

Krystyna Stec

AKTYWNOŚĆ SEJSMICZNA GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

Streszczenie

Obszar Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, a w szczególności pewne jego strefy, charakteryzują się występowaniem aktywności sejsmicznej. Sejsmiczność tę z racji bezpośrednich związków z działalnością górnictwem nazywa się indukowaną sejsmicznością górnictwem. Oddziałuje ona na podziemne wyrobiska kopalń w formie zagrożenia tąpnięciami i na obiekty powierzchniowe w postaci drgań gruntu. Od lat pięćdziesiątych prowadzona jest obserwacja tego zjawiska przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną (GRSS), która była systematycznie modernizowana. Sieć pracuje w systemie monitoringu ciągłego, a detekcja wstrząsów odbywa się automatycznie (aparatura czuwająca). Sygnały sejsmiczne są odbierane przez 20 kanałów pomiarowych rozmieszczonych w całym monitorowanym obszarze. W latach 1950–2001 udokumentowano ponad 57600 wstrząsów górotworu o energii $E \geq 10^3 \text{ J}$ ($M_L \geq 1,6$), a aktualnie rejestrowanych jest ponad 1000 zjawisk rocznie. Wieloletnie obserwacje i analizy pozwoliły na wyróżnienie dwóch typów sejsmiczności, tzw. górnictwem i górnictwo-tektonicznej. Pierwszy typ zjawisk bezpośrednio związany jest z prowadzoną działalnością górnictwem i występuje w sąsiedztwie czynnych wyrobisk górnictwem. Są to słabsze zjawiska energetyczne i charakteryzują się eksplozywnym typem mechanizmu ognisk, co odzwierciedla procesy związane z destrukcją pokładu lub bezpośredniego jego otoczenia. Drugi typ są to wstrząsy o charakterze regionalnym, odczuwalne przez ludność na powierzchni, które związane są z reżymami ze strefami tektonicznej niestabilności górotworu (np. uskokami). Wpływ na ich powstawanie ma wieloletnia działalność górnictwem prowadzona i rozwijana na dużym obszarze przez kilka kopalń. Najczęstszym typem mechanizmu ognisk tych wstrząsów jest mechanizm poślizgowy normalny. Azymuty płaszczyzn rozrywu i ich upady dla tych zjawisk korelują z rozciągłością i upadem uskoków, w pobliżu których zlokalizowane są ogniska wstrząsów. Świadczy to o tym, że przyczyną tych zjawisk jest współdziałanie naprężeń tektonicznych istniejących w analizowanym obszarze z naprężeniami wywołanymi pracami górnictwem.

Bieżące rejestracje GRSS są podstawą tworzenia komputerowego banku danych obejmującego bazę sejsmologicznych parametrów wstrząsów górotworu, który stanowi podstawę do opracowania biuletynu najsilniejszych wstrząsów oraz statystycznej analizy sejsmiczności. W artykule przedstawiono rozkład epicentrow wstrząsów na tle obszarów górnictwem kopalń, zestawienie liczby wstrząsów i tąpnięć w odniesieniu do lokalnych regionów, rozkład ilościowy wstrząsów w poszczególnych klasach energetycznych, rozkład energii sumarycznej wstrząsów w poszczególnych klasach energetycznych, rozkład aktywności sejsmicznej górotworu i współczynnika b relacji Gutenberga-Richtera, rozkład przyrostu energii sumarycznej w tygodniowych przedziałach czasu (krzywa Benioffa). Przeprowadzona statystyczna analiza sejsmiczności GZW w 2001 roku wykazała wysoki poziom aktywności sejsmicznej w GZW. Najbardziej wstrząsogennymi rejonami w 2001 roku były rejon rudzko-zabrzański i katowicki.

Seismic activity of the upper Silesian Coal Basin

Summary

The area of the Upper Silesian Coal Basin, and particularly some of its zones, are characterized by the occurrence of seismic activity. This seismicity by virtue of direct connections with the mining activity is called induced mining seismicity. It affects underground mine workings in the form of the rockburst hazard, and objects on the surface in the form of ground vibrations. Since the 1950s observation of this phenomenon is conducted by means of the Upper Silesian Regional Seismological Network (GRSS),

which was systematically modernized. The network works in the system of continuous monitoring, and tremor detection takes place automatically (watching apparatus). Seismic signals are received through 20 measuring channels placed in the entire area subject to monitoring. Within the period 1950–2001 more than 57600 rock mass tremors were documented, with energy $E \geq 10^5$ J ($M_L \geq 1.6$), and currently more than 1000 phenomena are registered annually. Long-years' observations and analyses enabled to distinguish two seismicity types, the so-called mining and mining-tectonic seismicity. The first type of phenomena is directly connected with the conducted mining activity and occurs in the vicinity of mine workings. These are weaker energy phenomena, and they are characterized by an explosive mechanism of foci, what reflects processes connected with the destruction of the seam or its direct vicinity. The second type constitute tremors of regional character, noticeable by the population on the surface, which as a rule are connected with zones of tectonic rock mass instability (for example faults). Impact on their rise has long-years' mining activity conducted and developed in a large area by several mines. The most frequent type of the foci mechanism of these tremors is the normal slip mechanism. The azimuths of break planes and their dips for these phenomena correlate with the strike and dip of faults, in the vicinity of which tremor foci are localized. This shows that the reason of these phenomena is the cooperation of tectonic stresses existing in the analyzed area with stresses caused by mining operations.

Current GRSS registrations constitute the basis for the creation of a computer data base, comprising the basis of seismological parameters of rock mass tremors, which is the basis to elaborate the bulletin of the strongest tremors and statistical seismicity analysis. In the article one has presented the distribution of tremor epicentres on the background of mining areas of mines, specification of the number of tremors and rockbursts with reference to local regions, quantitative distribution of tremors in individual energy classes, distribution of the summary energy of tremors in individual energy classes, distribution of the rock mass seismic activity and coefficient b of Gutenberg-Richter relation, distribution of the increase of summary energy at week's time intervals (Benioff's curve). The carried out statistical analysis of seismicity of the Upper Silesian Coal Basin in 2001 indicated a high level of seismic activity in the USCB. The regions mostly susceptible to tremors in 2001 were the regions of Ruda-Zabrze and Katowice.

1. WPROWADZENIE

Jednym z naturalnych zagrożeń występujących w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym jest zagrożenie sejsmiczne. Od lat pięćdziesiątych minionego stulecia prowadzona jest systematyczna obserwacja tego zjawiska przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną (GRSS). Górnośląska Regionalna Sieć Sejsmologiczna jako jedyny poligon badawczy dostarcza kompleksowej informacji o sejsmiczności obszaru Górnego Śląska. Na podstawie uzyskiwanych sejsmogramów, w sposób ciągły opracowywany jest bank danych, zawierający podstawowe parametry sejsmologiczne wstrząsów górotworu (energia sejsmiczna $E \geq 10^5$ J; $M_L \geq 1,6$) takie jak: data i czas wystąpienia zjawiska, energia wstrząsu, magnituda, nazwa kopalni, współrzędne epicentrum. W latach 1950–2001 zarejestrowano 57611 wstrząsów górotworu, które występowały w rejonach czynnej eksploatacji górniczej lub w strefach tektonicznych poza obszarami eksploatacji. Należy podkreślić, że sejsmiczność w GZW jest wysoka i stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa pracy załóg górniczych pracujących pod ziemią (tąpnięcia), a drgania wywoływane na powierzchni są źródłem dużej uciążliwości dla lokalnej społeczności i często są przyczyną uszkodzeń obiektów budowlanych i infrastruktury technicznej. Wyniki rejestracji GRSS stanowią więc źródło informacji dla przemysłu górniczego z zakresu bezpieczeństwa pracy, dla administracji lokalnej o wielkości zagrożenia sejsmicznego i jego tendencjach, a dla projektantów źródło

niezbędnych danych do bezpiecznego projektowania obiektów budowlanych w rejonach występowania drgań sejsmicznych.

2. ROZWÓJ GÓRNOŚLĄSKIEJ REGIONALNEJ SIECI SEJSMOLOGICZNEJ

Pierwsze udokumentowane rejestracje wstrząsów górotworu pochodzą z początków XX wieku [7, 8, 13]. W 1929 została założona stacja sejsmiczna w Raciborzu przez profesora Karola Mainkę. Zadaniem tej stacji oraz stacji filialnych (Bytom, Pyskowice, Zabrze), działających bez przerwy w latach 1929–1944, było między innymi badanie sejsmiczności rejonów górniczych GZW i poszukiwanie jej związków z tąpnięciami występującymi w kopalniach. Wyposażone one były w sejsmografy mechaniczne typu Mainka z rejestracją graficzną na zaczernionym papierze. Po wojnie w 1947 roku ponownie uruchomiono stację w Raciborzu i zaczęto wydawać „Tymczasowy wykaz wstrząsów sejsmicznych – Biuletyn Śląskiej Stacji Geofizycznej w Raciborzu”. W 1948 roku dzięki staraniom Głównego Instytutu Górnictwa nastąpiła odbudowa stacji w kopalni „Rozbark” w Bytomiu, w Zabrze (1950) oraz Dąbrowie Górniczej (1953). Rejestracja zjawisk sejsmicznych sejsmografami typu Mainka nie pozwalała na dokładną lokalizację ich ognisk. Najważniejszym problemem występującym w tym okresie było jednoznaczne stwierdzenie zależności między występowaniem wstrząsów górotworu i tąpnięć [14, 15]. Rozwiązanie tego zagadnienia uzyskano dopiero w latach sześćdziesiątych, po zwiększeniu zakresu obserwacji makrosejsmologicznych oraz zastosowaniu aparatury o wyższym standardzie technicznym (sejsmografy elektrodynamiczne SK-58 i SU-59 z rejestracją optyczno-galwanometryczną). Uzyskane dane potwierdziły hipotezę o związkach wstrząsów i tąpnięć z prowadzoną eksploatacją górniczą. W konsekwencji tych obserwacji dalszy rozwój sieci sejsmologicznej ukierunkowano na uzyskiwanie danych umożliwiających określenie lokalnego stanu zagrożenia sejsmicznego. W tym celu zmieniono dotychczasowy system obserwacji z regionalnego na regionalno-kopalniany, dołączając w 1965 roku trzy stacje w obrębie kopalni „Miechowice”. Wcześniej sieć sejsmologiczna o charakterze kopalnianym została zainstalowana w tej kopalni przez Zakład Geofizyki PAN. System regionalno-kopalniany pozwolił na znacznie dokładniejsze niż w systemie regionalnym analizowanie zjawisk sejsmicznych w odniesieniu do górniczo-geologicznych warunków eksploatacji i stał się podstawą rozwoju kopalnianych sieci sejsmologicznych. Od 1969 roku systematycznie zwiększała się ich liczba aż do 43. Równocześnie z rozwojem sieci kopalnianych modernizowana była sieć regionalna, dla której przełomem był rok 1973, kiedy to założono Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną (GRSS) wyposażoną w angielską aparaturę sejsmologiczną Racal Thermionic [16]. Wszystkie stacje Regionalnej Sieci wyposażone są w elektromagnetyczne sejsmografy typu Willmor MK-2 i wzmacniaczo-modulatory zainstalowane w poszczególnych kopalniach. Sygnały odbierane przez sejsmometry przekazywane są drogą radiową do centralnej jednostki rejestrującej znajdującej się w Głównym Instytucie Górnictwa, gdzie prowadzona jest ciągła rejestracja wstrząsów górotworu. Do 1998 roku był to system analogowy z zapisem

sejsmogramów na taśmie magnetycznej, a następnie system cyfrowy (aparatura polska AS-2 wykonana w GIG) polegający na progowym wyzwalaniu zjawisk sejsmicznych. Cyfrowa rejestracja dla całej sieci została wprowadzona w 1993 roku. Wcześniej, bo w 1986 roku, zainstalowano pierwsze trójskładowe stanowisko bazowe z cyfrowym zapisem i transmisją radiową firmy Earth Date. Następne dwa stanowiska tego typu działają od 1998 roku. W 1999 roku zastąpiono system rejestracji cyfrowej AS systemem SEJSGRAM, który również wykonano w GIG.

W ciągu kolejnych lat dokonywano zmian w konfiguracji GRSS, dostosowując jej rozmieszczenie do nowo występujących miejsc aktywności sejsmicznej [1].

Górnośląska Regionalna Sieć Sejsmologiczna umożliwiła rejestrację zjawisk sejsmicznych o energii $E \geq 10^5$ J (magnitudzie lokalnej $M_L \geq 1,6$) z obszaru około 2000 km². Pomimo bardzo dużego rozwoju kopalnianych sieci sejsmologicznych istnieje wiele zagadnień, których rozwiązanie wymaga obserwacji wstrząsów z wykorzystaniem scentralizowanego, regionalnego systemu rejestracji. Należą do nich między innymi:

- ogólna kontrola sejsmiczności w GZW (rola nadrzędna w stosunku do sieci kopalnianych,
- obserwacja sejsmiczności kopalń niemających własnych sieci sejsmicznych,
- analiza danych w celu statystycznej prognozy sejsmiczności,
- uzyskanie danych do badań podstawowych (określenie wgłębnej budowy GZW – model sejsmogeologiczny, badanie mechanizmu ognisk wstrząsów, określenie fizycznych parametrów ognisk wstrząsów, charakterystyka i przebieg radiacji sejsmicznej – wyznaczenie funkcji tłumienia),
- doskonalenie sejsmologicznych kryteriów oceny stanu zagrożenia tąpnięciami,
- analiza ryzyka sejsmicznego dla infrastruktury powierzchniowej.

3. KSZTAŁTOWANIE SIĘ AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ W LATACH 1950–2000

Aktywność sejsmiczna występuje głównie w północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i związana jest z eksploatacją pokładów siodłowych, w mniejszym stopniu rudzkich, porębskich i łaziskich. Epicentra wstrząsów górotworu występują w kilku rejonach (Niecka Bytomska, Południowe Skrzydło Siodła Głównego, Niecka Kazimierzowska, Niecka Ziemowicka i Niecka Jejkowicka) charakteryzujących się stosunkowo głębokim zaleganiem pokładów węgla będących przedmiotem eksploatacji i występowaniem w ich otoczeniu mocnych i grubych kompleksów piaskowcowych oraz silnie rozwiniętą tektoniką. Czas trwania obserwacji sejsmologicznej prowadzonej przez Główny Instytut Górnictwa można podzielić na dwa okresy: pierwszy to lata 1950–1972 i drugi od 1973 roku do chwili obecnej. W pierwszym okresie udokumentowano około 350 zjawisk sejsmicznych o energii $E \geq 10^6$ J (magnitudzie lokalnej $M_L \geq 2,2$) [11]. Pomimo małej liczby zarejestrowanych wstrząsów, wynikającej ze specyfiki prowadzonej obserwacji sejsmologicznej (kilka stanowisk sejsmometrycznych) aktywność sejsmiczna była bardzo wysoka,

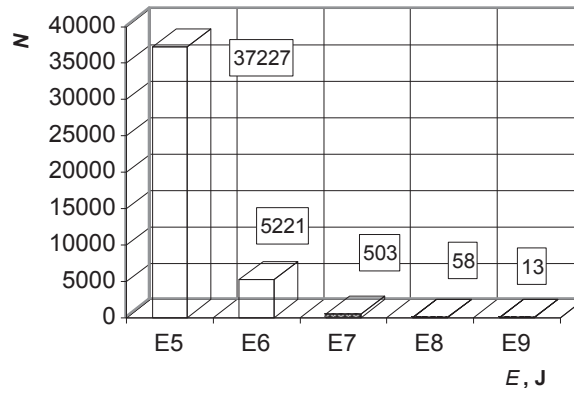
o czym świadczy liczba występujących wówczas katastrof w kopalniach (zawały i tąpnięcia), których na początku lat pięćdziesiątych XX wieku było około 400.

Następny okres prowadzenia monitoringu sejsmologicznego rozpoczął się w 1973 roku, kiedy założono Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną GIG. W latach 1973–2000 aktywność sejsmiczna GZW charakteryzowała się wysokim poziomem, zróżnicowaniem w poszczególnych latach oraz różną intensywnością w poszczególnych rejonach. W tym okresie zarejestrowano ponad 57000 wstrząsów, które są podstawą komputerowego banku wstrząsów górotworu obejmującego bazę sejsmologicznych parametrów wstrząsów, takich jak: data i czas wystąpienia wstrząsu, energia sejsmiczna, magnituda wstrząsu, miejsce wystąpienia wstrząsu – nazwa kopalni, lokalizacja ogniska – współrzędne epicentrum wstrząsu (układ Suchej Góry). Sumaryczne zestawienie energetyczno-ilościowe wstrząsów górotworu i tąpnięć przedstawiono w tablicy 1 i na rysunku 1, a liczbę tąpnięć na tle sumarycznej aktywności sejsmicznej w poszczególnych latach – na rysunku 2.

Tablica 1. Zestawienie liczby wstrząsów górotworu i tąpnięć w GZW w latach 1950–2000

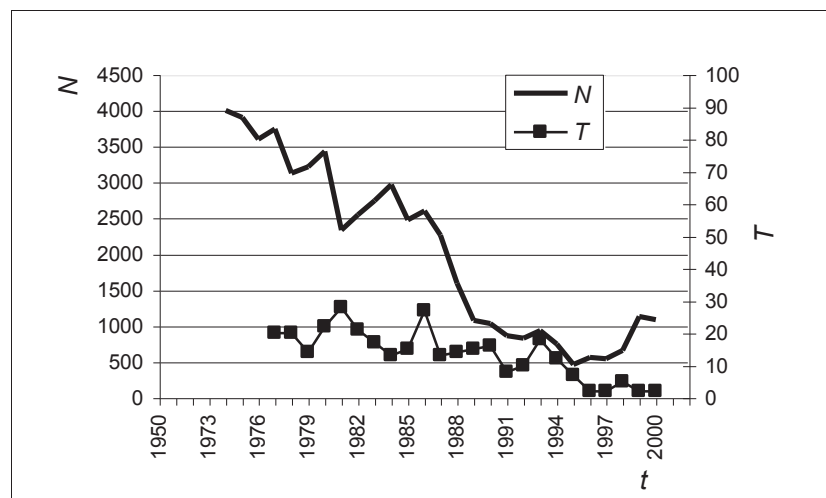
Okres	Liczba wstrząsów górotworu N						Tąpnięcia T
	10^5 J	10^6 J	10^7 J	10^8 J	10^9 J	razem	
1950–1972	~	61	220	52	22	355	~450*
1973–1976	7088	2328	2592 ($E > 5 \cdot 10^6$ J)			13452	82
1977	3089	572	76	2	0	3739	20
1978	2371	668	80	10	0	3129	20
1979	2682	508	24	4	2	3220	14
1980	2855	531	40	5	1	3432	22
1981	2004	296	31	4	1	2336	28
1982	2262	251	28	4	0	2545	21
1983	2400	319	25	4	1	2749	17
1984	2657	293	16	2	2	2970	13
1985	2256	202	18	2	2	2480	15
1986	2390	192	20	3	1	2606	27
1987	2015	204	36	5	0	2260	13
1988	1471	113	15	0	0	1599	14
1989	973	91	10	2	0	1076	15
1990	960	71	5	2	0	1038	16
1991	822	37	3	1	0	864	8
1992	772	53	7	0	1	833	10
1993	838	83	6	3	2	932	18
1994	671	74	6	1	0	752	12
1995	385	70	8	2	0	465	7
1996	499	54	11	0	0	564	2
1997	464	78	5	0	0	547	2
1998	572	86	5	0	0	663	5
1999	941	183	10	1	0	1135	2
2000	877	192	18	1	0	1088	2

*liczba zawałów i tąpnięć



Rys. 1. Zestawienie energetyczno-ilościowe wstrząsów górotworu występujących w GZW w latach 1973–2000: E – przedział energetyczny, N – liczba wstrząsów

Fig. 1. Energy-quantitative specification of rock mass tremors in the USCBA within the period 1973–2000: E – energy interval, N – number of tremors



Rys. 2. Zestawienie liczby wstrząsów i tąpnięć w GZW w latach 1950–2000: t – czas, N – liczba wstrząsów, T – liczba tąpnięć

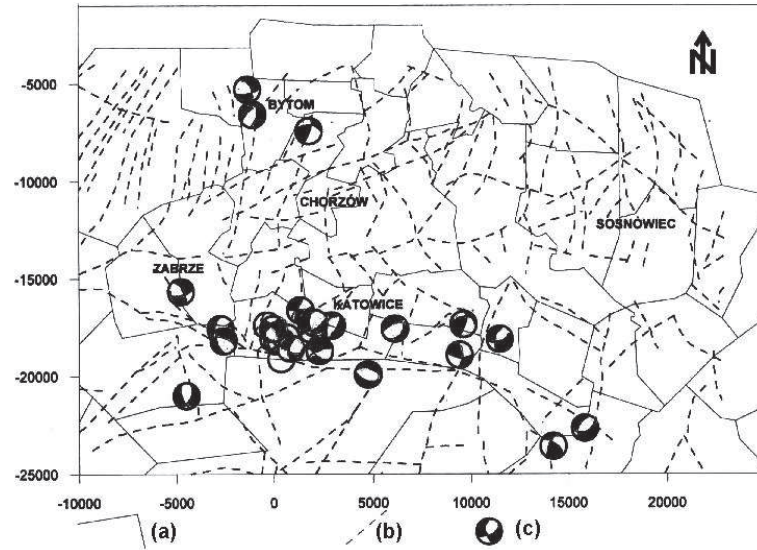
Fig. 2. Specification of the number of tremors and rockbursts in the USCBA within the period 1950–2000: t – time, N – number of tremors, T – number of rockbursts

Najwyższa aktywność sejsmiczna w GZW występowała w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych minionego stulecia – stwierdzono od 3000 do 2000 wysokoenergetycznych wstrząsów rocznie. Średnia liczba tąpnięć w tym okresie wynosiła ponad 20. Od 1989 roku zaznaczyła się wyraźna, trwająca do 1995 roku, tendencja zniżkowa w ilości występujących wstrząsów – do 460 zjawisk w 1995 roku. Od 1996 do 1999 roku widoczny jest wzrost liczby wstrząsów górotworu. W 2000

roku wystąpiło 1088 zjawisk o energii $E \geq 10^5$ J [10]. Zmniejszenie liczby wstrząsów i przede wszystkim tąpnieć do 2 przypadków w 2000 roku można tłumaczyć mniejszym wydobywaniem węgla, ograniczeniem eksploatacji w rejonach o wysokim zagrożeniu tąpnięciami oraz zakrojoną na szeroką skalę profilaktyką tąpniową, obejmującą dobór odpowiednich systemów i metod eksploatacji, a także bardziej skutecznym odprężaniem górotworu przez stosowanie metod aktywnych (strzelania wstrząsowe, nawadnianie pokładów, ukierunkowane hydroszczelinowanie).

Aktywność sejsmiczna GZW wykazuje kilka charakterystycznych cech, mianowicie badania przeprowadzone na początku lat osiemdziesiątych, dotyczące powtarzalności silnych zjawisk sejsmicznych w kopalniach wskazują, że empiryczne rozkłady ekstremalnych energii kopalnianych zjawisk sejsmicznych mają charakter złożony [3, 5]. Otrzymane wyniki wykazały bowiem, że wstrząsy górotworu generowane są dwoma różnymi przyczynami. Pierwsza odpowiedzialna jest za niskoenergetyczną komponentę rozkładu, druga generuje komponentę wysokoenergetyczną. Na podstawie przemieszania zmiennych losowych analizowanych rozkładów ekstremalnych stwierdzono tzw. bimodalny charakter wstrząsów. Jak podaje Kijko [6] otrzymana w wyniku analiz bimodalność rozkładów ma swoją przyczynę w różnych procesach fizycznych zachodzących w ognisku wstrząsu – mówi się o różnych „mechanizmach generujących wstrząsy”. Rozważania teoretyczne potwierdziła analiza czasoprzestrzenna kilkudziesięcioletniego zbioru danych archiwum GRSS. Wyodrębniono dwa rodzaje sejsmiczności, tzw. górniczą i górniczo-tektoniczną. Pierwszy typ zjawisk bezpośrednio związany jest z prowadzoną działalnością górniczą, występuje w sąsiedztwie czynnych wyrobisk górniczych. Są to zjawiska słabsze energetycznie. Drugi typ sejsmiczności indukuje się na skutek połączenia dwóch czynników: komponenty górniczej i tektonicznej. Są to wstrząsy wysokoenergetyczne, występujące w rejonach stref tektonicznych często odczuwalne przez ludność na powierzchni [9]. Odmienna geneza sprawia, że częstość występowania tych wstrząsów w zasadzie nie zmienia się – rejestruje się przeciętnie kilka takich zjawisk sejsmicznych w ciągu roku. Ogółem w latach 1973–2000 wstrząsów wysokoenergetycznych ($E \geq 10^8$, $M_L \geq 3,2$) wystąpiło 71. Potwierdzenie zależności występowania tego typu zjawisk od komponenty tektonicznej dają badania mechanizmu ognisk wstrząsów [4]. Najczęstszym typem mechanizmu ognisk jest mechanizm poślizgowy normalny z zaznaczającym się poziomym przesunięciem w ognisku wstrząsu. Azymuty płaszczyzn rozrywu i ich upady dla tych zjawisk korelują z rozciągłością i upadem uskoków, w pobliżu których zlokalizowane są ogniska wstrząsów. Mechanizm ognisk kilkunastu najsilniejszych wstrząsów na tle głównych struktur tektonicznych prezentuje rysunek 3. Szczególnie charakterystyczne w ostatnich latach jest występowanie wysokoenergetycznych wstrząsów w rejonie Uskoku Kłodnickiego (kopalnie „Wujek”, „Śląsk” i „Halemba”). Większość z tych zjawisk słabo odczuwalna jest na dole kopalń, natomiast bardzo mocno odczuwalne są one na powierzchni. Przypuszcza się, że przyczyną tych wstrząsów jest naruszenie równowagi naprężeniowej górotworu na skutek intensywnej eksploatacji prowadzonej w północnym skrzydle Uskoku Kłodnickiego i przy niewyekspluatowanym skrzydle południowym.

Drugim typem aktywności sejsmicznej, jak wspomniano, jest aktywność bezpośrednio związana z eksploatacją. Mechanizm ognisk wstrząsów zawierający duży udział składowej eksplozyjnej, w tym przypadku odzwierciedla procesy związane z destrukcją pokładu lub jego bezpośredniego otoczenia [12].



Rys. 3. Mechanizm ognisk wstrząsów na tle głównych struktur tektonicznych GZW: a – obszary górnicze kopalń, b – uskoki, c – mechanizm ognisk wstrząsów

Fig. 3. Mechanism of tremor foci against the background of main tectonic structures of the USC: a – mining areas of mines, b – faults, c – mechanism of tremor foci

3. STATYSTYCZNA ANALIZA AKTYWNOŚCI SEJSMICZNEJ W 2001 ROKU

Górnośląska Regionalna Sieć Sejsmologiczna rejestrująca wstrząsy górotworu o energii $E \geq 10^5$ J składa się z dwóch systemów rejestrujących. Są to:

1. System SEJSGRAM produkcji GIG z rejestracją cyfrową i radiową transmisją sygnałów systemu Racal Thermionic. System ten tworzy jedenaście jednoskładowych pionowych stanowisk sejsmometrycznych.
2. System Earth Data z wykorzystaniem radiowej transmisji sygnałów firmy Earth Data. Tworzą go dwa trójskładowe (składowe poziome NS i EW oraz pionowa Z) stanowiska sejsmometryczne będące stanowiskami bazowymi dla określania energii sejsmicznej wstrząsów górotworu.

W Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej odbiornikami drgań są elektromagnetyczne sejsmometry typu Willmor MK-2. Pasma przenoszenia kanału zawierają się w przedziale 0,8÷30 Hz. Rozmieszczenie stanowisk sejsmometrycznych

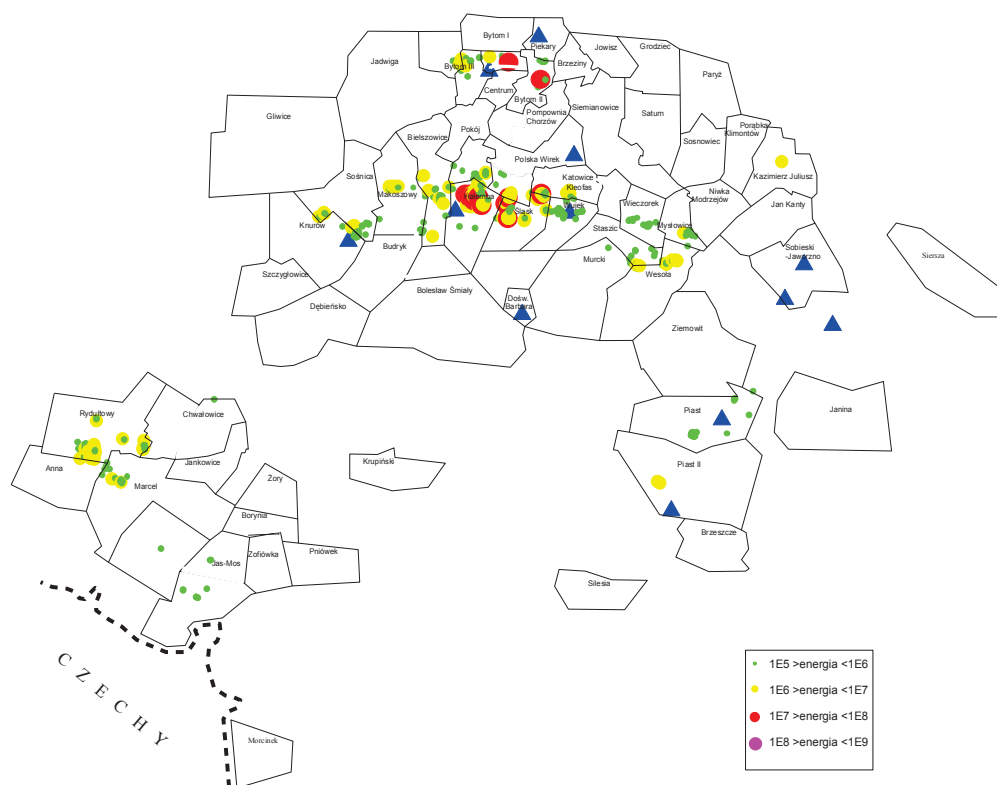
na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w lokalnym układzie współrzędnych (Sucha Góra) przedstawia rysunek 4.

W 2001 roku wystąpiło 1137 wstrząsów górotworu o energii $E \geq 10^5$ J (tabl. 2).

Tablica 2. Liczba wstrząsów górotworu w klasach energetycznych występujących w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym w 2001 roku

Energia wstrząsu, J	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	Razem
Liczba wstrząsów	927	192	18	–	–	1137

Epicentra występujących w analizowanym okresie wstrząsów górotworu grupowały się w kilku rejonach, co obrazuje ich lokalizacja (rys. 4).



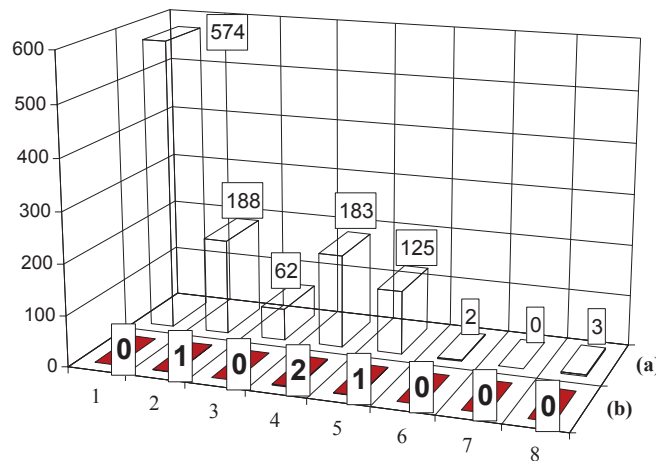
Rys. 4. Lokalizacja stanowisk sejsmometrycznych Górnośląskiej Regionalnej Sieci Sejsmologicznej oraz położenie epicentrow ognisk wstrząsów w GZW w 2001 roku: ▲ stanowisko sejsmometryczne

Fig. 4. Localization of seismometric stands of the Upper Silesian Regional Seismological Network and location of epicentres of tremor foci in the USCBA in 2001: ▲ – seismometric stand

Analizując położenie ognisk wstrząsów wydzielono osiem rejonów o zbliżonych warunkach geologicznych:

- Rejon bytomski – grupujący kopalnie ZG Bytom I, ZG Bytom II, ZG Bytom III, ZG Centrum,
- Rejon katowicki – to kopalnie „Katowice-Kleofas”, „Mysłowice”, „Wieczorek”, „Wesoła”, „Wujek”, „Staszic”,
- Rejon sosnowiecki – w obrębie którego eksploatację prowadzi tylko kopalnia „Kazimierz-Juliusz”,
- Rejon tyski – to kopalnie „Piast” Ruch I i II oraz „Ziemowit”,
- Rejon rudzko-zabrzański – obejmuje kopalnie „Bielszowice”, „Halemba”, „Makoszowy”, „Pokój”, „Polska-Wirek”, „Śląsk”, „Sośnica”,
- Rejon jaworznicki – ZGE Sobieski-Jaworzno III,
- Rejon chorzowski – to kopalnie ZG Brzeziny, ZG Piekary,
- Rejon Rybnickiego Okręgu Węglowego – z kopalniami „Anna”, „Jas-Mos”, „Marcel”, „Rydułtowy”, „Pniówek” i „Zofiówka”.

Na rysunku 5 przedstawiono liczbę wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J ($M_L > 1,6$) oraz tąpnięć w poszczególnych rejonach GZW. Największa liczba silnych wstrząsów górotworu wystąpiła w rejonie rudzko-zabrzańskim, gdzie zlokalizowano 574 zjawiska, w większości w kopalniach „Halemba” i „Śląsk”. Ponadto bardzo duża liczba silnych wstrząsów górotworu miała miejsce w rejonie katowickim – 183 zjawiska oraz w Rybnickim Okręgu Węglowym – 188 zjawisk. W rejonie bytomskim wystąpiło 125 wstrząsów. Niższą aktywnością sejsmiczną charakteryzował się rejon tyski – były tam 62 wstrząsy, a najniższa aktywność sejsmiczna występowała



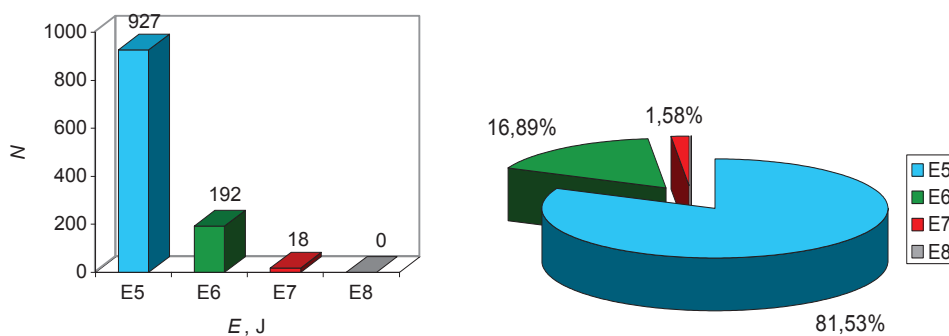
Rys. 5. Zestawienie liczby wstrząsów górotworu a) i tąpnięć b) w poszczególnych rejonach GZW w 2001 roku: a – wstrząsy, b – tąpnięcia; 1 – rudzko-zabrzańskim, 2 – ROW, 3 – tyskim, 4 – katowickim, 5 – bytomskim, 6 – sosnowieckim, 7 – jaworznickim, 8 – chorzowskim

Fig. 5. Specification of the number of rock mass tremors and rockbursts in individual regions of the USC in 2001: a – tremors, b – rockbursts; 1 – Ruda-Zabrze Region, 2 – Rybnik Coal Region, 3 – Tychy Region, 4 – Katowice Region, 5 – Bytom Region, 6 – Sosnowiec Region, 7 – Jaworzno Region, 8 – Chorzów Region

w rejonie chorzowskim – tylko 3 zjawiska. W rejonie sosnowieckim wystąpiły 2 wstrząsy, a w rejonie jaworznickim brak było zjawisk o $E \geq 10^5$ J. W analizowanym okresie wystąpiły 4 przypadki wstrząsów, których skutkiem były tąpnięcia.

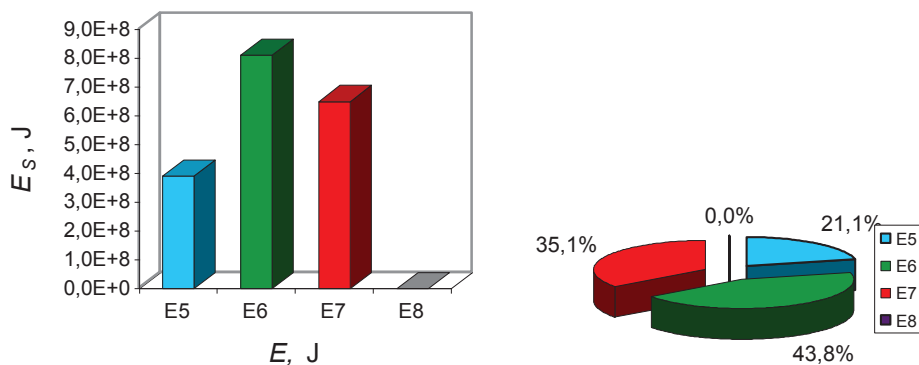
Przeprowadzona analiza wykazała wysoki poziom sejsmiczności w Górnśląskim Zagłębiu Węglowym w 2001 roku, o czym świadczy zarówno liczba wstrząsów, jak i ich energia. Ilościowy rozkład wstrząsów w poszczególnych klasach energetycznych przedstawiają rysunki 6 i 7. Wynika z nich, że:

- W zbiorze 1137 energii rzędu 10^5 J osiągnęło 927 zjawisk – stanowiło to około 82% ogólnej liczby wstrząsów wziętych do analizy. Sumaryczna energia sejsmiczna wywołana przez te wstrząsy stanowiła 21%.



Rys. 6. Rozkład ilościowy wstrząsów górotworu w poszczególnych klasach energetycznych z obszaru GZW w 2001 roku: E – przedział energetyczny, N – liczba wstrząsów

Fig. 6. Quantitative distribution of rock mass tremors in individual energy classes from the USCB area in 2001: E – energy interval, N – number of tremors



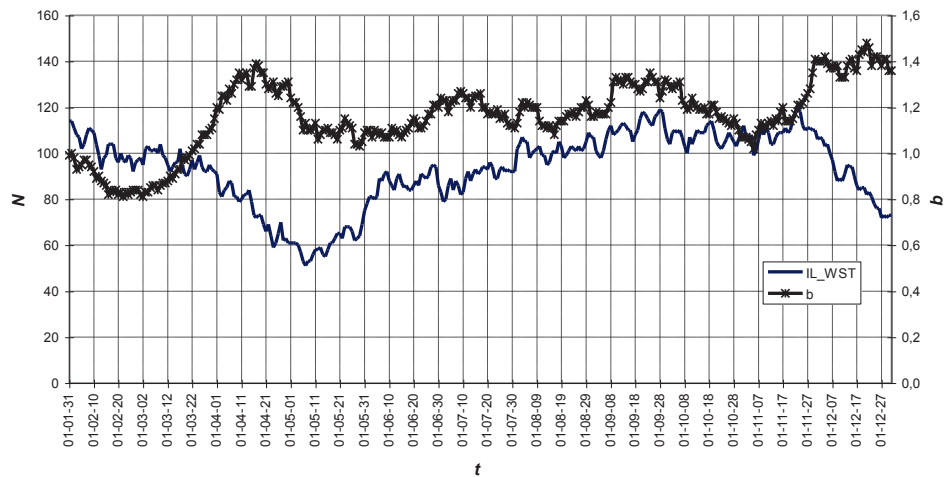
Rys. 7. Rozkład energii sumarycznej wstrząsów górotworu w poszczególnych klasach energetycznych z obszaru GZW w 2001 roku: E – przedział energetyczny, E_s – energia sumaryczna

Fig. 7. Distribution of summary energy of rock mass tremors in individual energy classes from the USCB area in 2001: E – energy interval, E_s – summary energy

- Wstrząsów o energii rzędu 10^6 J było 192, co stanowiło 17% ogólnej liczby wstrząsów wziętych do analizy. Ta grupa zjawisk spowodowała wyzwolenie około 44% sumarycznej energii sejsmicznej.
- Wstrząsów o energii rzędu 10^7 J wystąpiło w analizowanym okresie 18, stanowiło to około 1,6% ogólnej liczby zjawisk i 35% sumarycznej energii sejsmicznej.
- W analizowanym okresie badawczym brak było wstrząsów o energii sejsmicznej powyżej 10^8 J.

Rysunek 8 przedstawia rozkład aktywności sejsmicznej (liczbę zaistniałych wstrząsów w dziesięciodniowych przedziałach czasu) oraz rozkład parametru b z zależności Gutenberga-Richtera. Parametr b opisany jest zależnością: $\log N = a - bM_L$, gdzie: N – liczba wstrząsów w danym przedziale czasu, M_L – magnituda lokalna zjawisk, a , b – parametry tego rozkładu.

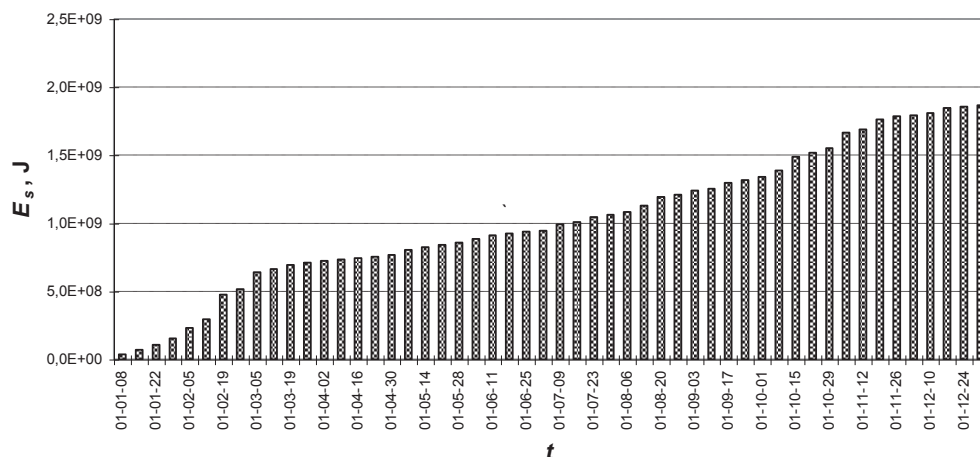
Zmiany zachodzące w rozkładzie aktywności sejsmicznej, wyrażającej się liczbą wstrząsów w dziesięciodniowych przedziałach czasu, bardzo wyraźnie odzwierciedlają się w zmianach parametru b . Duże wartości parametru b wskazują na stosunkowo niski poziom aktywności sejsmicznej i odwrotnie – niskie wartości b – na okresy wzmożonej aktywności sejsmicznej. Analizując przedstawione rozkłady stwierdza się, że aktywność sejsmiczna, tzn. liczba wstrząsów, do połowy maja 2001 roku, wyraźnie zmalała do około 50 wstrząsów na miesiąc. W kolejnych miesiącach, do początku grudnia, aktywność ta charakteryzowała się regularną tendencją wzrostową. Występowało średnio 120 wstrząsów miesięcznie. W grudniu widoczny był spadek aktywności sejsmicznej i, będący tego odzwierciedleniem, wzrost współczynnika b .



Rys. 8. Rozkład aktywności górotworu N i współczynnika b z zależności Gutenberga-Richtera w GZW w 2001 roku: t – czas

Fig. 8. Distribution of rock mass N activity and coefficient b from the dependence Gutenberg-Richter in the USCBC in 2001: t – time

Kolejnym analizowanym parametrem był przyrost skumulowanej energii sejsmicznej wyzwolonej w tygodniowych przedziałach czasu (krzywa kumulacyjna Benioffa), co obrazuje rysunek 9. Krzywa kumulacyjna do końca marca 2001 roku wykazywała szybki przyrost skumulowanej energii sejsmicznej. Następnie obserwowano stopniowy, w miarę jednolity, przyrost energii sumarycznej spowodowany występowaniem w przybliżeniu takiej samej liczby wstrząsów. Taki przebieg krzywej Benioffa świadczy o regularnej relaksacji górotworu w GZW.



Rys. 9. Rozkład przyrostu sumarycznej energii sejsmicznej w tygodniowych przedziałach czasu (krzywa Benioffa) w 2001 roku: t – czas, E_s – sumaryczna energia sejsmiczna

Fig. 9. Distribution of increase of summary seismic energy in week's time intervals (Benioff's curve) in 2001: t – time, E_s – summary seismic energy

4. PODSUMOWANIE

Systematyczna obserwacja indukowanej aktywności sejsmicznej w GZW prowadzona jest w GIG od lat pięćdziesiątych (stacje sejsmiczne z rejestracją optyczną). Górnośląska Regionalna Sieć Sejsmologiczna działająca bez przerwy od 1973 roku pełni rolę nadrzędną w stosunku do sieci kopalnianych. Na podstawie uzyskiwanych sejsmogramów w sposób ciągły opracowywany jest bank danych zawierający podstawowe parametry sejsmologiczne wstrząsów górotworu o energii $E \geq 10^5$ J ($M_L \geq 1,6$), takie jak: data i czas wystąpienia zjawiska, energia sejsmiczna wstrząsu, magnituda, nazwa kopalni, współrzędne epicentrum. Dane te wykorzystywane są do badań związanych z szeroko pojętą analizą stanu zagrożenia tapaniami w kopalniach oraz oceną dynamicznych oddziaływań drgań wywoływanych wstrząsami na powierzchniowe środowisko naturalne w GZW.

Aktywność sejsmiczna występuje głównie w północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w rejonach charakteryzujących się stosunkowo głębokim zaleganiem eksploatowanych pokładów węgla i występowaniem w ich otoczeniu mocnych i grubych kompleksów piaskowcowych oraz silnie rozwiniętą tektoniką. Czas trwania obserwacji sejsmologicznej prowadzonej w Głównym Instytucie Górnictwa można podzielić na dwa okresy, pierwszy to lata 1950–1972, w którym udokumentowano 350 zjawisk sejsmicznych o energii $E \geq 10^6$ J (magnitudzie lokalnej $M_L \geq 2,2$) i drugi od 1973 roku do chwili obecnej. W latach 1973–2000 aktywność sejsmiczna GZW charakteryzowała się wysokim poziomem, zróżnicowaniem w poszczególnych latach oraz różną intensywnością w poszczególnych rejonach. W tym okresie zarejestrowano ponad 57600 wstrząsów o energii $E \geq 10^5$ J ($M_L \geq 1,6$).

Wieloletnia analiza kilkudziesięcioletniego zbioru danych pozwoliła na wyodrębnienie dwóch typów sejsmiczności, tzw. górniczej i górniczo-tektonicznej.

Pierwszy typ zjawisk bezpośrednio związany jest z prowadzoną działalnością górniczą i występuje w sąsiedztwie czynnych wyrobisk górniczych. Są to zjawiska słabsze energetycznie, które charakteryzują się eksplozywnym typem mechanizmu ognisk, co odzwierciedla procesy związane z destrukcją pokładu lub bezpośredniego jego otoczenia.

Drugi typ sejsmiczności górniczo-tektoniczny indukuje się na skutek połączenia dwóch czynników: komponenty górniczej i tektonicznej. Są to wstrząsy wysokoenergetyczne, występujące w rejonach stref tektonicznych często odczuwalne przez ludność na powierzchni. Najczęstszym typem mechanizmu ognisk tych wstrząsów jest mechanizm poślizgowy normalny z zaznaczającym się poziomym przesunięciem w ognisku wstrząsu. Azymuty płaszczyzn rozrywu i ich upady dla tych zjawisk korelują z rozciągłością i upadem uskoków, w pobliżu których zlokalizowane są ogniska wstrząsów. Dane te pozwalają wnioskować o tym, że przyczyną tych zjawisk jest współdziałanie naprężeń tektonicznych istniejących w analizowanym obszarze z naprężeniami wywołanymi pracami górniczymi.

Przeprowadzona statystyczna analiza sejsmiczności GZW w 2001 roku obejmująca rozkłady ilościowo-energetyczne oraz rozkład parametru b relacji Gutenberga-Richtera i rozkład skumulowanej energii sejsmicznej (krzywa Benioffa) wskazuje na ogólnie wysoki poziom aktywności sejsmicznej w GZW. Najbardziej wstrząsogennym rejonem w 2001 roku był rejon rudzko-zabrzański i katowicki.

Literatura

1. Denysenko S.: *Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w latach 1974–1994*. Wiadomości Górnicze 1996 nr 1.
2. Domański B.: *Comparison of source parameters of seismic events at Polish coal and copper mines*, In: *Rockbursts and Seismicity in Mines* (ed. S.J. Gibowicz, S. Lasocki). Rotterdam, Balkema 1997.
3. Drzęźła B., Mendecki A., Marcela E.: *Wpływ warunków górniczych na kształtowanie się aktywności sejsmicznej na przykładzie KWK Miechowice*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc. 1984 M-6 (176), s. 377-383.

4. Dubiński J., Mutke G., Stec K.: *Rozwiązania w sejsmologii górniczej poprawiające efektywność oceny stanu zagrożenia sejsmicznego*. Geologia t. 25. Kraków, Wydaw. Naukowo-Dydaktyczne AGH 1999, s. 45-58.
5. Kijko A.: *A modified form of the first Gumbel distribution: model for the occurrence of large earthquakes. Part II – Estimation of parameters*. Acta Geophys. Pol. 1982 Nr 2, s. 148-159.
6. Kijko A.: *Bimodalny charakter ekstremalnych rozkładów zjawisk sejsmicznych w kopalniach*. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., 1986 M-8 (191), s. 91-101.
7. Knochenhauer E.: *Erderschutterungen und Bergschaden*. Zeit. f.d. Berg-Hütt-und Solinenwesen, 1912.
8. Lindenman A.: *Gebirgsschlage und Bodenerschutterungen im Westoberschlesischen Steinkohlenbezirk*. Zeit, f.d. Berg-Hütt und Solinenwesen, 1930.
9. Mutke G., Stec K.: *Seismicity in the Upper Silesian Coal Basin, Poland: Strong regional seismic events*, In: Rockbursts and seismicity in mines (ed. S.J. Gibowicz, S. Lasocki). Rotterdam, Balkema 1997.
10. Mutke G., Stec K.: *Biuletyn najsilniejszych wstrząsów górotworu w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Katowice, GIG 1992–2000 (niepublikowana).
11. Paszta E., Udziela B., Wierzchowska Z.: *Najsilniejsze wstrząsy górotworu na Górnym Śląsku*. Katowice, GIG 1950–1970, nr 1-14.
12. Stec K., Drzewiecki J.: *Relationship between mine tremor focal mechanism and local mining and geological conditions*. Acta Montana, Seria A 2000 No 16 (118), s. 189-202.
13. Wierzchowska Z.: *Przyczyny wstrząsów na Górnym Śląsku*. Prace GIG, Komunikat 268. Katowice 1961.
14. Wierzchowska Z.: *Nowe poglądy na pochodzenie wstrząsów ziemi na Górnym Śląsku*. Przegląd Górniczy 1962 nr 7-8, s. 418-422.
15. Wierzchowska Z.: *Zagraniczne metody sejsmiczne do badania tąpnięć*. Przegląd Górniczy 1964 nr 9, s. 458-463.
16. Wierzchowska Z.: *Regionalna Sieć Mikrosejsmologiczna na Górnym Śląsku*. Przegląd Górniczy 1981 nr 5, s. 222-228.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Dubiński