

Andrzej Janowski¹⁾, Maciej Olchawa¹⁾, Mariusz Serafiński¹⁾

Aktywność sejsmiczna w strefach zuskokowanych i w sąsiedztwie dużych dyslokacji tektonicznych w oddziałach kopalń KGHM Polska Miedź S.A.

Streszczenie

W artykule przedstawiono poziom aktywności sejsmicznej górotworu w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. w latach 1990÷2012. Na tym tle zaprezentowano aktywność sejsmiczną w polach eksploatacyjnych w 2012 roku lub w których eksploatację zakończono w roku 2011, charakteryzujących się dużym zaangażowaniem tektonicznym (strefy zuskokowane, sąsiedztwo dużych dyslokacji tektonicznych). Na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych dokonano oceny zagrożenia sejsmicznego dla prowadzonej eksploatacji.

Słowa kluczowe: tąpnięcia, aktywność sejsmiczna, uskok

Seismic activity in fault zones and in the neighbourhood of large tectonic dislocations in the mine divisions of KGHM Polska Miedź S.A.

Abstract

The level of seismic activity of rock mass in KGHM Polska Miedź S.A. mines between 1990-2012 was described in the paper. On this background seismic activity in mining panels exploited in 2012 or in which exploitation was completed in 2011 was presented. The panels were characterized by a strong tectonic engagement (faulted areas, the neighborhood of major tectonic dislocations). Based on mining experiences seismic hazard evaluation for mining activity has been made.

Keywords: rock bursts, seismic activity, fault

1. Aktywność sejsmiczna na obszarze kopalń KGHM Polska Miedź S.A.

Do oceny i analiz aktywności sejsmicznej górotworu w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A., niezbędnych na etapie przestrzennego planowania eksploatacji, doboru technologii wybierania i metod profilaktyki tąpniowej, jak również podejmowania długofalowych i doraźnych działań z zakresu zwalczania zagrożenia wstrząsami sejsmicznymi wykorzystuje się następujące podstawowe wskaźniki:

- liczba rejestrowanych wstrząsów,
- liczba wstrząsów wysokoenergetycznych,
- wielkość wyzwolonej energii sejsmicznej,

¹⁾ KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR, ul. Gen. Wł. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław

- wielkość energii sejsmicznej przypadającej na jednostkę powierzchni wybranego złoża lub ilość wydobytej rudy.

Na podstawie kształtowania się poziomu powyższych wskaźników w dłuższym okresie czasu, możliwa jest ocena wpływu eksploatacji, rozwiązań z zakresu technologii górniczych oraz działań podejmowanych w celu minimalizowania zagrożeń związanych z eksploatacją.

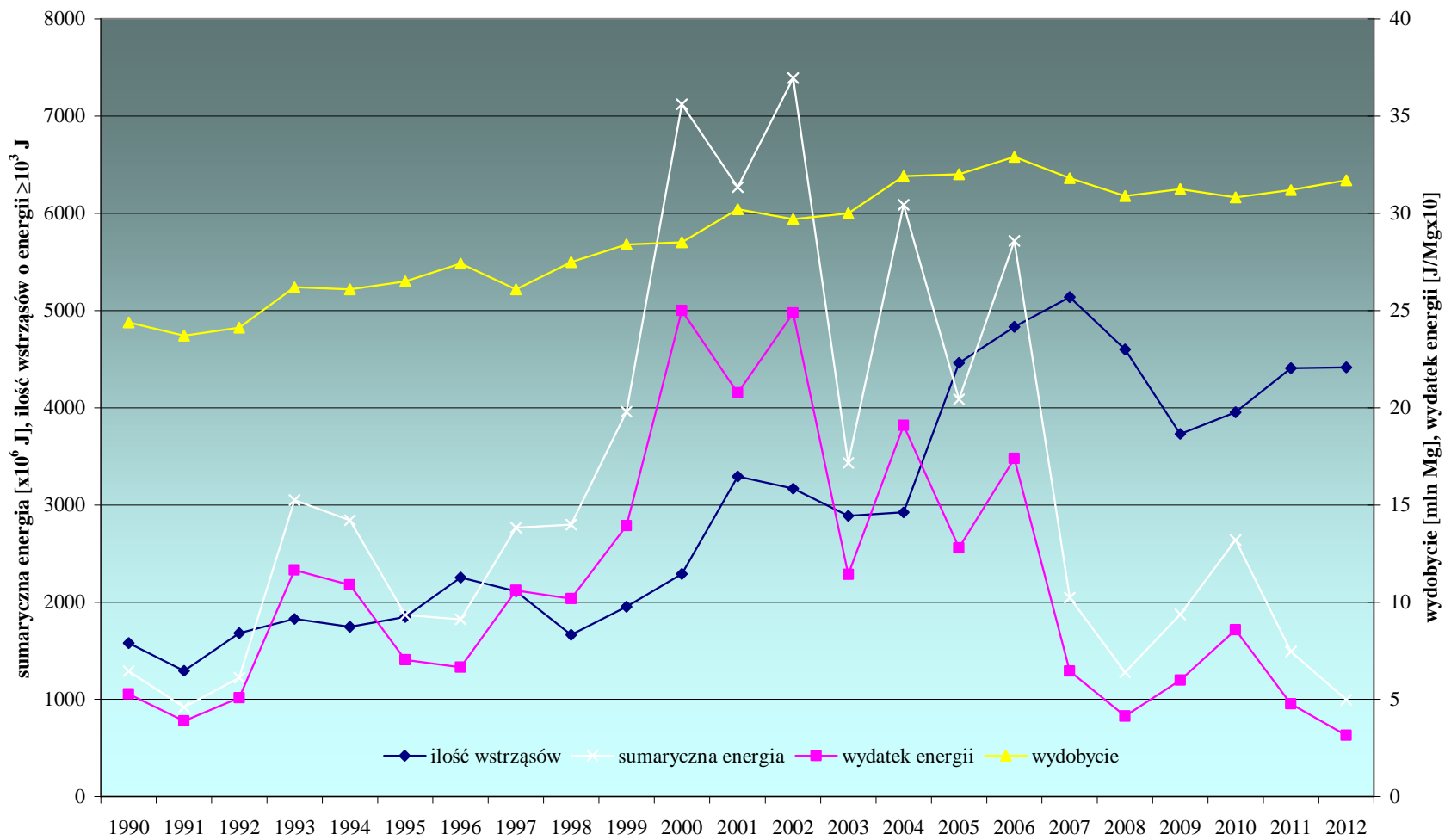
Poziom aktywności sejsmicznej górotworu w powiązaniu z wielkością wydobycia, liczbą wstrząsów oraz wydatkiem energii sejsmicznej na Mg wydobycia w latach 1990- 2012 w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. pokazano na rys. 1.

Zróznicowanie geologiczno-górnich uwarunkowań prowadzenia eksploatacji oraz wielkość obszaru objętego robotami eksploatacyjnymi (liczba czynnych pól eksploatacyjnych) powoduje, że poziom aktywności sejsmicznej i zagrożenia tąpnięciami jest różny w poszczególnych kopalniach. Parametry aktywności sejsmicznej górotworu zarejestrowanej w latach 1990-2012 na obszarze poszczególnych kopalń przedstawiono na rys. 2-4 [1].

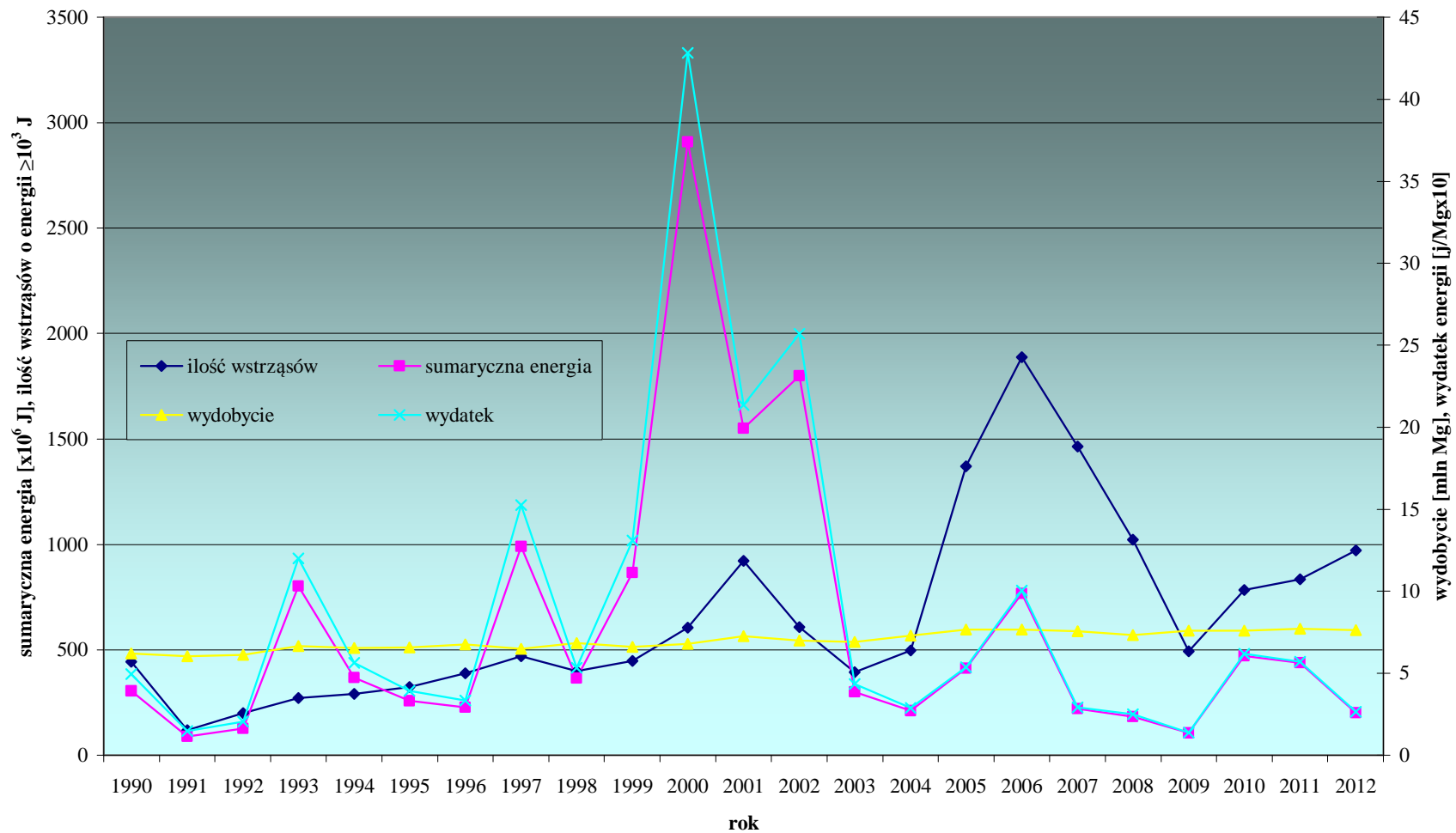
2. Eksploatacja w strefach zuskokowanych i w sąsiedztwie dużych dyslokacji tektonicznych

W górotworze na obszarze kopalń KGHM Polska Miedź S.A. występuje szereg powierzchni nieciągłości związanych z tektoniką. Są to różnego rodzaju uskoki i nasunięcia, które należy traktować jako powierzchnie zniszczenia skały. Orientacja uskoków i innych nieciągłości związana jest z pierwotnym stanem naprężeń w górotworze. Duże uskoki oraz wiązki mniejszych uskoków o zbliżonym azymucie, tworzą strefy o szerokości dochodzącej do 300-400 m. Systemy te tworzą naturalne powierzchnie osłabienia, dzieląc masyw skalny na bloki. Przejawem tego podziału jest np.: układanie się ognisk wstrząsów wzdłuż pewnych kierunków oraz lokalne redystrybucje pola naprężeń. W takich rejonach obniżeniu ulega wytrzymałość górotworu. Zagrożenie sejsmiczne związane jest nierozzerwalnie z procesem niszczenia skały. Jeśli eksploatacja górnicza znajdzie się w strefie wcześniej naruszonej zniszczeniem pochodzenia tektonicznego, to jej wpływ na ośrodek skalny jest duży – dochodzi do uaktywniania się struktur tektonicznych. W wyniku eksploatacji następują dynamiczne odkształcenia sztywnych warstw stropowych, generujące wysokoenergetyczne wstrząsy, powodujące niekiedy skutki w postaci tąpnięć i odprężeń. W artykule przedstawiono aktywność sejsmiczną w polach eksploatowanych w 2012 roku lub w których eksploatację zakończono w roku 2011.

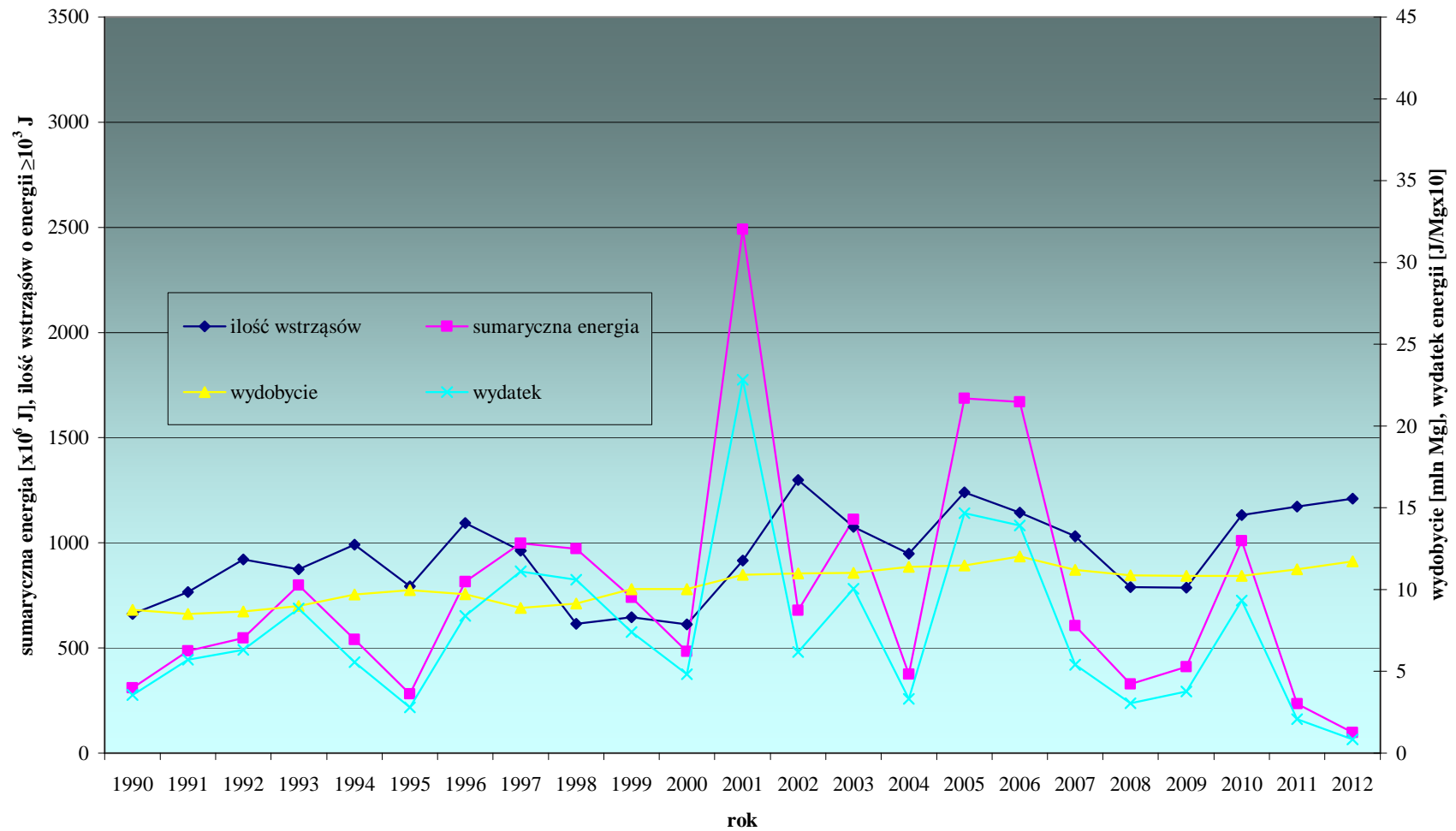
Na obszarze kopalni „Rudna” dominują dwie duże strefy uskoków: uskoki systemu „Rudna Główna”, w sąsiedztwie których przebiegała eksploatacja w polach: G-1/7 i G-15/10, oraz system uskoków „Biedrzykowa”, w sąsiedztwie którego zlokalizowane są pola G-3/4, G-7/5 i G-8/3. W tabelach 1-5 zestawiono aktywność sejsmiczną zarejestrowaną w trakcie prowadzenia eksploatacji w polach sąsiadujących z tymi systemami uskoków.



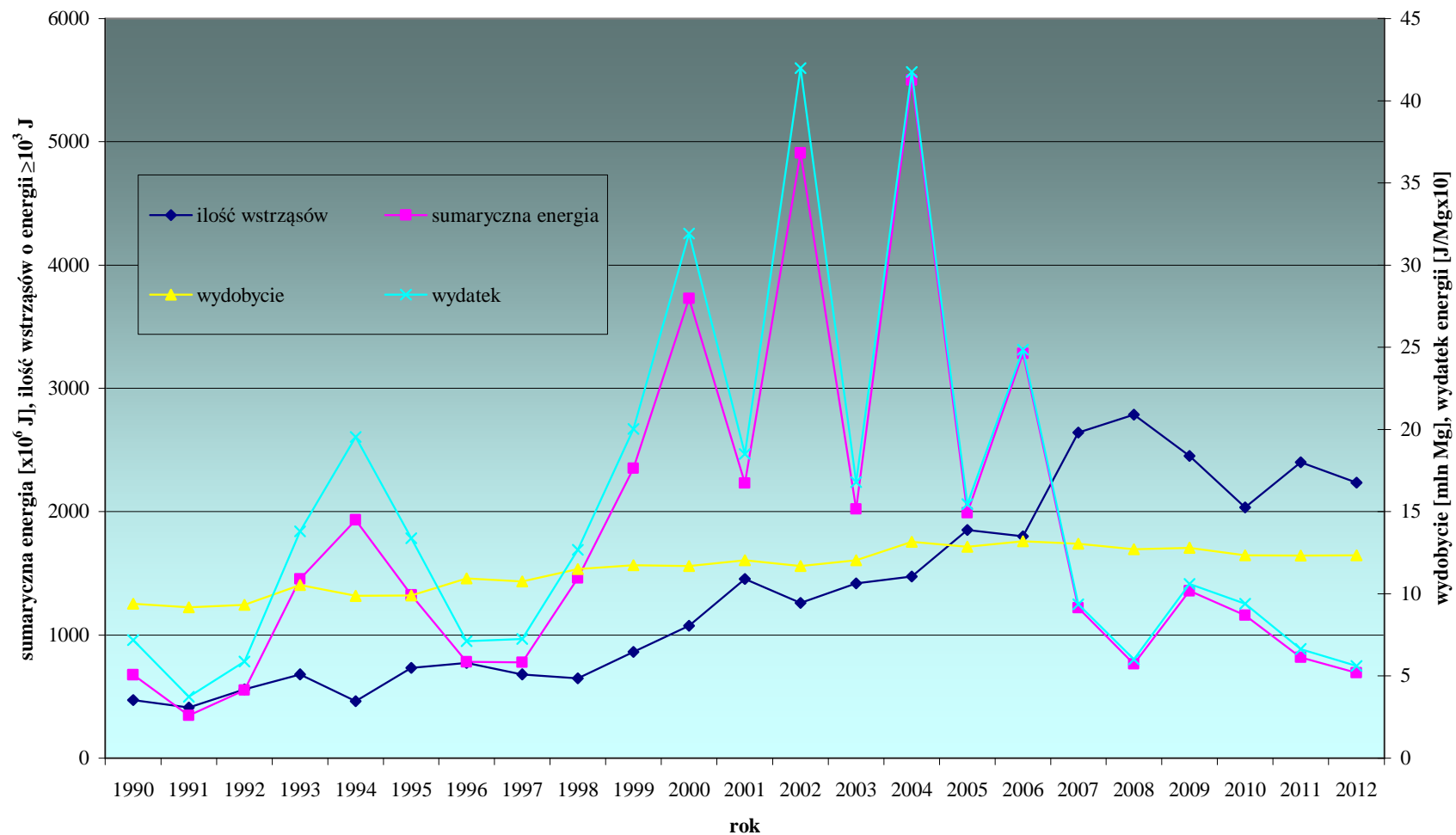
Rys. 1. Wielkość wydobywania, sumaryczna energia sejsmiczna, liczba wstrząsów i wydatek energii sejsmicznej na Mg wydobywania w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. w latach 1990-2012 [1]



Rys. 2. Wielkość wydobycia, sumaryczna energia sejsmiczna, liczba wstrząsów i wydatek energii sejsmicznej na Mg wydobycia w O/ZG „Lubin” w latach 1990-2012 [1]



Rys. 3. Wielkość wydobywania, sumaryczna energia sejsmiczna, liczba wstrząsów i wydatek energii sejsmicznej na Mg wydobywania w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” w latach 1990-2012 [1]



Rys. 4. Wielkość wydobycia, sumaryczna energia sejsmiczna, liczba wstrząsów i wydatek energii sejsmicznej na Mg wydobycia w O/ZG „Rudna” w latach 1990–2012 [1]

Tabela 1

Aktywność sejsmiczna górotworu w polu G-1/7 kopalni „Rudna”
w strefie wpływów systemu uskoków „Rudna Główna”

Rok	Ilość wstrząsów w klasach energii [J]							Sumaryczna energia [J]
	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
1998	6	4	4	4	-	1	-	2,20×10 ⁸
1999	16	4	8	3	4	1	-	3,76×10 ⁸
2000	19	7	-	1	2	-	-	4,26×10 ⁷
2001	33	12	4	2	5	-	-	1,26×10 ⁸
2002	45	22	13	4	2	1	-	2,15×10 ⁸
2003	77	41	25	13	3	-	-	3,01×10 ⁸
2004	161	101	60	28	11	1	-	4,44×10 ⁸
2005	94	43	15	4	1	-	-	7,98×10 ⁷
2006	153	63	25	4	3	-	1	2,06×10 ⁹
2007	546	150	71	26	1	-	-	1,23×10 ⁸
2008	360	122	21	5	1	-	-	3,38×10 ⁷
2009	172	52	14	3	-	-	-	1,09×10 ⁷
2010	17	4	-	-	-	-	-	1,32×10 ⁵
2011	6	2	1	-	-	-	-	8,32×10 ⁵

Tabela 2

Aktywność sejsmiczna górotworu w polu G-15/10 kopalni „Rudna”
w trakcie eksploatacji w strefie systemu uskoków „Rudna Główna”

Rok	Ilość wstrząsów w klasach energii [J]							Sumaryczna energia [J]
	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
2003	1	4	-	-	1	-	-	1,01×10 ⁷
2004	12	8	4	3	2	-	-	1,21×10 ⁸
2005	8	4	3	-	1	-	-	8,81×10 ⁷
2006	18	7	6	1	1	-	-	9,24×10 ⁷
2007	17	9	-	3	-	-	-	6,67×10 ⁶
2008	18	8	4	1	-	-	-	3,30×10 ⁶
2009	6	2	2	-	-	-	-	9,63×10 ⁵
2010	10	4	5	3	-	-	-	9,46×10 ⁶
2011	9	6	5	3	1	-	-	2,92×10 ⁷
2012	25	10	2		1		-	5,30×10 ⁷

Tabela 3

Aktywność sejsmiczna górotworu w polu G-3/4 kopalni „Rudna”
w trakcie eksploatacji prowadzonej w strefie uskoku „Biedrzychowa”

Rok	Ilość wstrząsów w klasach energii [J]							Sumaryczna energia [J]
	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
2001	5	4	2	3	-	-	-	1,55×10 ⁷
2002	26	17	12	6	1	-	-	3,75×10 ⁷
2003	90	52	22	12	10	-	-	3,83×10 ⁸
2004	73	28	13	7	3	3	-	6,78×10 ⁸
2005	161	56	23	13	1	-	-	9,16×10 ⁷
2006	189	84	26	23	2	-	-	1,74×10 ⁸
2007	173	49	24	11	1	-	-	9,14×10 ⁷
2008	168	64	28	12	2	-	-	1,08×10 ⁸
2009	176	64	17	6	1	-	-	4,58×10 ⁷
2010	78	26	14	2	2	-	-	4,77×10 ⁷
2011	109	60	22	14	3	-	-	1,07×10 ⁸
2012	97	68	24	11	4	-	-	1,56×10 ⁸

Tabela 4

Aktywność sejsmiczna górotworu w polu G-7/5 kopalni „Rudna”
w trakcie eksploatacji prowadzonej w strefie uskoku „Biedrzychowa”

Rok	Ilość wstrząsów w klasach energii [J]							Sumaryczna energia [J]
	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
2002	2	2	3	6	1	-	-	1,83×10 ⁶
2003	54	24	22	6	2	-	-	2,28×10 ⁸
2004	29	19	11	2	1	-	-	4,83×10 ⁷
2005	83	62	18	8	3	-	-	7,42×10 ⁷
2006	74	30	17	5	2	1	-	2,82×10 ⁸
2007	144	40	17	8	5	1	-	2,27×10 ⁸
2008	130	57	30	8	1	-	-	6,56×10 ⁷
2009	101	73	18	2	1	-	-	1,05×10 ⁸
2010	120	46	15	5	1	1	-	1,56×10 ⁸
2011	235	104	37	15	1	-	-	7,73×10 ⁷
2012	198	96	24	8	1	-	-	4,88×10 ⁷

Tabela 5

Aktywność sejsmiczna górotworu
w polu G-8/3 kopalni „Rudna” w trakcie eksploatacji prowadzonej
w strefie uskoku „Biedzychowa” i „Rudnej Głównej”

Rok	Ilość wstrząsów w klasach energii [J]							Sumaryczna energia [J]
	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
2003	4	1	-	1	-	-	-	7,76×10 ⁶
2004	-	2	-	-	-	-	-	3,6×10 ⁴
2005	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	2	1	-	-	-	-	-	5,96×10 ⁴
2007	1	-	-	-	-	-	-	4,67×10 ⁴
2008	17	1	1	-	-	-	-	5,21×10 ⁵
2009	5	5	-	-	-	-	-	2,41×10 ⁴
2010	22	14	4	2	-	-	-	4,18×10 ⁶
2011	27	11	3	-	-	-	-	2,20×10 ⁶
2012	28	8	-	-	-	-	-	2,19×10 ⁵

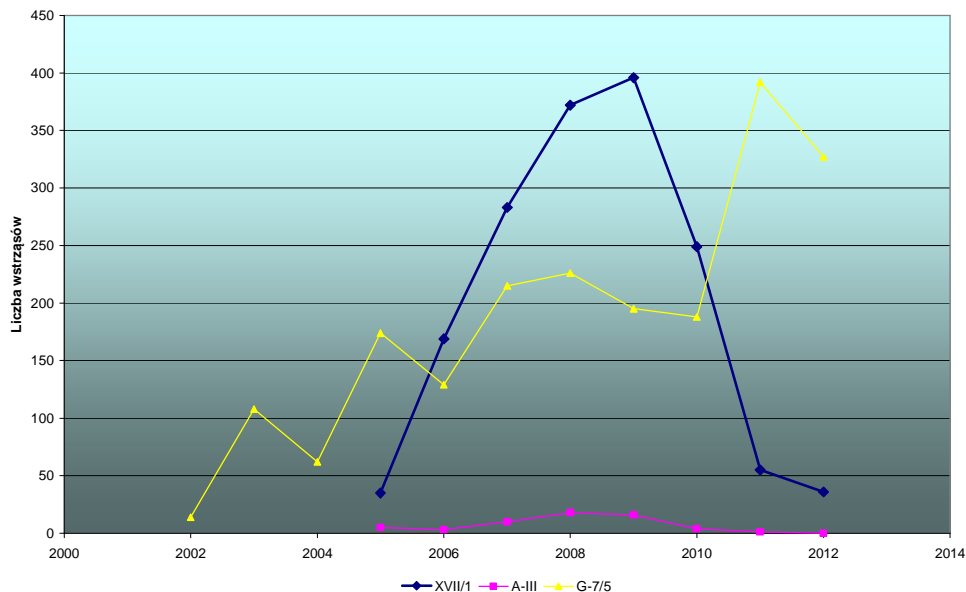
Doświadczenia eksploatacyjne [1] wskazują, że w sytuacji zbliżania się frontu robót eksploatacyjnych do pojedynczych, nawet niewielkich uskokuw, następuje wzrost zagrożenia sejsmicznego. Wpływ tych zaburzeń obserwowano m.in. w kopalni „Rudna” w polach XVII/1 i XII/1, a w kopalni „Polkowice-Sierszowice” w oddziałach: G-23 (piętro I1W, I2W, pole D), G-53 (A-III). W tabelach 6-9 ujęto parametry aktywności sejsmicznej wybranych, bardziej aktywnych w tym zakresie oddziałów (pól, pięter).

Tabela 6

Aktywność sejsmiczna górotworu w polu XVII/1 kopalni „Rudna”
w trakcie prowadzonej eksploatacji

Rok	Ilość wstrząsów w klasach energii [J]							Sumaryczna energia [J]
	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹	
2005	15	10	6	2	1	1	-	2,63×10 ⁸
2006	96	40	19	10	4	-	-	1,25×10 ⁸
2007	164	62	36	13	7	1	-	3,46×10 ⁸
2008	234	87	30	18	3	-	-	1,58×10 ⁸
2009	241	92	39	15	9	-	-	2,70×10 ⁸
2010	162	56	20	5	5	1	-	2,91×10 ⁸
2011	29	14	5	6	1	-	-	4,71×10 ⁷
2012	27	6	1	2	-	-	-	1,50×10 ⁷

Na rysunku 5 przedstawiono przykładowo liczbę wstrząsów w polu XVII/1 O/ZG „Rudna” i bloku A-III O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”.



Rys. 5. Przykładowa aktywność sejsmiczna (liczbę wstrząsów) w polach XVII/1 i G-7/5 O/ZG „Rudna” oraz A-III O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”

W bloku A-III w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” rozpoczęto eksploatację w roku 2005, a roboty likwidacyjne w roku 2006. Podczas tych robót w latach 2007, 2008 i 2009 front likwidacyjny przemieszczał się przez strefę uskoku. W latach tych nastąpił wzrost liczby wstrząsów. W następnych latach, w miarę oddalania się od uskoków, nastąpił wyraźny spadek aktywności sejsmicznej.

Podobnie w polu XVII/1 w O/ZG „Rudna” wyraźny wzrost liczby wstrząsów nastąpił w momencie, gdy front likwidacyjny znalazł się w obrębie strefy zuskokowanej. W miarę oddalania się od uskoków aktywność sejsmiczna malała.

Także w polu G-7/5 O/ZG „Rudna” od początku eksploatacja była prowadzona w złożu silnie zaangażowanym tektonicznie, co miało wpływ na znaczną aktywność sejsmiczną. W okresie do 2008 roku liczba wstrząsów rośnie, a w latach 2008 do 2009 nieznacznie maleje. Spowodowane to było, najpierw eksploatacją w strefie usku, a później nieznacznym oddaleniem się od niej. W roku 2011 następuje gwałtowny wzrost aktywności sejsmicznej związany z wejściem w strefę kolejnego usku. Podobny mechanizm kształtowania się aktywności sejsmicznej obserwuje się

w pozostałych przedstawionych w artykule polach.

Pola aktualnie eksploatowane w kopalni „Lubin” charakteryzują się słabo rozwiniętą tektoniką. Pojedyncze uskoki występują na obszarze pól XI/5, XIII/2 oraz XII/10. Dużą aktywność sejsmiczną zanotowano w polach XIII/2 i XII/10 (590 wstrząsów o łącznej energii $1,66 \times 10^6$ J i 238 wstrząsów o łącznej energii $3,02 \times 10^7$ J).

Więszym zaangażowaniem tektonicznym charakteryzowały się pola LZ/5 i LZ/6, które są w zasięgu wpływu strefy „Uskoku Szklar Górnych” (poziom aktywności sejsmicznej zarejestrowanej w trakcie dotychczas prowadzonych w tym polu robót podano w tabeli 10).

Tabela 10

Aktywność sejsmiczna górotworu w polach LZ/1, LZ/2, LZ/3, LZ/4 kopalni „Lubin”

Pole	Rok	Ilość wstrząsów o energii rzędu [J]						Sumaryczna energia
		10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	
LZ/1, LZ/2	2002	4	5	1	3	-	-	5,89×10 ⁶
	2003	5	11	3	6	-	-	1,86×10 ⁷
	2004	7	1	7	3	1-	-	9,52×10 ⁷
	2005	12	5	6	3	2	-	5,65×10 ⁷
	2006	6	6	3	2	1	-	2,64×10 ⁷
LZ/3	2002	-	-	-	-	-	-	-
	2003	11	14	1	-	-	-	0,92×10 ⁶
	2004	24	33	2	-	-	-	1,40×10 ⁶
	2005	29	29	7	-	-	-	2,64×10 ⁶
	2006	8	3	2	-	-	-	6,40×10 ⁵
LZ/1, LZ/4	2006	6	8	6	4	2	-	7,14×10 ⁷
	2007	10	6	3	2	-	-	1,22×10 ⁷
	2008	13	17	3	3	-	-	1,04×10 ⁷
LZ/4, LZ/5	2008	3	1	-	-	-	-	3,0×10 ⁴
	2009	7	1	1	-	-	-	3,35×10 ⁵
	2010	3	2	-	1	-	-	6,45×10 ⁶
LZ/5	2011	1	-	-	-	-	-	4,80×10 ³
LZ/6	2008	22	19	6	1	-	-	4,23×10 ⁶
	2009	28	28	16	-	-	-	4,25×10 ⁶
	2010	25	34	21	2	-	-	1,06×10 ⁷
	2011	1	-	-	-	-	-	2,40×10 ³

Podsumowanie

Jak wskazują dane zawarte w tabelach, zagrożenie sejsmiczne przy prowadzeniu robót w sąsiedztwie uskoku często wiąże się z występowaniem wysokoenergetycznych wstrząsów, które są następstwem przemieszczania się warstw skalnych po powierzchni nieciągłości masywu skalnego. Dodatkowo niszczący proces eksploatacji (np. z powodu stosowania techniki strzałowej do urabiania), w otoczeniu uskoku, sprzyja powstawaniu różnorodnych spękań, które mogą być źródłem wstrząsów sejsmicznych oraz lokalnych obwałowań i zawałów.

Prowadzone w kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. roboty przygotowawcze dla wydzielenia pól eksploatacyjnych pozwalają na dość dokładne rozpoznanie tektoniki obszaru planowanego do eksploatacji. Rozpoznanie to, w znacznej mierze, umożliwia dostosowanie systemu eksploatacji do występujących zaburzeń tektonicznych i przeciwdziałanie zagrożeniu sejsmicznemu metodami technologicznymi (odpo-

wiednia geometria systemu, wielkość otwarcia, kierunek wybierania, sposób likwidacji, wielkość filarów) [1,2,3,4]. Metody te polegają na wyprzedzającym upodatkowaniu krawędzi calizn i filarów przed frontem, stosowaniu systemów eksploatacji z szerokim otwarciem frontu oraz dostosowywaniu wielkości filarów technologicznych do warunków geologiczno-górnictwowych.

W analizowanym okresie we wszystkich kopalniach KGHM Polska Miedź S.A. zarejestrowano łącznie 684 wstrząsy o energii $\geq 10^7$ J. W tym: w O/ZG „Rudna” 431 wstrząsów, w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” 157 i w O/ZG „Lubin” 96. W przedstawionych wyżej oddziałach prowadzących eksploatację w sąsiedztwie zaburzeń tektonicznych zlokalizowano łącznie 152 wstrząsy o energii $\geq 10^7$ J, w tym: w O/ZG „Rudna” 138 wstrząsów (w siedmiu polach), w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” 8 (w dwóch polach) i w O/ZG „Lubin” 6 (w polu LZ).

Uwzględniając zanotowaną aktywność sejsmiczną można stwierdzić, że stosowane metody profilaktyczne zarówno techniczne jak i technologiczne [2,3,4] powodują, że prowadzenie eksploatacji w rejonach zuskokowanych nie wpływa w istotny sposób na wzrost zagrożenia sejsmicznego. Jednak podczas przechodzenia frontu eksploatacyjnego przez obszar charakteryzujący się dużymi płaszczyznami nieciągłości, jak wskazują dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne [1], można spodziewać się pojedynczych wstrząsów wysokoenergetycznych (tab. 1-4, 6-8).

Bibliografia

- [1] Janowski A., Olchawa M., Serafiński M., 2013, Ocena stanu zagrożenia tąpnięciami i zawałami oraz skuteczności metod ograniczania tych zagrożeń w kopalniach LGOM w 2012 r. KGHM CUPRUM – CBR, Wrocław.
- [2] Janowski A., Olchawa M., Serafiński M., 2013, Kompleksowy projekt eksploatacji złoża O/ZG „Lubin” w warunkach zagrożenia tąpnięciami na lata 2014-2019, KGHM CUPRUM – CBR, Wrocław.
- [3] Janowski A., Olchawa M., Serafiński M., 2013, Kompleksowy projekt eksploatacji złoża O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” w warunkach zagrożenia tąpnięciami na lata 2014-2019, KGHM CUPRUM – CBR, Wrocław.
- [4] Dębkowski R. i in., 2013, Kompleksowy projekt eksploatacji złoża O/ZG „Rudna” w warunkach zagrożenia tąpnięciami na lata 2014-2019, KGHM CUPRUM – CBR, Wrocław.

