
| | | | w2 | 96.67 | 73.72 | 83.00 |
| 10.09.98 | VIII-W1 | 7e5 | w1 | 120.11 | 84.46 | 56.15 |
| | | | w2 | 70.31 | 56.63 | 65.91 |
| 15.09.98 | VIII-W1 | 6e6 | w1 | 187.48 | 201.64 | 79.58 |
| | | | w2 | 91.30 | 84.95 | 78.12 |
| 16.09.98 | VIII-W1 | 5e5 | w1 | 94.72 | 87.39 | 43.45 |
| | | | | 50.78 | 36.13 | 38.57 |
| 17.09.98 | VIII-W1 | 3e5 | w1 | 79.58 | 61.03 | 34.18 |
| | | | w2 | 42.48 | 32.71 | 36.62 |
| 22.10.98 | VIII-W1 | 3e5 | w1 | 84.46 | 82.51 | 34.18 |
| | | | w2 | | | |
| 18.11.98 | VIII-W1 | 2e6 | w1 | 131.82 | 172.83 | 80.56 |
| | | | w2 | 102.04 | 36.62 | 79.09 |
| 24.11.98 | VIII-W1 | 4e5 | w1 | 233.38 | 132.80 | 64.93 |
| | | | w2 | 49.31 | 118.15 | 50.78 |
| 17.04.99 | IX-W1 | 4e6 | w1 | 49.80 | 65.42 | 57.12 |
| | | | w2 | 98.83 | 51.75 | 56.63 |

6. Podsumowanie

Prowadzenie eksploatacji w istniejących warunkach górnictwo-geologicznych (wielopokładowość złoża, duże miąższości warstw łupków piaszczystych i piaskowców - kompleksy o łącznej grubości 40-110 m pomiędzy pokładem 629/1 i 620/1-2, resztki i krawędzie pokładów oraz głębokość prowadzonej eksploatacji - przekraczająca 650 m) powoduje, szczególnie w ostatnich latach, występowanie wstrząsów górotworu o dużych energiach, przy ogniskach lokalizowanych w większej odległości pionowej nad eksploatowanymi pokładami. Wynika to z istnienia dużych naprężeń ściskających w wyższych warstwach kompleksów piaskowcowych, w szczególności w przypadku występowania resztek i krawędzi eksploatacji dokonanej. W warunkach kopalni "Rydułtowy" wzmożone przejawy ciśnień wyraźnie obserwowane są przy prowadzeniu eksploatacji pod krawędziami w pokładach 624, 629/1-2 i 630/1, których przebieg zbliżony jest do równoległego w stosunku do frontu aktualnie prowadzonej ściany.

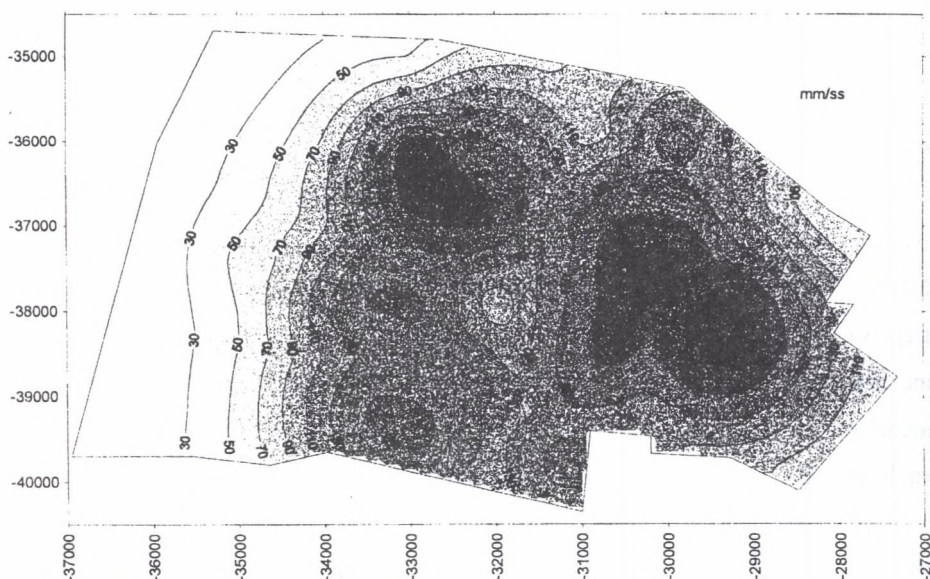
Rejonem, który w ostatnim okresie czasu charakteryzował się wzmożoną aktywnością sejsmiczną, był rejon W1. Poziom energetyczny rejestrowanych i lokalizowanych tam wstrząsów wahał się w granicach $10^3 - 10^7$ J.

Wstrząsy te w mniejszym stopniu oddziaływały na wyrobiska górnictwo niż na powierzchnię terenu. Maksymalne zarejestrowane przyspieszenia cząstek gruntu dotyczyły wstrząsu z dnia 9.09.1997 roku o energii $5e^6$ J:

- wartości maksymalnej amplitudy przyspieszeń poszczególnych składowych wynosiły:
 $A1_{\max}(EW) = 145.98 \text{ mm/s}^2$, $A2_{\max}(NS) = 355.92 \text{ mm/s}^2$ i $A3_{\max}(Z) = 115.71 \text{ mm/s}^2$,
- wartość maksymalnej amplitudy skutecznej przyspieszeń składowych poziomych $A2_{sk}(NS) = 251.76 \text{ mm/s}^2$ i pionowej $A3_{sk}(Z) = 81.43 \text{ mm/s}^2$,
- wartość maksymalnej wypadkowej amplitudy skutecznej przyspieszeń składowych poziomych $A1,2_{\max} = 272.09 \text{ mm/s}^2$,
- częstotliwości środkowej pasma - $f_0 = 8.4 \text{ Hz}$.

Granica uszkodzeń elementów konstrukcyjnych budynków przyjęta na poziomie 180 mm/s^2 została dotychczas przekroczona w przypadku 5 wstrząsów. Liczba ta w porównaniu z 25 wysokoenergetycznymi wstrząsami zaistniałymi w okresie wybierania ściany VIII-W1 oraz do I kwartału 1999r ściany IX-W1 była stosunkowo niewielka (20%), a rejestrowane

wielkości przyspieszeń dość dobrze korelowały z wykonaną w 1997 roku prognozą (Drzęźła i inni –1997).



Rys. 7. Mapa prognozowanych wypadkowych przyspieszeń drgań od wstrząsów górotworu dla projektowanej eksploatacji w KWK "Rydułtowy"

Fig. 7. Map of forecasted resultant force of vibrations accelerations from rock mass tremors in the planned mining extraction in Rydułtowy coal mine

LITERATURA

1. Cienciara B., Marczak H., Bugno T., 1994: Pomiary przyspieszeń cząstek gruntu wywołanych wstrząsami górnictwymi. Mat. Konf. AGH, Ekologia w górnictwie a geofizyka, 51-60.
2. Dubiński J., Gerlach Z., 1983: Ocena oddziaływania wstrząsów górotworu na środowisko naturalne. Przegląd Górnictwa nr 3, 135-142.
3. Drzęźła B., Dubiński J., Kwiatek J., 1997: Ocena oddziaływania wstrząsów górnictwowych na obiekty powierzchniowe na terenie górnictw KWK Rydułtowy, Praca niepublikowana, 1997.
4. Gerlach Z., Kozół E., Badaj A., Polnik J., 1999: Wyniki obserwacji przyspieszeń drgań gruntu w czasie eksploatacji pokładów 703/1-2, 703/1-2-705/1 oraz 707/2 przez kopalnię "Marcel" w rejonie dzielnicy Niedobczyce i centrum Radlina, Mat. Sympozjum Warsztaty '99 "Zagrożenia naturalne w górnictwie". Jaworze 26-28 maja 1999.

5. Mutke G., 1991: Metoda prognozowania parametrów drgań podłoża generowanych wstrząsami górnymi w obszarze GZW. Praca doktorska, Katowice.

Artykuł został opracowany na podstawie referatu wygłoszonego na IV Konferencji NOT – SITG Oddział w Rybniku na temat: "Uwarunkowania w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego miast i gmin w Rybnickim Okręgu Przemysłowym", Rybnik, 27 października 1999r.

Recenzent: dr inż. Piotr Trzcionka

Abstract

Mining extraction works conducted in the discussed mining and geological conditions (multilevel coal deposit, big thickness of arenaceous shales and sandstone comprising complexes of the total thickness of 40-110 m between seams 629/1 and 629/1-2, seam residues, seam crests and the depth of extraction works below 650 m) have evoked, particularly in recent years, rock mass tremors of great energy, the centres of which are located at more vertical distance from the extracted seams. This results from increased compacting strains in higher levels of sandstone complexes, especially for exploited crests and residues. In the geological and mining conditions of "Rydułtowy" coal mine, more intense instances of pressures are clearly noticeable in the case of extraction works conducted underneath the crests in seams 624, 629/1-2 and 630/1, the course of which is similar to parallel in relation to the face of the wall being extracted.

It is zone W1 that has recently been characterised by increased seismic activity.

The energy level of the tremors recorded and localised in this zone has reached the range of 10^3 – 10^7 J.

The recorded tremors had more impact on the ground surface than on the headings themselves. The admissible lower limit of slight damages to buildings assumed at the level of 180 mm/s^2 has already been exceeded in the case of 5 recorded tremors.