

# Analiza wpływu wysokoenergetycznego wstrząsu z dnia 29.01.2015 roku w KWK „Rydułtowy-Anna” i lokalnej tektoniki na szkody górnicze w budynkach

Analysis of the impact of the high-energy tremor from 29 January 2015 in „Rydułtowy-Anna” coal mine and local tectonics on mining damage in buildings



Dr hab. inż. Elżbieta Pilecka\*)



Mgr inż. Renata Szermer-Zaucha\*\*)

**Treść:** W artykule przeprowadzono statystyczną analizę wpływu uskoku Rydułtowskiego na szkody górnicze spowodowane wstrząsem z dnia 29.01.2015 r. w KWK „Rydułtowy-Anna”. Wstrząs nie spowodował zasadniczo skutków w wyrobiskach górniczych, lecz był silnie odczuwalny na powierzchni. Przeważająca liczba zgłaszanych szkód dotyczy budynków jednorodzinnych, a szkody mają podobny charakter niezależnie od wieku budynku, zabezpieczenia na oddziaływania górnicze i technologii budowy. Większość szkód można zakwalifikować do I i II stopnia według skali GSI-GZW<sub>KW</sub>. Obliczono współczynnik korelacji, który okazał się statystycznie istotny, między przyspieszeniem, prędkością drgań gruntu w miejscu zaistniałej szkody a odległością od uskoku Rydułtowskiego. Obliczenia przeprowadzono programem STATISTICA. Do obliczeń brano rzeczywiste dane pomiarowe z czujników zainstalowanych na terenie KWK „Rydułtowy-Anna”. Uzyskane wyniki świadczą o wpływie lokalnej tektoniki na szkody górnicze, występujące po wysokoenergetycznych wstrząsach na terenie KWK „Rydułtowy-Anna”.

**Abstract:** This paper presents a statistical analysis of the influence of fault Rydułtowy mining damage caused by the tremor from 29 January 2015 in the KWK „Rydułtowy-Anna”. The tremor did not cause fundamentally the effects of mining excavations, but was strongly felt on the surface. An overwhelming number of reported damages applies to single-family houses and are similar in nature, regardless of the age of the building, the security of the impact of mining and construction technology. The damage can be largely classified as the first and second degree on the GSI-GZW<sub>KW</sub> scale. The calculated correlation coefficient proved to be statistically significant in acceleration, velocity, vibrations of the ground at the site of the damage sustained, and the distance from the fault Rydułtowy. The actual measurement data taken from the sensors installed in the KWK „Rydułtowy-Anna” were processed by the use of STATISTICA. The results testify to the influence of local tectonics mining damage occurring after the high-energy tremor in KWK „Rydułtowy-Anna”.

## Słowa kluczowe:

eksploatacja węgla kamiennego, wstrząsy indukowane, szkody górnicze w budynkach

## Key words:

hard coal exploitation, induced tremors, mining damage in buildings

## 1. Wprowadzenie

Jednym z czynników mających wpływ na koszt wydobycia tony węgla w Polsce są szkody górnicze. W sytuacji polskich kopalń ważnym jest więc problem minimalizacji szkód górniczych, w tym szkód górniczych występujących po wysokoenergetycznych wstrząsach górotworu. Głównymi

przyczynami powstawania szkód górniczych są przekroczenia stanów granicznych nośności oraz stanów granicznych przydatności do użytkowania tak w elementach konstrukcyjnych, jak i w elementach drugorzędnych i wykończeniowych są między innymi: niedokładność prognozy wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu, niewystarczająca dokładność oceny statycznej i dynamicznej odporności obiektów budowlanych na wpływ oddziaływań górniczych, niewystarczający monitoring i kontrola zachowania się

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

obiektów podczas zaistnienia wpływów górniczych i brak zabezpieczenia lub niedostateczne zabezpieczenie istniejących konstrukcji.

Ze względu na szkody górnicze spowodowane drganiami ważnym jest prawidłowe określenie przyspieszeń drgań gruntu i prędkości drgań gruntu w trakcie eksploatacji i po jej zakończeniu. Jednym z czynników mających wpływ na wartość przyspieszenia drgań gruntu jest budowa tektoniczna. Profesor Ciesielski w latach 70. ubiegłego wieku w swoich pracach, już zwracał uwagę na to ważne zagadnienie [1]. Autorki od kilku lat zajmują się problemem wpływu lokalnej tektoniki na szkody górnicze.

Zaistniałe szkody górnicze po wysokoenergetycznych wstrząsach nie zawsze są w zgodzie ze skalą GSI-GZW<sub>KW</sub> z tego powodu autorki w analizach statystycznych i obliczeniach wykorzystują jedynie rzeczywiste dane pomiarowe ze stacji po zaistniałym wstrząsie.

## 2. Charakterystyka terenu poddanego wpływom wstrząsów górniczych z KWK „Rydułtowy-Anna” z dnia 29.01.2015

### 2.1. Położenie administracyjne i geograficzne złoża KWK „Rydułtowy-Anna”

Złoże węgla kamiennego KWK „Rydułtowy-Anna” znajduje się w południowo-zachodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w województwie śląskim. Obejmuje swoim zasięgiem miasta: Rybnik, Rydułtowy, Pszów, Radlin oraz gminy: Gaszowice, Lyski, Jejkowice. Obszar KWK „Rydułtowy-Anna” położony jest na Wyżynie Śląskiej. Wchodzi w skład jednostki morfologicznej zwanej Kotliną Raciborsko-Oświęcimską.

### 2.2. Ukształtowanie terenu KWK „Rydułtowy-Anna”

Obszar miasta jest położony na Płaskowyżu Rybnickim. Falista powierzchnia płaskowyżu wznosi się w Rydułtowach na wysokość około 285 ÷ 301 m n.p.m. i jest rozczłonkowana licznymi, na ogół krótkimi dolinami o znacznym nachyleniu, wciętymi w podłoże na głębokość sięgającą 30 m. Odmienny charakter mają jedynie dolina Nacyny oraz dolny odcinek doliny Potoku Rydułtowskiego – stosunkowo szerokie i płytkie.

W północnej części miasta wyraźnie zaznacza się górna krawędź wierzchowiny Płaskowyżu Rybnickiego. Przebieg krawędzi płaskowyżu, a także głównych garbów jego wierzchowiny, nawiązuje do przedczwartorzędowej rzeźby podłoża, a ta z kolei – do równoleżnikowej rozciągłości struktur zrębowych w górotworze karbońskim.

Środkową część Płaskowyżu Rybnickiego na obszarze miasta rozcina generalnie równoleżnikowa dolina Potoku Rydułtowskiego oraz Nacyny [10].

Rzeźba powierzchni miasta jest w znacznym stopniu przekształcona antropogenicznie, w niektórych miejscach wielokrotnie. Obniżenia dolinne i rozdzielające je garby są zdeformowane wskutek długotrwałej podziemnej eksploatacji węgla kamiennego, jednak wielkopromienne odkształcenia nie spowodowały zaniku żadnego z naturalnych elementów rzeźby. Występują hałdy odpadów pogórnicych – czynne i nieczynne, wyrobiska po eksploatacji odkrywkowej kopalni, w większości przypadków zasypane, nasypy i wkopy oraz powierzchnie zrównania. Największy obszar głębokich antropogenicznych zmian rzeźby obejmuje około 94 ha w rejonie ujścia Potoku Rydułtowskiego do Nacyny. Doliny cieków zostały tu zupełnie przeobrażone i częściowo zasypane wskutek budowy kopalni oraz linii kolejowej i jej tunelu.

Tereny sąsiednie, zajęte przez obiekty zakładu głównego KWK „Rydułtowy – Anna” oraz szybu Leon III, zostały zrównane pod zabudowę (na terenie szybu Leon III zasypano porzuconą odkrywkę gliny, a część terenu nadsypano skalą płoną zrównując usypaną wcześniej hałdę) [10].

### 2.3. Zagospodarowanie terenu złoża KWK „Rydułtowy-Anna”

Teren złoża jest w znacznym stopniu zurbanizowany, a tylko niewielki procent powierzchni zajmują pola uprawne, nieużytki i lasy. Zabudowa terenu jest zróżnicowana i nierównomierna.

Zabudowa zwarta i wielokondygnacyjna typu osiedlowego występuje na terenie miast. Na pozostałym terenie przeważa zabudowa jednorodzinna. Są to budynki jedno- i dwukondygnacyjne zlokalizowane wzdłuż głównych dróg i ulic.

Na obszarze górniczym KWK „Rydułtowy-Anna” są zlokalizowane zakłady przemysłowe oraz obiekty użyteczności publicznej takie jak kościoły, obiekty służby zdrowia, szkolnictwa, administracji, obiekty handlu itp. Przez omawiany teren przebiegają linie kolejowe, w tym tunel o długości 727 m i gęsta sieć dróg, a także obiekty liniowe uzbrojenia terenu.

Rydułtowy leżą 9 km na południowy zachód od Rybnika w powiecie wodzisławskim. Rydułtowy są miastem górniczym. Zakład wydobywczy kopalni „Rydułtowy-Anna” znajduje się w centralnej części miasta. Południowozachodnia część miasta znajduje się w obrębie obszaru górniczego kopalni „Anna”. Wpływy eksploatacji górniczej obejmują około 75 % powierzchni miasta, a stożkowa hałda odpadów kopalnianych jest jedną z największych w Europie.

W mieście występuje zabudowa zarówno jednorodzinna jak i wielorodzinna. Zabudowa jednorodzinna to budynki jedno i dwukondygnacyjne. Budynki wielorodzinne to budynki do pięciu kondygnacji. W centrum zabudowa tradycyjna, zwarta lub częściowo zwarta o charakterze miejskim. Występuje również zabudowa typu osiedlowego. Są to budynki do pięciu kondygnacji nadziemnych. Obiekty te zostały wzniesione w okresie od końca XIX w. do dnia dzisiejszego. Technologia budownictwa zróżnicowana w zależności od charakteru zabudowy i okresu czasu, z jakiego pochodzą. Na analizowanym terenie występują również budynki użyteczności publicznej. Są to w szczególności budynki oświaty, budynki administracji, budynki i obiekty sportu i rekreacji, budynki sakralne, obiekty handlowe. Znajdują się tutaj również budynki i obiekty o charakterze przemysłowym, w tym budynki i obiekty inżynierskie kopalni „Rydułtowy-Anna”.

Budynki jednorodzinne wzniesione są jako wolnostojące, często z towarzyszącą zabudową zagrodową. Opisana zabudowa wznoszona była w technologii tradycyjnej lub tradycyjnej ulepszonej oraz metodami uprzemysłowionymi [7].

## 3. Budowa geologiczna- tektoniczna złoża

### 3.1. Budowa geologiczna Rydułtów

Podłoże skalne Rydułtów, istotne z punktu widzenia działalności człowieka, stanowią utwory górnego karbonu, neogenu i czwartorzędu.

Osady karbońskie reprezentują głównie osady serii paralicznej (namur A) – warstwy gruszowskie, jakłowieckie i porębskie. Fałdowania i nasunięcia w obrębie osadów karbonu, o przebiegu zbliżonym do kierunku północ – południe (NNE – SSW), związane są z waryscyjskimi ruchami górotwórczymi [10].

W profilu warstw jakłowieckich stwierdzono około 30 pokładów i wkładek węgla. Udokumentowanych jest 9 pokładów węgla. Bezpośrednio pod utworami neogenu stwierdzono je w rejonie Pszowa, Radlina i Niedobczyc.

Warstwy porębskie wykształcone są w postaci naprzemianległych łupków ilastych, mułowcowych i piaszczystych oraz piaskowców. Zawierają około 50 pokładów i wkładek węgla kamiennego, z czego 26 udokumentowanych. Miąższość pokładów na ogół nie przekracza 1,5 m. Osady warstw porębskich wypełniają zasadniczą część niecki jejkowickiej

i są szeroko rozpowszechnione na obszarze miasta. Występują pod cienką pokrywą osadów neogeńskich lub czwartorzędowych. W rejonie szybów Leon oraz dalej ku północy – w kierunku Jekowic, w stropie karbonu występują czerwonepiaste gruboziarniste piaskowce i zlepińce zaliczane do dolnej części warstw siodłowych (warstwy jejkowickie). Nie odsłaniają się na powierzchni terenu. Jest to dolne ogniwo górnośląskiej serii piaskowcowej.

Ukształtowanie powierzchni utworów karbońskich jest silnie urozmaicone. Powierzchnia stropu karbonu ma charakter erozyjny, warunkowany budową zrębową, powstałą wskutek strzaskania górotworu licznymi uskokami podczas alpejskich ruchów górotwórczych. Zrzuty uskoków sięgają do 200 m. Zręby tektoniczne mają przebieg prawie równoleżnikowy. We wschodniej części miasta strop karbonu gwałtownie obniża się ku osi głębokiego rozcięcia erozyjnego w rejonie Rzuchowa [10].

**3.2. Tektonika złoże**

Złoże posiada strukturę fałdowo-uskokową. Głównym elementem złoże jest niecka o osi zapadającej się w kierunku północnym. Skrzydło zachodnie nachylone jest od kilku stopni do 15°. Lokalnie przy zachodniej granicy do ok. 60°/E. Skrzydło wschodnie nachylone jest 8-10°/NW. Utwory karbońskie pocięte są licznymi uskokami. Dominują dwa zasadnicze kierunki ich przebiegu: południkowy i równoleżnikowy. Większość stwierdzonych uskoków ma przebieg równoleżnikowy – prostopadły do biegu osi niecki. Są to uskoki normalne o zróżnicowanych zrzutach dochodzących do

około 200 m. Płaszczyzny uskokowe tworzą strefy zaburzeń tektonicznych dochodzących niekiedy do 300 m szerokości. Nachylenie płaszczyzn uskokowych jest zmienne i waha się najczęściej w granicach 45÷85°.

**Tablica 1. Większe uskoki równoleżnikowe**

**Table 1. Major latitudinal faults**

Uskok	Zrzut
- uskok piecowski	h=60-150 m na północ
- uskok beacki I	h=20-60 m na południe
- uskok beacki II	h=30-50 m na południe
- uskok C	h=10-180 m na południe
- uskok B	h=20-80 m na południe
- uskok A	h=15-30 m na południe
- uskok kolejowy	h=20-280 m na północ
- uskok rydułtowski III	h=30-70 m na południe
- uskok rydułtowski II	h=10-70 m na południe
- uskok rydułtowski I	h=20-130 m na południe
- uskok czernicki III	h=20-100 m na północ
- uskok czernicki II	h=10-100 m na południowy - zachód
- uskok czernicki I	h=10-140 m na północ

Uskoki o przebiegu południkowym występują głównie w południkowej części złoże (tabl. 3).

Największe z nich to:

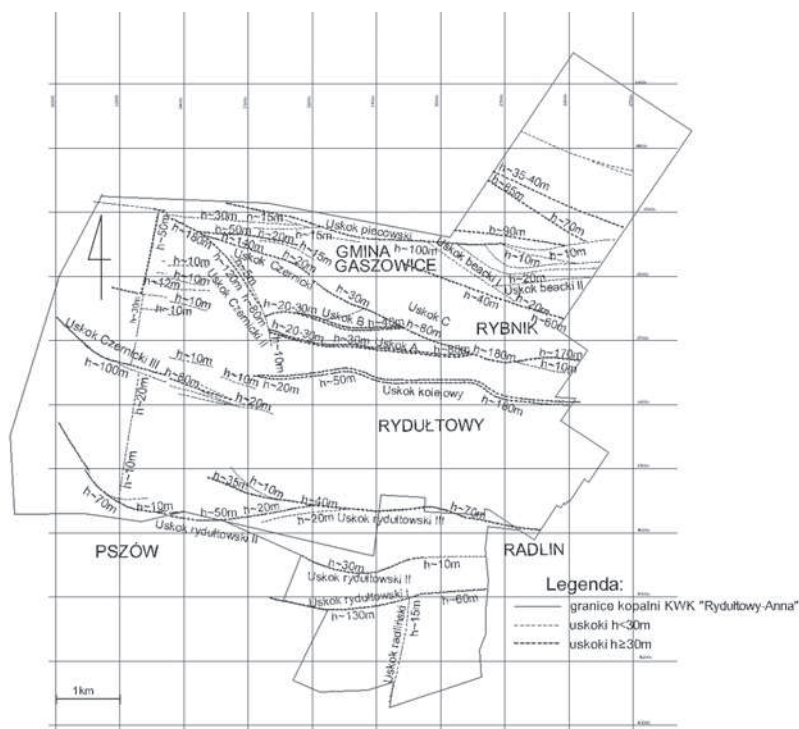
**Tablica 2. Uskoki o przebiegu południowym**

**3) Table 2. Meridional faults**

Uskok	Zrzut
- uskok radliński I	h=10-20 m na zachód
- uskok radliński III	h=15 m na zachód
- uskoki kokoszyckie II-IV	h=10-20 m na zachód

W złoże występuje ponadto wiele uskoków o mniejszym zasięgu i zrzutach od kilkudziesięciu centymetrów do kilku metrów, na ogół różnie zorientowane tzw. uskoki pokładowe, utrudniające prowadzenie robót [4].

Lokalną tektonikę w KWK „Rydułtowy – Anna” pokazano na rysunku 1.



**Rys. 1. Tektonika na obszarze KWK „Rydułtowy-Anna” [4]**

**Fig. 1. Tectonis in the area of „Rydułtowy-Anna” coal mine [4]**

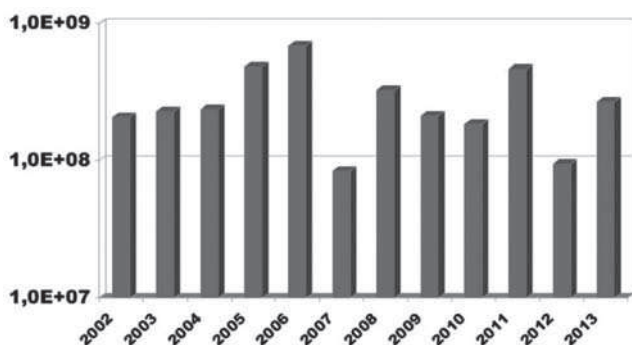
#### 4. Powierzchniowy system monitoringu na terenie KWK „Rydułtowy-Anna”

Podziemnej eksploatacji górniczej towarzyszy emisja silnych wstrząsów górniczych. Dotyczy to w szczególności eksploatacji w takiej sytuacji geologicznej, kiedy nad eksploatowanym pokładem występują skały o dużej wytrzymałości, takie jak grube ławy dolomitów czy piaskowców. Występowanie tych skał stanowi istotny element w rozwoju deformacji górotworu prowadzącej do kumulowania się znacznych energii. Wstrząsy górnicze są rejestrowane przez kopalnianą sieć sejsmologiczną [9].

Wysokoenergetyczne wstrząsy indukowane w KWK „Rydułtowy-Anna” powodują wiele szkód na powierzchni terenu szczególnie w rejonie miast Rydułtów i Radlina. Głównymi czynnikami generującymi te wysokoenergetyczne wstrząsy są: duża głębokość eksploatacji, zaleganie warstw jasklowieckich i porębskich wśród grubych i mocnych wstrząsogennych warstw piaskowców i mułowców, silne zaangażowanie tektoniczne górotworu, nieckowata budowa złoża – synklina Jejkowicka oraz zaszczości eksploatacyjne [3].

W trakcie eksploatacji pokładów od 2002 roku zarejestrowano stosunkowo dużo wstrząsów, a ich sumaryczna roczna energia często przekraczała poziom  $1 \times 10^8$  J (rys. 1).

Oddziaływania wstrząsów na powierzchnię terenu w mieście Rydułtowy i okolicy już w latach 2004 ÷ 2006 było bardzo duże [12], co obrazuje rysunek 2.



Rys. 2. Roczna sumaryczna energia wstrząsów zarejestrowanych od 2002 roku [5]

Fig. 2. Annual total energy of tremors recorded since 2002 [5]

Ważnym elementem metody sejsmologicznej jest geometria bazy pomiarowej, która powinna stanowić sieć przestrzenną zapewniającą odpowiednią obserwację rejonu potencjalnego występowania ognisk wstrząsów. W warunkach KWK „Rydułtowy Anna” 32 stanowiska pomiarowe rozmieszczone na głębokości od 400 m do 1200 m, zapewniają dokładną lokalizację zaistniałych wstrząsów [5].

Od października 2005 r. KWK „Rydułtowy-Anna” posiada 5 stanowisk do pomiaru przyspieszeń drgań gruntu typu Amax. Utworzona w ten sposób sieć pomiarowa stanowi monitoring sejsmiczny zapewniający prowadzenie ciągłych rejestracji zjawisk dynamicznych indukowanych działalnością górniczą [3].

Lokalizacja czujników ulega zmianie w czasie i jest dostosowywana do aktualnie prowadzonej eksploatacji. Na rysunku 3 przedstawiono aktualną lokalizację czujników na tle na tle lokalnej tektoniki.

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 poprzez skalę GSI.

Aparatura AMAX-GSI może pracować samodzielnie w terenie lub współpracować na odległość (modemowa lub radiowa transmisja danych pomiarowych z terenu). Aparatura posiada 16 bitową kartę przetwornika AC, która zapewnia dużą dynamikę i w konsekwencji powoduje nie przesterowanie 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 progowo przez użytkownika rejestrowanych zjawisk drgań. W pamięci może być zapisanych wiele tysięcy zjawisk sejsmicznych, co umożliwia ciągły monitoring ryzyka sejsmicznego przez kilka miesięcy [8].

Związek pomiędzy magnitudą  $M$  a energią  $E$  wstrząsu dla warunków KWK „Rydułtowy-Anna” został określony w sposób statystyczny na podstawie ponad 900 wysokoenergetycznych wstrząsów górotworu. W przypadkach zarejestrowania wstrząsów o energii powyżej  $1 \times 10^5$  J ich energia jest weryfikowana przy wykorzystaniu zależności

$$\log E = 1,9 + 1,9M \quad (1)$$

Energia najsilniejszych wstrząsów weryfikowana jest ponadto poprzez sieci sejsmologiczne KWK „Marcel” oraz KWK „Jas-Mos” [5].

#### 5. Wstrząs z dnia 29.01.2015 roku i opis uszkodzeń po wstrząsie

##### 5.1. Charakterystyka wstrząsu

W dniu 29.01.2015 r. o godz. 9<sup>36</sup> wystąpił wysokoenergetyczny wstrząs o energii  $6,8 \times 10^7$  J, 200 m przed frontem górnej części ściany w pokładzie 706 w wyrobisku III-E1. Epicentrum wstrząsu zlokalizowano w rejonie ulicy Bohaterów Warszawy i ulicy Narutowicza w Rydułtowych. Epicentrum wstrząsu wystąpiło pomiędzy uskokiem rydułtowskim III, a uskokiem kolejowym. Odległość epicentrum od uskoku rydułtowskiego III wynosi około 950 m, a od uskoku kolejowego około 1600 m (tabl. 3).

Tablica 3. Dane ze stanowisk pomiarowych dla wstrząsu z dnia 29.01.2015 r.

Table 3. Data from measuring sites for the tremor from 29 January 2015

Stanowisko pomiarowe	GSI –A1)		GSI-V1)		Odległość od epicentrum m
	PGA mm/s <sup>2</sup>	tHa s	PGV mm/s	tHv s	
A <sub>max</sub> 1	541,2	1,68	20,5	2,13	1 276
A <sub>max</sub> 2.2	33,4	4,8	2,2	4,74	2 869
A <sub>max</sub> 3	395,6	2,42	15,2	3,2	1 104
A <sub>max</sub> 4.2	474,7	1,57	19,5	2,01	1 153
A <sub>max</sub> 5	brak	brak	brak	brak	1 854

<sup>1)</sup> Zgodnie ze skalą GSI-GZW<sub>kw</sub> (2008) [4]

Magnituda podana ze stacji sejsmologicznej Instytutu Geofizyki PAN w Raciborzu wyniosła 3,0. Energia obliczona

z magnitudy wynosi  $3,98 \times 10^7 J$  co daje odchylenie 41,31% i prędkość 36,6 [mm/s].

Na podstawie danych ze stacji pomiarowych sporządzono izolinie przyspieszeń PGA i prędkości PGV zgodnych ze skalą GSI-GZW<sub>KW</sub> (2008) przy użyciu programu SURFER 11 (rys. 3).

## 5.2. Szkody w budynkach po wysokoenergetycznym wstrząsie z dnia 29.01.2015 roku

Po wstrząsie do kopalni wpłynęły 22 zgłoszenia telefoniczne o uszkodzeniach budynków. Pięć zgłoszeń z Wodzisławia Śląskiego i Radlina, z uwagi na lokalizację, zgodnie z podziałem terenu na obszary odpowiedzialności, zostały przesłane do KWK „MARCEL” w celu dalszego załatwienia i nie są objęte analizą. Ponadto przeglądem objęto 10 budynków użyteczności publicznej (tabl. 4).

Zgłoszenia zostały poddane weryfikacji, przez wyspecjalizowaną kadrę inżyniersko – techniczną KWK „Rydułtowy-Anna”, co pozwala na prawidłową ocenę przyczynowo-skutkową zaistniałych uszkodzeń i zakwalifikowanie ich do powstałych w wyniku zaistniałego wysokoenergetycznego wstrząsu. Dlatego też do dalszej analizy autorki biorą pod uwagę tylko te szkody, które mają bezpośredni związek przyczynowo-skutkowy z zaistniałym wstrząsem i zostały zweryfikowane przez specjalistów i inspektorów ds. szkód górniczych KWK „Rydułtowy-Anna”.

W dniach 29 i 30.01.2015 r. pracownicy sekcji szkód górniczych KWK „Rydułtowy-Anna” dokonali wizji lokalnych w obiektach i budynkach, dla których dokonano zgłoszeń w związku z zarejestrowanym wstrząsem. Ponadto przeglądem objęto 10 obiektów użyteczności publicznej. Porównywano stan budynków na podstawie porównania stanu przed i po wstrząsie co zostało potwierdzone stosownymi dokumentami.

Stwierdzono, w przypadku budynków użyteczności publicznej, że wystąpiły minimalne i nieznaczne powiększenia istniejących uszkodzeń, takich jak: pęknięcia ścian i zarysowań tynków w budynkach: Z.O.Z Wodzisław Śląski Szpital Miejski ul. Plebiscytowa, Szkoła Podstawowa nr 1 i nr 3, Budynek Przedszkola nr 1, Zespół Szkolno- Przedszkolny nr 2. Stwierdzono także nieznaczne powiększenie istniejących drobnych zarysowań na dzwonnicy w parafii p.w. Bożego Ciała i św. Barbary, zarysowania tynków na sklepieniu bocznym nad chórem powstałe wcześniej w parafii św. Jerzego. W żadnym z obiektów nie stwierdzono uszkodzeń o charakterze konstrukcyjnym.

W budynkach jednorodzinnych stwierdzono: odczucia wstrząsu, uszkodzenia elementów wykończeniowych, tj. zarysowania i drobne pęknięcia tynków wewnętrznych i zewnętrznych oraz wypraw gipsowych, niewielkie powiększenie istniejących wcześniej uszkodzeń w postaci tynków ścian, stropów, w narożach oraz wzdłuż stopek dźwigarów stalowych.

Na podstawie porównania materiałów archiwalnych, a także oględzin w budynkach osób fizycznych, jak i użyteczności publicznej można stwierdzić, że uszkodzenia nie stwarzają bezpieczeństwa w ich użytkowaniu.

Dla każdej ze szkód wyinterpolowano wartości PGA i PGV na podstawie opracowanych izolinii. Badania wykazały, że anizotropia prędkości propagującej fali sejsmicznej może zależeć od uprzywilejowania pewnych kierunków w górotworze [11]. Takie uprzywilejowane kierunki są związane z ukierunkowaniem spękań, a efektem tego jest anizotropia właściwości sprężystych górotworu. W szczególności anizotropia prędkości fal sejsmicznych charakteryzuje się tym, że prędkość fal w kierunku prostopadłym do biegu spękań jest mniejsza niż w kierunku równoległym. Praktyczne

badania potwierdzają taką zależność. Biorąc pod uwagę, że z uskokiem związana jest strefa spękań w górotworze można się spodziewać anizotropii prędkości fal sejsmicznych po wystąpieniu wysokoenergetycznego wstrząsu zdeterminowanej lokalną tektoniką. Taka anizotropia będzie miała wpływ na obiekty budowlane znajdujące się w strefie epicentralnej [1].

Tablica 4. Budynki objęte przeglądem po wstrząsie z dnia 29.01.2015 r. w Rydułtowach

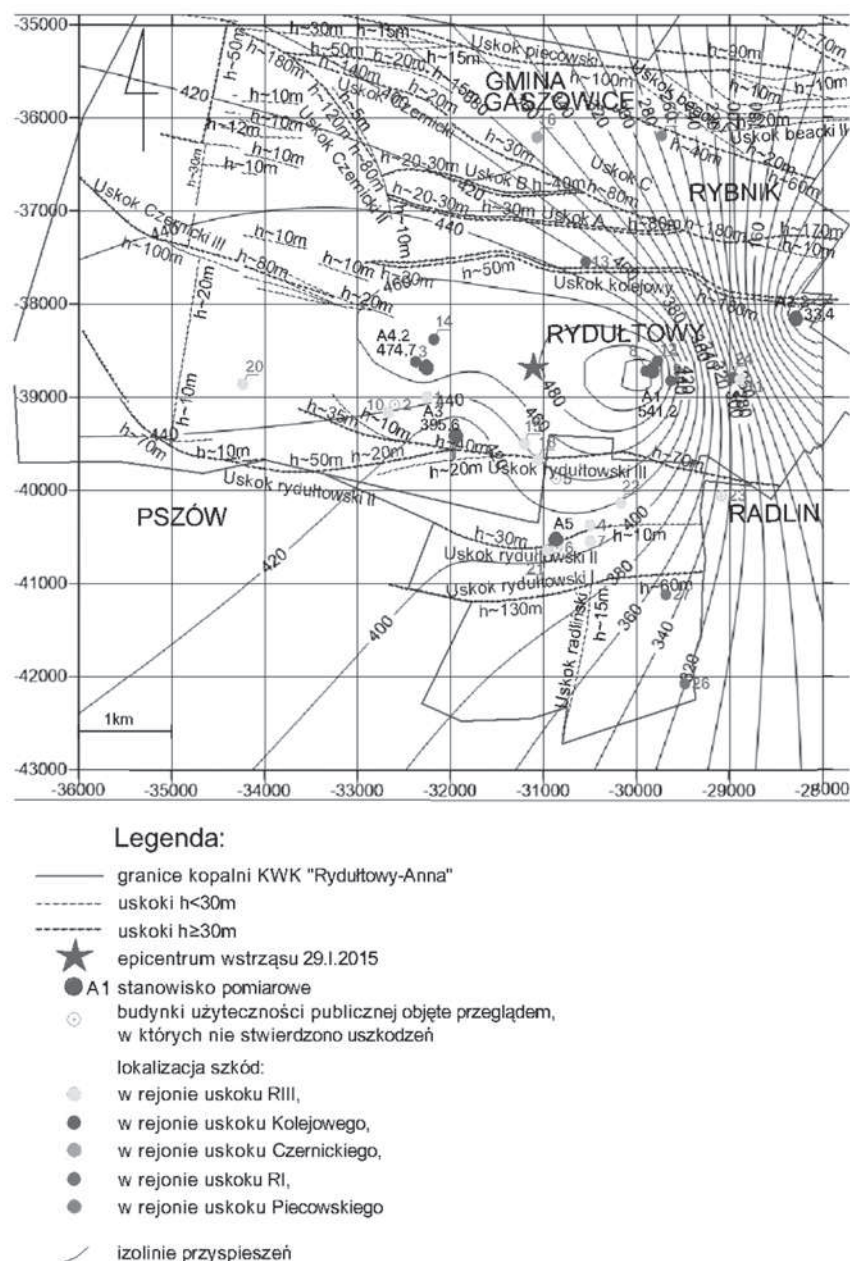
Table 4. Buildings under review after the tremor from 29 January 2015 in Rydułtowy

	L.p.	PGA mm/s <sup>2</sup>	PGV mm/s	Odległość od epicentrum m	Odległość od najbliższego uskuoku m	Nazwa Najbliższego Uskuoku
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Obiekty użyteczności publicznej	1	445	18	1185	510	RIII
	2	440	18	1544	385	RIII
	3	465	19	1276	1055	K
	4	410	16	1793	746	RIII
	5	435	17	1211	225	RIII
	6	405	15	1944	965	RIII
	7	405	15	1955	916	RIII
	8	520	19	1206	1066	K
	9	480	18	1482	1145	K
	10	440	18	1633	296	RIII
Zgłoszenia telefoniczne	11	260	11	2219	1065	RIII
	12	510	19	1329	947	K
	13	425	17	1270	72	K
	14	470	19	1118	799	K
	15	440	17	815	140	RIII
	16	370	15	2482	317	C
	17	275	11	2855	692	P
	18	440	17	979	12	RIII
	19	280	12	4544	1249	P
	20	445	18	3134	659	RIII
	21	405	15	1963	991	RIII
	22	420	16	1724	546	RIII
	23	330	13	2436	197	RIII
	24	270	11	2148	853	K
	25	-	-	5018	-	C
	26	320	12	3752	1178	RI
	27	350	13	2811	212	RI

## 6. Statystyczna analiza wpływu uskuoku Rydułtowskiego III na szkody górnicze

Oddziaływanie wstrząsów indukowanych górnictwem eksploatacją na powierzchnię jest niezwykle skomplikowane. Jednym z czynników jest tektonika złoża. Przeprowadzono analizę statystyczną szkód górniczych, dla zaistniałego wstrząsu.

Do badań statystycznych brano pod uwagę dwie zmienne: odległość od najbliższego uskuoku –  $d$  i przyspieszenie gruntu w miejscu posadowienia uszkodzonego budynku –  $a$  (PGA) lub prędkość –  $v$  (PGV). Jako miarę uszkodzenia obiektu przyjęto wartość przyspieszenia oraz prędkości drgań gruntu w miejscu posadowienia obiektu. Wyjściowymi danymi dla każdego wstrząsu były pomierzone wartości wypadkowego przyspieszenia drgań poziomych lub wypadkowej prędkości drgań poziomych aparaturą AMAX-GSI. Do analizy statystycznej wzięto pod uwagę szkody górnicze w budynkach przypisane do uskuoku rydułtowskiego RIII (najmniejsza



Rys. 3. Mapa rozmieszczenia szkód w budynkach i izolinii przyspieszeń wyznaczonych na podstawie wartości ze stanowisk pomiarowych dla wstrząsu z 29.01.2015 roku na tle tektoniki w KWK „Rydułtowy – Anna”  
 Fig. 3. Damage distribution map of the buildings and isolines of accelerations indicated on the basis of values from measuring sites for the tremor from 29 January 2015 in the background of „Rydułtowy-Anna” coal mine

odległość szkody do uskoku). Skrajne wartości odrzucono. 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. Analizowane zmienne nie mają rozkładu normalnego. Zastosowano więc do obliczeń współczynnik korelacji Spearmana odpowiedni także do małych prób. Statystyczne powiązanie udokumentowanych uszkodzeń budynków po wystąpieniu wysokoenergetycznego wstrząsu w dniu 29 stycznia 2015 roku w KWK „Rydułtowy-Anna” z lokalną tektoniką dało pozytywne rezultaty. Wykazano statystycznie istotny związek w postaci współczynnika korelacji między tymi zmiennymi. Wartość współczynnika korelacji wynio-

śla:  $R = |0,74|$  z prawdopodobieństwem 95 % dla PGA i  $R = |0,74|$  z prawdopodobieństwem 95 % dla PGV. Istotność współczynnika korelacji sprawdzono metodą testowania hipotez z pozytywnym, rezultatem. Świadczy to o powiązaniu z prawdopodobieństwem 95 % uszkodzeń obiektów z odległością do najbliższego uskoku (tabl. 5, 6).

Tablica 5. Macierz korelacji dla zmiennych dla wstrząsu z dnia 29.01.2015 r.

Table 5. Correlation matrix for variables for the tremor from 29 January 2015

Zmienne	d	a (PGA)
d	1	- 0,74
a (PGA)	- 0,74	1

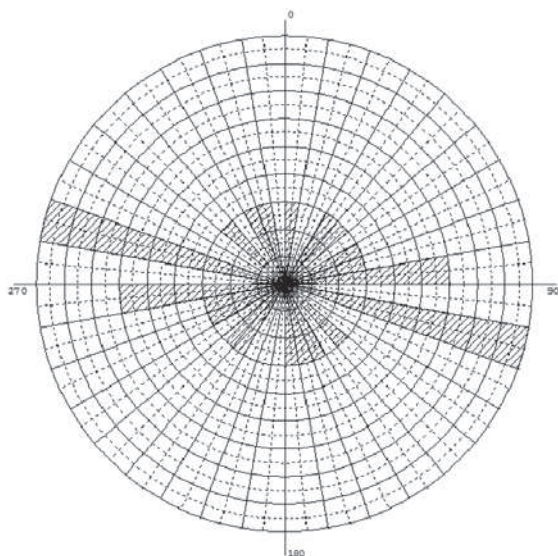
**Tablica 6. Macierz korelacji dla zmiennych dla wstrząsu z dnia 29.01.2015 r.**

**Table 6. Correlation matrix for variables for the tremor from 29 January 2015**

Zmienne	d	v (PGV)
d	1	- 0,74
v (PGV)	- 0,74	1

### 7. Analiza kierunkowości szkód po wysokoenergetycznym wstrząsie z dnia 29.01.2015 w KWK „Rydułtowy-Anna”

Przeprowadzono statystyczną analizę kierunkowości szkód górniczych powstałych po wysokoenergetycznym wstrząsie. W celu wyznaczenia kierunkowości szkód określono azymuty prostej łącząc ze sobą dwie najbliższe położone szkody górnicze. Łączenie wykonano z warunkiem najbliższej odległości od siebie. Proste wyznaczono metodą graficzną w programie AUTOCAD. Odległość pomiędzy uszkodzeniami określono z dokładnością do 1,0 m, a azymut z dokładnością do 1 stopnia. Jak można zauważyć z analizy statystycznej rozety dominującym kierunkiem rozkładu szkód górniczych po wysokoenergetycznym wstrząsie z dnia 29.01.2015 roku jest kierunek zbliżony do równoleżnikowego W-E (rys. 4). Na rozrzut, szkód poza dominującym kierunkiem mogą mieć wpływ warunki losowe w miejscu występowania szkody. Przykładowo można wymienić: warunki geotechniczne, tektonika, ukształtowanie terenu, odkształcenie terenu na skutek eksploatacji, poziom posadowienia budynku, konstrukcja budynku, stan techniczny budynku, a także subiektywny czynnik ludzki przy zgłaszaniu odczucia wstrząsu i szkód niższego stopnia. Dominujący kierunek rozkładu statystycznego szkód górniczych w budynkach po wysokoenergetycznym wstrząsie z dnia 29.01.2015 roku jest zbliżony do dominującego kierunku uskoków w KWK „Rydułtowy-Anna” (zbliżony do W-E) (rys.4). Świadczy to o możliwym wpływie lokalnej tektoniki na rozrzut szkód górniczych po wysokoenergetycznych wstrząsach (rys. 5). Wniosek z przeprowadzonej analizy potwierdza wcześniejsze analizy po innych wysokoenergetycznych wstrząsach przeprowadzanych przez autorki.



**Rys. 4. Diagram kierunkowy szkód górniczych po wysokoenergetycznym wstrząsie z dnia 29.01.2015 r. w KWK „Rydułtowy-Anna”**

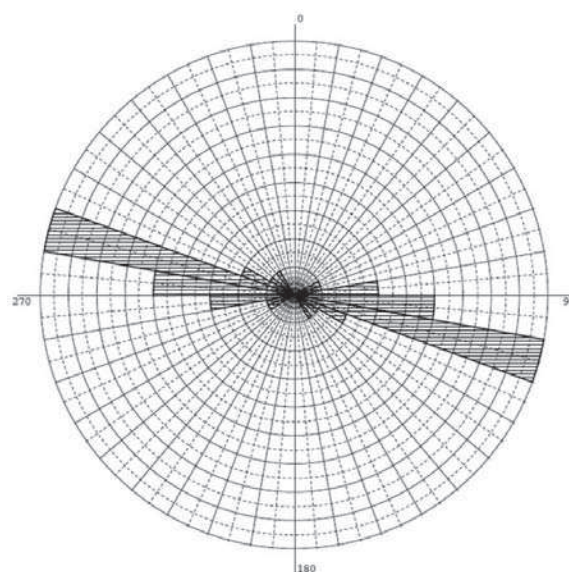
**Fig. 4. Directional diagram of mining damage after the high-energy tremor from 29 January 2015 in „Rydułtowy-Anna” coal mine**

### 8. Podsumowanie

W artykule przeprowadzono statystyczną analizę związku udokumentowanych uszkodzeń budynków po wystąpieniu wysokoenergetycznych wstrząsów z lokalną tektoniką na terenie KWK „Rydułtowy-Anna”. Do analizy posłużyły pomiary przyspieszeń drgań gruntu i prędkości drgań gruntu wywołane wstrząsem z dnia 29.01.2015 r. pomierzone na stanowiskach typu AMAX zgodnie z wytycznymi skali GSI-GZW<sub>KW</sub>. W wyniku obliczeń uzyskano statystycznie istotny współczynnik korelacji  $R = |0,74|$  z prawdopodobieństwem 95% dla uskoku Rydułtowskiego III. Jako miarę uszkodzenia obiektu przyjęto wartość przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia obiektu lub prędkości drgań gruntu. Brano pod uwagę przyspieszenie lub prędkość drgań gruntu w miejscu posadowienia uszkodzonego budynku i odległość uszkodzonego budynku od uskoku Rydułtowskiego III. Uzyskane wyniki pozwalają sądzić, że istnieje związek pomiędzy uszkodzeniem budynku, a jego odległością od najbliższego uskoku o dużym zrzucie powyżej 30 m lub większym. Niewątpliwie wpływ na rozmieszczenie szkód ma również samo położenie epicentrum w stosunku do uskoku, co jest przedmiotem dalszych badań. Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze przeprowadzone przez autorki analizy dla innych wysokoenergetycznych wstrząsów.

Oczywistym jest, że na uszkodzenia budynków mają wpływ inne czynniki nie tylko lokalna tektonika, niemniej jednak rozpoznanie możliwego wpływu stref nieciągłości na szkody górnicze w budynkach po wysokoenergetycznych wstrząsach 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.

Dla przyspieszeń drgań gruntu i prędkości uzyskano analogiczne współczynniki korelacji. Świadczy to o wpływie lokalnej tektoniki na szkody górnicze, które wystąpiły po wysokoenergetycznym wstrząsie. W wyniku statystycznej analizy kierunkowości lokalnej tektoniki na obszarze KWK „Rydułtowy-Anna” można stwierdzić, że dominującym



**Rys. 5. Diagram kierunkowy uskoków na obszarze KWK „Rydułtowy-Anna” [ 7]**

**Fig. 5. Directional diagram of faults in the area of „Rydułtowy-Anna” coal mine**

kierunkiem uskoków jest kierunek zbliżony do równoleżnikowego. Analizując diagram kierunkowy szkód górniczych można stwierdzić ich podobieństwo do diagramu kierunkowego azymutów lokalnej tektoniki KWK „Rydułtowy-Anna”.

Generalnie można stwierdzić, że kierunek azymutów prostych łączących dwie najbliższe sobie położone szkody górnicze jest zbliżony do dominującego kierunku tektoniki w KWK „Rydułtowy-Anna”. Ponadto należy liczyć się z możliwością wystąpienia szkód w znacznych odległościach od epicentrum w pobliżu uskoków tektonicznych. Wnioski wynikające z tych analiz, potwierdzone także na obszarze kopalni KWK „Piast” [1], powinny być brane pod uwagę przy projektowaniu budynków i w planach zagospodarowania przestrzennego.

## Literatura

1. *Ciesielski R.*: Ocena szkodliwości wpływów dynamicznych w budownictwie, Warszawa, Wydawnictwo PZiTB 1973
2. *Dubiński J., Mutke G., Tatara T., Muszyński L., Barański A., Kowal T.*: Zasady stosowania zweryfikowanej Górniczej Skali Intensywności Drgań GSI<sub>GZWKW</sub>-2012 do prognozy i oceny skutków oddziaływania wstrząsów indukowanych eksploatacją złóż węgla kamiennego w zakładach górniczych Komapanii Węglowej S.A. na obiekty budowlane i ludzi. GIG Katowice 2013.
3. *Majcherczyk T., Olechowski S.*: Oddziaływanie wstrząsów wywołanych eksploatacją W KWK „Rydułtowy-Anna” na obiekty powierzchniowe według skali GSI-GZWKW-V. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 10 2010.
4. Materiały archiwalne KWK „Rydułtowy-Anna”.
5. *Olechowski S.*: Analiza wpływu wstrząsów górotworu spowodowanych eksploatacją KWK „Rydułtowy-Anna” na obiekty powierzchniowe. Materiały Międzynarodowej Konferencji XI Szkoła Geomechaniki 2013, 390÷400.
6. *Pilecka E., Szermer-Zaucha R.*: Analiza lokalnej tektoniki w powiązaniu z uszkodzeniami budynków wynikającymi z wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu w dniu 9 lutego 2010 roku w KWK „Piast”. Prace Naukowe GIG nr 4/2/2011, 366÷382.
7. *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. Górnicze Zagrożenia Naturalne 2013. GIG Katowice 2013, 353÷367
8. *Pilecka E., Szermer-Zaucha R.*: Analiza wpływu uskoku Rydułtowskiego na szkody górnicze spowodowane wstrząsami z dnia 21.04.2011 i 07.06.2013 lokalnej tektoniki w powiązaniu z uszkodzeniami budynków wynikającymi z wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu w dniu 9 lutego 2010 roku w KWK „Piast”. Przegląd Górniczy nr 6/2014, 60÷66.
9. *Popiołek E., Marczak H., Krawczyk A.*: Możliwości wykorzystania satelitarnej interferometrii radarowej InSAR w monitorowaniu zagrożeń górniczych, Materiały Sympozjum Warsztaty 2006 nt. Zagrożenia naturalne w górnictwie, 2006, 339÷352
10. Rydułtowy. Opracowanie Ekofizjograficzne. Biuro Rozwoju Regionu Sp. z o.o., Katowice 2012, aktualizacja 2013  
[http://www.cieplownia.rydułtowy.pl/uploads/pub/pages/page\\_349/text\\_images/1\\_opracowanie\\_ekofizjograficzne\\_2013.pdf](http://www.cieplownia.rydułtowy.pl/uploads/pub/pages/page_349/text_images/1_opracowanie_ekofizjograficzne_2013.pdf)
11. *Stan-Kłeczek I.*: Wykorzystanie metod statystycznych w badaniach wpływu spękań na anizotropię prędkości fal sejsmicznych. Katedra Geologii Stosowanej U.Śl. [www.statsoft.pl/czytelnia.html](http://www.statsoft.pl/czytelnia.html) 2009
12. *Tatara T.*: Odporność dynamiczna obiektów budowlanych w warunkach wstrząsów górniczych, Kraków, Wydawnictwo PK. 2012