

UKD 622.333: 622.33/.84: 622.167/.168: 624.044

Analiza wpływu uskoku Rydułtowskiego na szkody górnicze spowodowane wstrząsami z dnia 21.04.2011 i 7.06.2013

Analysis of the influence of Rydułtowy fault on mining damages induced by tremors registered on 21 April 2011 and 7 June 2013



Dr hab. inż. Elżbieta Pilecka prof. PK*)



Mgr inż. Renata Szermer-Zaucha***)

Treść: W artykule przedstawiono statystyczną analizę wpływu uskoku Rydułtowskiego na szkody górnicze spowodowane wstrząsami z dnia 21.04.2013 i 7.06.2013 w KWK „Rydułtowy – Anna”. Zbadano rozkłady szkód metodą statystyczną. Obliczono współczynnik korelacji, który okazał się statystycznie istotny, między przyśpieszeniem gruntu w miejscu zaistniałej szkody a odległością od uskoku Rydułtowskiego. Obliczenia przeprowadzono programem STATISTICA. Do obliczeń brano rzeczywiste dane pomiarowe. Uzyskane wyniki świadczą o wpływie lokalnej tektoniki na szkody górnicze, występujące po wysokoenergetycznych wstrząsach na terenie KWK „Rydułtowy – Anna”.

Abstract: This paper presents the statistical analysis of the influence of Rydułtowy fault on mining damages induced by the tremors registered on 21 April 2013 and 7 June 2013 in coal mine “Rydułtowy – Anna”. The distributions of damages were investigated by use of a statistical method. The statistically important coefficient of correlation between the acceleration of ground at the site where the damage occurred, and the distance from the Rydułtowy fault was calculated. The calculations were performed by use of the STATISTICA program. The calculations involved the real measurement data. The results demonstrate the influence of local tectonics on mining damages which occur after the high-energy tremors in the area of “Rydułtowy – Anna” coal mine.

Słowa kluczowe:

Eksploatacja węgla kamiennego, wstrząsy indukowane, szkody górnicze w budynkach

Key words:

hard coal exploitation, induced tremors, mining damages in buildings

1. Wprowadzenie

Szkody górnicze na terenie KWK „Rydułtowy – Anna” powstają w wyniku podziemnej eksploatacji węgla kamiennego. Szczególnie niebezpieczne są wysokoenergetyczne wstrząsy regionalne, których powstawanie jest zdeterminowane nałożeniem się dwóch czynników: eksploatacji węgla i tektoniki. W odróżnieniu od wstrząsów tzw. eksploatacyjnych – niskoenergetycznych, wstrząsy wysokoenergetyczne – regionalne stwarzają większe zagrożenie dla obiektów na powierzchni terenu. Liczba zgłoszonych uszkodzeń obiektów, zwłaszcza po wysokoenergetycznych wstrząsach, gwałtownie wzrasta.

Artykuł jest kontynuacją badań nad wpływem lokalnej tektoniki w KWK „Rydułtowy – Anna” na szkody górnicze spowodowane wysokoenergetycznymi wstrząsami. Początkowe badania opisano w artykule [8], gdzie przeprowadzono statystyczną analizę szkód górniczych, które powstały w wyniku wstrząsów w dniach 21 kwietnia 2011 roku i 7 czerwca 2013 roku w KWK „Rydułtowy – Anna” w powiązaniu z lokalną tektoniką. Badaniami objęto okres od 2006 roku i do szczegółowej analizy wybrano wymienione wstrząsy, w wyniku których powstało najwięcej szkód górniczych. Obydwa wstrząsy miały charakter regionalny i objęły swoim zasięgiem znaczny obszar. Statystyczna analiza wykazała, że dominującym kierunkiem szkód górniczych w obu przypadkach, czyli powstałych po wstrząsach w dniach 21 kwietnia 2011 roku i 7 czerwca 2013 roku jest kierunek lokalnej tektoniki zbliżony do równoleżnikowego.

*) Politechnika Krakowska **) GSZ Pracownia Projektowa Budownictwa Ogólnego i Przemysłowego sp. z o.o., Kraków

2. Przyczyny szkód górniczych na terenach objętych wpływami eksploatacji górniczej

2.1. Negatywne skutki eksploatacji górniczej i jej wpływ na powierzchnię terenu

Podziemna eksploatacja górnicza jest głównym czynnikiem, który kształtuje teren i wpływa na warunki posadowienia obiektów inżynierskich. Wpływy eksploatacji górniczej zostały zebrane i przedstawione na rys. 1.



Rys.1. Negatywne skutki eksploatacji górniczej na powierzchni terenu [10]

Fig. 1. Negative effects of exploitation on the surface [10]

Niekorzystne skutki oddziaływań spowodowanych eksploatacją górniczą w środowisku naturalnym, a także w obiektach zagospodarowania powierzchni terenu nazywa się potocznie szkodami górniczymi.

Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać budynki i usytuowanie na terenach górniczych zawarte są w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych (Dz.U. z dnia 15 czerwca 2002 r. z późn. zm. W paragrafie 205 ww Rozporządzenia jest zalecenie: na terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej powinny być stosowane zabezpieczenia konstrukcji budynków, odpowiednie do stanu zagrożenia, wynikającego z prognozowanych oddziaływań powodowanych eksploatacją górniczą, przez które rozumie się wymuszone przemieszczenia i odkształcenia oraz drgania podłoża. Do głównych przyczyn powstawania szkód górniczych, a co za tym idzie przekroczenia stanów granicznych nośności oraz stanów granicznych przydatności do użytkowania w elementach konstrukcyjnych, jak i w całej konstrukcji można zaliczyć:

- niedokładność prognozy wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu,
- błędy projektowe i wykonawcze,
- niewystarczającą dokładność oceny statycznej i dynamicznej odporności obiektów budowlanych na wpływ oddziaływań górniczych,
- niewystarczający monitoring i kontrolę zachowania się obiektów podczas zaistnienia wpływów górniczych i braku zabezpieczenia lub niedostateczne zabezpieczenie istniejących konstrukcji.

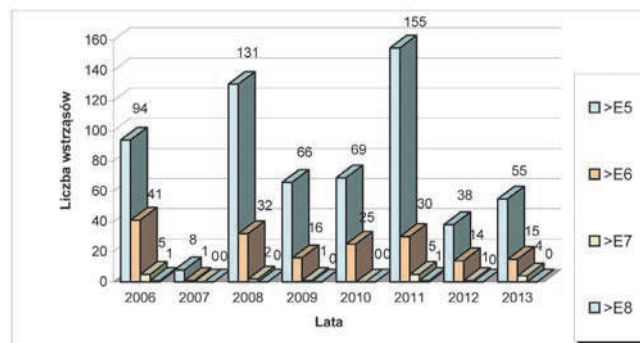
Szkody górnicze w obiektach można podzielić na:

1. Uszkodzenia elementów konstrukcyjnych.
2. Uszkodzenia elementów wykończeniowych obiektu budowlanego.
3. Uciążliwość użytkowania.

2.2. Wpływy pośrednie - wstrząsy górnicze

Wstrząsy górnicze to krótkotrwałe drgania powierzchni spowodowane wstrząsami górotworu, wywołanymi podziemną eksploatacją górniczą. Obszar Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) należy do jednych z najbardziej aktywnych sejsmicznie rejonów górniczych na świecie. Główną przyczyną wstrząsów w kopalniach GZW jest eksploatacja górnicza prowadzona od ponad 200 lat, która powoduje skomplikowany stan naprężenia i deformacji. Wstrząsy górnicze różnią się od trzęsień ziemi (m.in. czasem trwania, zakresem częstotliwości i intensywności), ale do ich analizy stosuje się metody obliczeniowe używane w sejsmologii [1], [5], [12].

Najbardziej niebezpieczne są wysokoenergetyczne wstrząsy regionalne, powodujące najliczniejsze szkody górnicze. Dla takich wstrząsów często trudno znaleźć bezpośredni związek z eksploatacją, czynią one więcej szkód na powierzchni terenu niż w wyrobiskach górniczych. W powstawaniu takich wstrząsów oprócz czynników górniczych mogą mieć udział czynniki tektoniczne: naprężenia tektoniczne, aktualne lub rezydualne [11],[4],[13]. W powstawaniu tych silnych zjawisk sejsmicznych indukowanych przez górnictwo mogą mieć udział składowe poziome i składowa pionowa pola naprężeń tektonicznych. A.F. Idziak i in. [3] wykazali, że rozkład silnych wstrząsów w GZW ma nielosowy charakter, czego przejawem jest ich skupianie się w pewnych ograniczonych obszarach oddzielonych obszarami asejsmicznymi. Badania rozkładu epicentrow wysokoenergetycznych wstrząsów występujących w GZW wykazały tendencje kierunkowe. Analiza kierunków wektorów łączących epicentra dwóch następujących po sobie wstrząsów wykazała silne „spolaryzowanie” kierunków zgodnie z jednym z dominujących kierunków uskoków. Te stwierdzenia potwierdziły się w analizach zdjęć satelitarnych GZW [7]. Wysokoenergetyczny wstrząs na głębokości hipocentralnej H związany jest z wyzwoleniem się energii w ognisku wstrząsu i powstaniem fal sejsmicznych bezpośrednich oraz powierzchniowych. Fale sejsmiczne powodują drgania gruntu, które z kolei powodują obciążenia dynamiczne obiektów budowlanych. W KWK „Rydułtowy – Anna” aktywność sejsmiczna jest duża (rys. 2). Od 1.01.2006 r. do 12.07.2013 r. zanotowano sumarycznie 810 wysokoenergetycznych wstrząsów o energii większej lub równej 10^5 J. W tym dwa wysokoenergetyczne wstrząsy o energii większej lub równej 10^8 J, jeden w 2006 roku, drugi w 2011 roku. Na rysunku 2 pokazano zestawienie liczby wstrząsów, które wystąpiły w KWK „Rydułtowy – Anna” od 1.01.2006 r. do 12.07.2013 r. w zależności od energii wstrząsu.



Rys.2. Zestawienie liczby wysokoenergetycznych wstrząsów w KWK „Rydułtowy-Anna” od 1.01.2006 r. do 12.07.2013 r.

Fig. 2. Summary of the number of high-energy tremors in the coal mine of “Rydułtowy-Anna” in the period of 1 January 2006 - 12 July 2013

Wystąpienie wysokoenergetycznego wstrząsu powoduje zawsze pojawienie się zjawiska emisji drgań. Fale sejsmiczne mają zazwyczaj negatywne skutki. Powodują deformację terenu, oraz miejscowe vibracje. Mają ogromnie niekorzystny wpływ na system nerwowy mieszkańców. Mogą być powodem zniszczeń wyrobisk górniczych, obiektów budowlanych leżących w strefie wpływów wstrząsu oraz powodować uszkodzenia infrastruktury.

3. Skale stosowane do oceny skutków szkód górniczych

Do oceny szkodliwości drgań przekazywanych z podłoża na budynki są wykorzystywane odpowiednio skonstruowane skale. Skale te opisano w artykule [9]. W niniejszym artykule autorki postanowiły przytoczyć stosowaną aktualnie Górniczą Skalę Intensywności GSI i jej najnowszą modyfikację z 2012 roku Skalę $GSI_{GZWKW-2012}$.

3.1. Skala $GSI_{GZWKW-2012}$

W roku 2012 w okresie od czerwca do grudnia została opracowana zweryfikowana skala $GSI_{GZWKW-2012}$, która została zrealizowana przez Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, we współpracy z Kompanią Węglową S.A. w Katowicach [2]. Weryfikacja górniczej skali intensywności drgań $GSI-GZW_{KW}$ jest wynikiem analiz wstrząsów górniczych rejestrowanych w obszarach górniczych kopalń KW S.A., w latach 2008-2012. Rozwiązanie zostało pozytywnie zaopiniowane 21 czerwca 2013 r. przez Komisję ds. Ochrony Powierzchni przy Wyższym Urzędzie Górniczym w Katowicach. W odróżnieniu od pierwotnej wersji skali GSI, gdzie istniały 4 stopnie intensywności drgań, najnowsza skala rozróżnia 5 stopni: począwszy od zerowego, w którym drgania są całkowicie nieszkodliwe dla budynków i podziemnej infrastruktury technicznej, aż do czwartego, w którym drgania mogą powodować rozległe uszkodzenia elementów wykończeniowych i pojedyncze uszkodzenia elementów konstrukcyjnych budynków.

Górnicza Skala Intensywności $GSI_{GZWKW-2012}$ pozwala na przybliżoną ocenę wpływu oddziaływania wstrząsów górniczych na budynki, ale także pozwala na ocenę drgań na liniowe obiekty infrastruktury podziemnej oraz ocenę odczuwalności wstrząsów przez ludzi i poziomu uciążliwości użytkowania obiektów budowlanych.

Przekroczenie granicy stopnia szkodliwości oznacza, że opisane skutki mogą, ale nie muszą wystąpić [2]. Stopnie intensywności drgań przedstawione są na wykresach skali $GSI_{GZWKW-2012}$ w funkcji parametrów drgań powierzchni.

3.2. Rodzaje skal $GSI_{GZWKW-2012}$

W zależności od parametrów opisujących drgania oraz od warunków prowadzonej oceny oddziaływań sejsmicznych na powierzchni, skalę $GSI-GZW_{KW-2012}$ podzielono na następujące, dwa rodzaje:

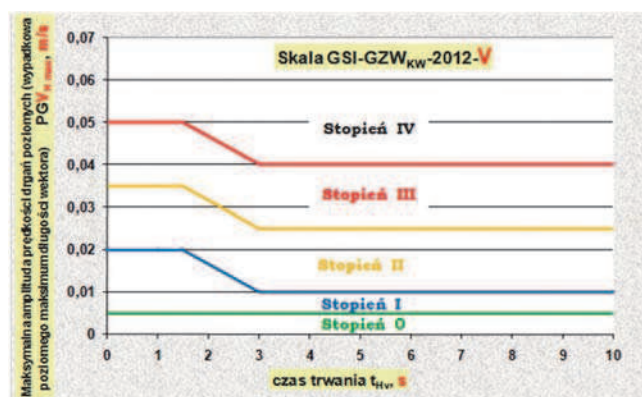
a) $GSI_{GZWKW-2012-V}$ – skala wykorzystuje parametry: maksymalną wartość prędkości drgań poziomych gruntu PGV_{Hmax} oraz czasu ich trwania t_{Hv} , stosowana do przybliżonej oceny intensywności drgań dla wstrząsów zaistniałych oraz dla wstrząsów prognozowanych. Skala $GSI_{GZWKW-2012V}$ stosowana jest w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. jako podstawowa skala empiryczna do oceny intensywności drgań. Stopnie intensywności skali podstawowej $GSI_{GZWKW-2012-V}$ przedstawiono na rysunku 3.

Skala $GSI_{GZWKW-2012V}$ wykorzystuje dobrą zgodność obserwowanych skutków opisanych dla poszczególnych

stopni intensywności z pomierzonymi parametrami drgań, co potwierdza podstawy teoretyczne bezpośredniej korelacji parametru prędkości drgań z odkształceniami i naprężeniami odpowiedzialnymi za uszkodzenia elementów niekonstrukcyjnych budynków.

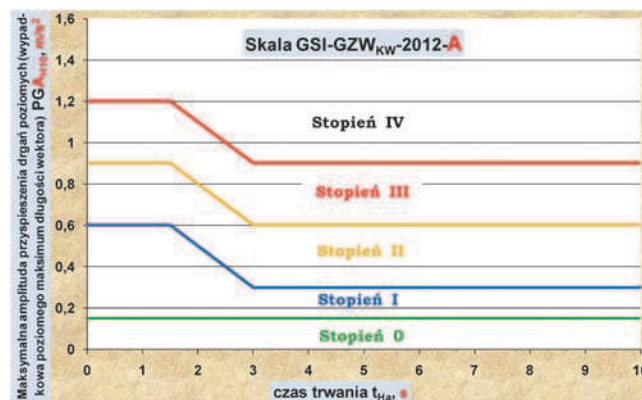
b) $GSI_{GZWKW-2012-A}$ – skala oparta na parametrach: maksymalnej wartości wypadkowego przyspieszenia drgań poziomych gruntu w paśmie niskich częstotliwości do 10 Hz PGA_{H10} oraz czasu ich trwania t_{Ha} , stosowana do przybliżonej oceny intensywności drgań w przypadku informacji archiwalnych, dla których dysponuje się tylko wartością maksymalnego przyspieszenia drgań w paśmie niskoczęstotliwościowym do 10 Hz. Skala $GSI_{GZWKW-2012A}$ stosowana jest w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. jako skala pomocnicza [2]. Stopnie intensywności skali pomocniczej $GSI_{GZWKW-2012-A}$ przedstawiono na rysunku 4.

Skala $GSI_{GZWKW-2012}$ odnosi się do budynków o dobrym i złym stanie technicznym występujących w obszarze GZW (budynki o konstrukcji: tradycyjnej, murowej, szkieletowo-murowej, szkieletowej, wielkoblokowej, wielkopłytowej) – nieprzekraczające 12 kondygnacji. W opisie stopni oddziaływania drgań na budynki uwzględniono stan techniczny budynku.



Rys. 3. Stopnie intensywności według skali $GSI_{GZWKW-2012-V}$ (skala podstawowa) [2]

Fig. 3. Degrees of intensity according to $GSI_{GZWKW-2012-V}$ scale (basic scale) [2]



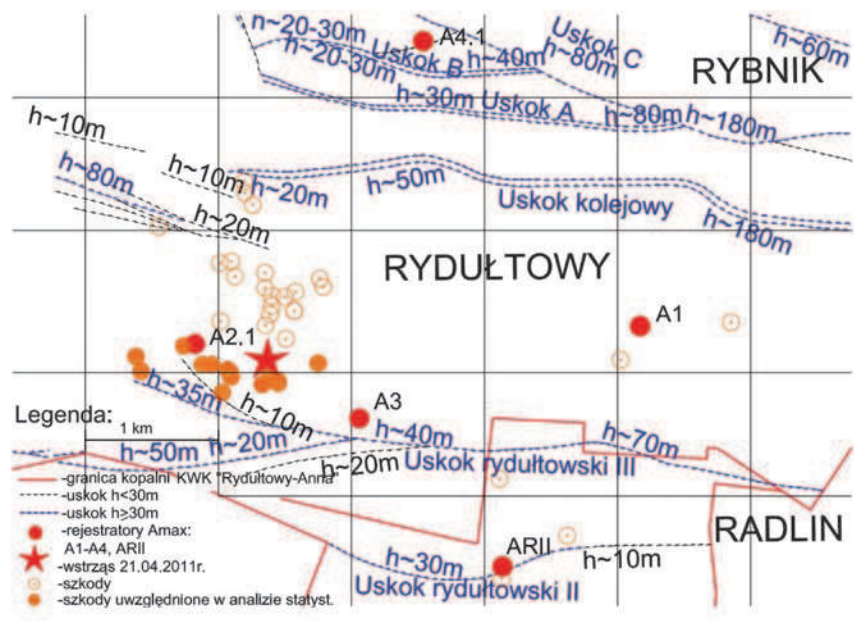
Rys. 4. Stopnie intensywności według skali $GSI_{GZWKW-2012-A}$ (skala pomocnicza) [2]

Fig. 4. Degrees of intensity according to $GSI_{GZWKW-2012-A}$ scale (auxiliary scale) [2]

4. Powierzchniowy system monitoringu na terenie KWK „Rydułtowy – Anna”

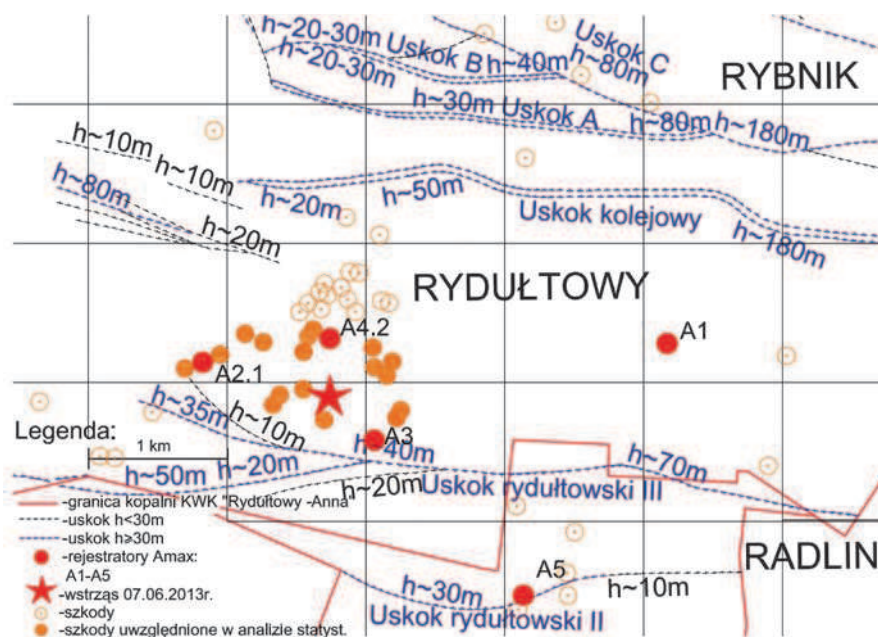
Kopalnia „Rydułtowy – Anna” powstała w 2004 roku w wyniku połączenia dwóch kopalń KWK „Rydułtowy” i KWK „Anna”. W grudniu 2011 została zamknięta pszowska część kopalni „Anna”. W wyniku połączenia kopalni został również połączony system monitoringu powierzchniowego. Do października 2005 roku kopalnia posiadała czujniki typu WORS i Amax.

Od października 2005 r. KWK „Rydułtowy – Anna” ma 5 stanowisk do pomiaru przyśpieszeń drgań gruntu typu Amax.. Utworzona w ten sposób sieć pomiarowa stanowi monitoring sejsmiczny zapewniający prowadzenie ciągłych rejestracji zjawisk dynamicznych indukowanych działalnością górnictwem [6]. Lokalizacja czujników ulega zmianie w czasie i jest dostosowywana do aktualnie prowadzonej eksploatacji. Na rysunku 5 przedstawiono lokalizację czujników w 2011 r. na tle lokalnej tektoniki, a na rysunku 6 lokalizację czujników w 2013 r. na tle lokalnej tektoniki.



Rys. 5. Lokalizacja szkód górniczych po wstrząsie z dn.21.04. 2011 r. na tle lokalnej tektoniki (opracowanie autorów na podstawie mat. arch. KWK „Rydułtowy – Anna”)

Fig. 5. Location of mining damages after the tremor from 21 April 2011, and local tectonics (own calculations based on the archives of “Rydułtowy-Anna” coal mine)



Rys. 6. Lokalizacja szkód górniczych po wstrząsie z dn. 7.06.2013 r. na tle lokalnej tektoniki (opracowanie autorów na podstawie mat. arch. KWK „Rydułtowy – Anna”)

Fig. 6. Location of mining damages after the tremor from 7 June 2013, and local tectonics (own calculations based on archives of “Rydułtowy-Anna” coal mine)

Aparatura AMAX-GSI jest wielokanałową cyfrową aparaturą sejsmometryczną do rejestracji prędkości i przyspieszeń drgań na powierzchni. Wbudowane w sprzęt oprogramowanie do interpretacji sejsmogramów napisane jest w środowisku Windows i umożliwia wygodną i szybką obsługę graficzną oraz analizę danych i ocenę wpływu wstrząsów na obiekty budowlane w oparciu o skalę GSI (nowa skala górnicza opracowana dla wstrząsów z obszaru LGOM i GZW) oraz w oparciu o skalę MSK-64, SWD i DIN-4150 (skale do analizy wstrząsów, strzelań ładunkami MW oraz wibracje przemysłowe). Aparatura AMAX-GSI może pracować samodzielnie w terenie lub współpracować na odległość z biurem (modemowa lub radiowa transmisja danych pomiarowych z terenu). Aparatura ma 16-bitową kartę przetwornika AC, która zapewnia dużą dynamikę i w konsekwencji powoduje nieprzesterowywanie drgań od nawet najsilniejszych wstrząsów górniczych. Częstotliwość próbkowania rejestrowanych zjawisk ustawiana jest opcjonalnie przez użytkownika.

System może być w łatwy sposób przeinstalowywany w różne miejsca, zgodnie z potrzebami i rozwojem sejsmiczności lokalnej w mieście. Oprogramowanie interpretacyjne umożliwia samodzielną analizę wstrząsów przez użytkownika. Aparatura AMAX-GSI działa na zasadzie czuwania i zapisywania wszystkich zjawisk po przekroczeniu ustawionego programowo przez użytkownika progu drgań. W pamięci może być zapisanych wiele tysięcy zjawisk sejsmicznych, co umożliwia ciągły monitoring ryzyka sejsmicznego przez kilka miesięcy.

5. Statystyczna analiza wpływu uskoku Rydułtowskiego na szkody górnicze

Analizę statystyczną szkód górniczych, przeprowadzono dla wysokoenergetycznych wstrząsów, które wystąpiły w dniu 21.04.2011 i 7.06.2013. (tab. 1 i tab. 2) Pierwszy wstrząs wystąpił 21 kwietnia 2011 roku, energia wstrząsu wyniosła $1,00 E10^8$ J. Liczba zgłoszonych uszkodzeń wyniosła 78. Drugi analizowany wstrząs z dnia 07.06.2013 r. miał energię $8,1 E10^7$ J, a liczba zgłoszeń uszkodzeń wyniosła 70. W żadnym przypadku w dniu wizji lokalnej, po wymienionych wstrząsach, nie stwierdzono uszkodzeń stwarzających zagrożenie bezpieczeństwa użytkownika lub utrudnień w użytkowaniu. Zarówno w budynkach użyteczności publicznej, jak i w budynkach osób fizycznych. Nie stwierdzono także zagrożenia bezpieczeństwa dla osób i mienia w budynkach. Stwierdzone uszkodzenia w przeważającej części można zakwalifikować do II i I stopnia uszkodzeń według skali GSI-GZW_{KW}. Stwierdzono również znaczne powiększenia istniejących uszkodzeń i zarysowań, które wystąpiły wcześniej, na skutek wpływu deformacji ciągłych podziemnej eksploatacji górniczej. Do dalszej analizy brane były pod uwagę tylko te szkody, które mają bezpośredni związek przyczynowo-skutkowy z zaistniałym wstrząsem i zostały zweryfikowane w terenie przez specjalistów i inspektorów ds. szkód górniczych KWK „Rydułtowy – Anna”. Oględziny budynków zostały potwierdzone stosownymi dokumentami. W artykule w analizie statystycznej zostały uwzględnione szkody, które wystąpiły najbliżej uskoku Rydułtowskiego. Ich liczba była największa. Pozostałe szkody powiązane zostały z innymi uskokami, do których odległość była bliższa.

Tabela 1. Parametry opisujące wstrząs z dnia 21.04.2011 r.
Table 1. Parameters of the tremor which occurred on 21 April 2011

L.p.	L.p. Wg Prot.	Miejscowość	Przyspieszenie, mm/s ²	Odległość od epicentrum, m	Odległość od najbliższego uskoku, m	Nazwa najbliższego uskoku
1	I.1	Rydułtowy	780	205	250	Rydułtowski III
2	I.2	Rydułtowy	700	350	500	Rydułtowski III
3	I.3	Rydułtowy	740	95	400	Rydułtowski III
4	I.6	Radlin	50	2400	-950	Rydułtowski III
5	I.8	Radlin	90	2530	-750	Rydułtowski III
6	I.9	Rydułtowy	110	1950	-220	Rydułtowski III
7	II.1.2	Rydułtowy	1040	450	110	Rydułtowski III
8	II.1.4	Rydułtowy	950	340	300	Rydułtowski III
9	II.1.5	Rydułtowy	1180	990	50	Rydułtowski III
10	II.1.8	Rydułtowy	700	170	330	Rydułtowski III
11	II.1.9	Rydułtowy	980	340	290	Rydułtowski III
12	II.2.6	Rydułtowy	1015	455	310	Rydułtowski III
13	II.3.1	Rydułtowy	930	190	280	Rydułtowski III
14	II.3.3	Rydułtowy	930	525	260	Rydułtowski III
15	II.3.8	Rydułtowy	1145	330	310	Rydułtowski III
16	II.3.9	Rydułtowy	885	1020	150	Rydułtowski III
17	II.4.1	Rydułtowy	860	670	350	Rydułtowski III

Tabela 2. Parametry opisujące wstrząs z dnia 7.06.2013 r.**Table 2. Parameters of the tremor which occurred on 7 June 2013**

L.p.	L.p. Wg Prot.	Miejscowość	Przyspieszenie, mm/s ²	Odległość od epicentrum, m	Odległość od najbliższego uskoku, m	Nazwa najbliższego uskoku
1.	1.	Rydułtowy	570	415	270	Rydułtowski III
2.	2.	Rydułtowy	565	360	360	Rydułtowski III
3.	3.	Rydułtowy	400	505	830	Rydułtowski III
4.	5.	Rydułtowy	220	1590	-240	Rydułtowski III
5.	8.	Rydułtowy	460	380	650	Rydułtowski III
6.	10.	Rydułtowy	570	200	370	Rydułtowski III
7.	18.	Rydułtowy	420	520	700	Rydułtowski III
8.	22.	Rydułtowy	250	1280	-50	Rydułtowski III
9.	27.	Rydułtowy	450	765	680	Rydułtowski III
10.	36.	Rydułtowy	470	440	600	Rydułtowski III
11.	38.	Rydułtowy	460	380	630	Rydułtowski III
12.	44.	Rydułtowy	450	630	660	Rydułtowski III
13.	47.	Rydułtowy	530	1070	290	Rydułtowski III
14.	48.	Rydułtowy	490	850	480	Rydułtowski III
15.	49.	Rydułtowy	570	500	300	Rydułtowski III
16.	59.	Rydułtowy	550	515	380	Rydułtowski III
17.	60.	Rydułtowy	400	470	790	Rydułtowski III
18.	64.	Rydułtowy	610	165	190	Rydułtowski III
19.	67.	Rydułtowy	420	470	800	Rydułtowski III

Do badań statystycznych brano pod uwagę dwie zmienne: odległość od najbliższego uskoku - d i przyspieszenie gruntu w miejscu posadowienia uszkodzonego budynku - a . Jako miarę uszkodzenia obiektu przyjęto wartość przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia obiektu. Wyjściowymi danymi dla każdego wstrząsu były pomierzone wartości wypadkowego przyspieszenia drgań poziomych aparaturą AMAX-GSI. Do statystycznej analizy brane były pod uwagę tylko szkody przed uskokiem, od strony nadchodzącej fali sejsmicznej z epicentrum wstrząsu.

Miarą w jakim stopniu zmienne są ze sobą współzależne jest współczynnik korelacji. Najczęściej stosowanym współczynnikiem korelacji jest współczynnik Pearsona. Można go jednak stosować do zmiennych, które mają rozkład normalny. Do badania normalności rozkładu zmiennych zastosowano test Shapiro-Wilka, który wykazał, że z prawdopodobieństwem 95% można uznać zmienne za mające rozkład normalny [14]. W związku z tym zastosowano współczynnik korelacji Pearsona.

Przeprowadzono analizę korelacji osobno dla każdego wstrząsu z dnia 21.04.2011 r. i z dnia 7.06.2013 r. w KWK „Rydułtowy – Anna” (tab. 3).

Tabela 3. Macierz korelacji dla zmiennych dla wstrząsu z dnia 21.04.2011 r.**Table 3. Matrix of correlation for variables of the tremor from 21 April 2011**

Zmienne	d	a
d	1	-0,64
a	-0,64	1

W wyniku obliczeń uzyskano statystycznie istotny współczynnik korelacji $R = |0,64|$ dla poziomu istotności 0,05 (tab.4). W celu sprawdzenia istotności współczynnika korelacji na zadanym poziomie istotności zastosowano metodę testowania hipotez (test t - Studenta). Okazało się, że współczynnik korelacji jest istotny. Czyli z prawdopodobieństwem 95% obie zmienne, czyli a - przyspieszenie drgań gruntu, mm/s² w miejscu posadowienia budynku i d - odległość uszkodzonego budynku od najbliższego uskoku, m są ze sobą powiązane.

Tabela 4. Macierz korelacji dla zmiennych dla wstrząsu z dnia 7.06.2013 r.**Table 4. Matrix of correlation for variables of the tremor from 7 June 2013**

Zmienne	d	a
d	1	-0,97
a	-0,97	1

W wyniku obliczeń uzyskano statystycznie istotny współczynnik korelacji $R = |0,97|$ dla poziomu istotności 0,05 (tab.3). W celu sprawdzenia istotności współczynnika korelacji na zadanym poziomie istotności zastosowano metodę testowania hipotez (test t - Studenta). Okazało się, że współczynnik korelacji jest istotny. Czyli z prawdopodobieństwem 95% obie zmienne, czyli a - przyspieszenie drgań gruntu, mm/s² w miejscu posadowienia budynku i d - odległość uszkodzonego budynku od najbliższego uskoku, m są ze sobą powiązane.

6. Podsumowanie

W artykule przeprowadzono statystyczną analizę korelacji powiązania udokumentowanych uszkodzeń budynków po wystąpieniu wysokoenergetycznych wstrząsów z lokalną tektoniką na terenie KWK „Rydułtowy – Anna”. Do analizy posłużyły pomiary przyspieszeń drgań gruntu wywołane wstrząsami pomierzone na minimum trzech stanowiskach typu AMAX zgodnie z wytycznymi skali GSI-GZW-KW-A. Analizę przeprowadzono osobno dla każdego wstrząsu z dnia 21.04.2011 r. i z dnia 7.06.2013 r. W wyniku obliczeń uzyskano statystycznie istotny współczynnik korelacji z prawdopodobieństwem 95%. Jako miarę uszkodzenia obiektu przyjęto wartość przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia obiektu. Brano pod uwagę przyspieszenie drgań gruntu w miejscu posadowienia uszkodzonego budynku i odległość uszkodzonego budynku od uskoku Rydułtowskiego III. Oczywiście na uszkodzenia budynków mają wpływ inne czynniki, nie tylko lokalna tektonika, niemniej jednak rozpoznanie możliwego wpływu stref nieciągłości na szkody górnicze jest sprawą bardzo ważną. Przede wszystkim z powodu możliwości korekt planów zagospodarowania przestrzennego na terenach górniczych, gdzie dotychczas nie uwzględniano stref nieciągłości oraz możliwego wpływu lokalnej tektoniki na uszkodzenia obiektów na powierzchni, po wystąpieniu wysokoenergetycznego wstrząsu.

Literatura

1. *Dubiński J. et al.*: Górnicza Skala Intensywności GSI-GZW do oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w Zakładach Górniczych Kompanii Węglowej na obiekty budowlane i na ludzi. Seminarium o stosowaniu GSI-2005, Kraków 2008.
2. *Dubiński J., Mutke G., Tatara T., Muszyński L., Barański A., Kowal T.*: Zasady stosowania zweryfikowanej Górniczej Skali Intensywności Drgań GSI_{GZW-KW}-2012 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w zakładach górniczych Kompanii Węglowej S.A. na obiekty budowlane i ludzi. GIG, Katowice 2013.
3. *Idziak A.F., Teper L., Zuberek W.M.*: Sejsmiczność a tektonika Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. Uniw. Śląskiego, Katowice 1999.
4. *Gibowicz S.J.*: Seismicity induced by mining. *Adv. Geophysics*. [Academic Press] 32, 1990 s.1-74.
5. *Maciąg E.*: Wstrząsy górnicze i ich wpływ na budynki. Materiały VII Sympozjum „Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowlę” Kraków 1994, s. 34-48.
6. *Majcherczyk T., Olechowski S.*: Oddziaływanie wstrząsów wywołanych eksploatacją w KWK „Rydułtowy-Anna” na obiekty powierzchniowe według skali GSI-GZW-KW-V. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” 2010, nr 10.
7. *Pilecka E., Piątkowska A., Stec K., Buła Z., Pilecki Z., Król M.*: Związki lineamentów z sejsmicznością indukowaną na terenach górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2006.
8. *Pilecka E., Szermer-Zaucha R.*: Statystyczna analiza wpływu lokalnej tektoniki związanej z wysokoenergetyczną sejsmicznością na szkody w obiektach budowlanych na terenie KWK „PIAST”. „Przeгляд Górnicy” 2012, nr 3, s. 86-98.
9. *Pilecka E., Szermer-Zaucha R.*: Analiza rozkładu szkód górniczych po wysokoenergetycznych wstrząsach z dnia 21 kwietnia 2011 r. i 7 czerwca 2013 r. w kopalni „Rydułtowy – Anna” na tle lokalnej tektoniki. *Górnictwo i Zagrożenia Naturalne* 2013. GIG, Katowice 2013, s. 353-367
10. *Tatara T.*: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
11. *Teisseyre R.*: Indukowana sejsmiczność i wstrząsy pochodzenia eksploatacyjnego. W: *Fizyka i ewolucja wnętrza Ziemi.2*, PWN, Warszawa 1983, s. 254-260.
12. *Zembaty Z.*: Zastosowanie normy sejsmicznej „Eurokod 8” w projektowaniu budowli narażonych na działanie wstrząsów sejsmicznych. Materiały XII Sympozjum „Wpływy sejsmiczne i parasejsmiczne na budowlę”, Politechnika Krakowska, Kraków 2009.
13. *Zuberek W.M.*: Geofizyczne modele wstrząsów indukowanych na powierzchni uskoku eksploatacją górniczą. W: „*Geologia*”. T.12/13. Red. Ł.K. Karwowski. Uniwersytet Śląski, Katowice 1993, s.79-98.

strony internetowe:

14. http://www.naukowiec.org/wiedza/statystyka/test-shapiro-wilka_758.html