



## Rola tektoniki w oddziaływaniu na powierzchnię wysokoenergetycznej sejsmiczności w GZW

### Tectonics in the influence on the surface of high-energy seismic activity in the Upper Silesian Coal Basin

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

**Treść:** Artykuł jest próbą zwrócenia uwagi na rolę tektoniki w skutkach na powierzchni terenu spowodowanych wysokoenergetyczną sejsmicznością indukowaną na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Liczne badania wykazały, że rozkład sejsmiczności indukowanej w GZW jest dwumodalny, co jest już powszechnie wykazane w sejsmologii górniczej [16, 10, 11, 12, 13, 27, 6, 4, 2, 3, 5 14]. Moda wysokoenergetyczna jest reprezentowana przez wstrząsy wysokoenergetyczne, powstające w wyniku współdziałania naprężeń eksploatacyjnych z naprężeniami tektonicznymi. Uskoki w GZW, zwłaszcza te, które wykazują naprężenia tektoniczne, mogą być potencjalnymi miejscami wystąpienia wysokoenergetycznego wstrząsu. Zatem można określić rejony będące potencjalnymi rejonami epicentralnymi wysokoenergetycznych wstrząsów. Tektonika powoduje także zaburzenia rozchodzenia się fali sejsmicznej ze źródła wstrząsu. W artykule przeanalizowano oddziaływanie uskoku rydułtowskiego na przykładzie wstrząsu w KWK „Rydułtowy” z dnia 22.02.2013 roku.

**Abstract:** This paper is an attempt to attract one's attention to the role of tectonics in the influence on the surface caused by high-energy induced seismic activity in the area of the Upper Silesian Coal Basin (USCB). Number of studies demonstrate that the distribution of induced seismic activity in the USCB is bimodal which is already proved in mining seismology [16, 10, 11, 12, 13, 27, 6, 4, 2, 3, 5 14]. The high-energy mode is represented by high-power tremors occurring as the result of "cooperation" between exploitation stress and tectonic stress. The faults in USCB, especially those of tectonic stress-related nature, may be potential locations of high-energy tremor occurrence. Thus, it is possible to locate the areas with potential epicenters of the high-energy tremors. Tectonics also leads to the disturbance in seismic wave propagation from the epicenter. This paper analyzes the influence of Rydułtowy fault on the example of the tremor in "Rydułtowy" from 22 February 2013.

#### Słowa kluczowe:

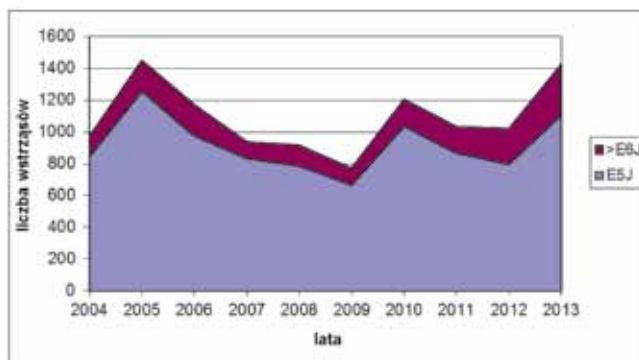
wysokoenergetyczne wstrząsy, szkody górnicze, tektonika, górnictwo węgla kamiennego

#### Key words:

high-energy tremors, mining damage, tectonics, hard coal mining

## 1. Wprowadzenie

Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW) należy do jednych z najbardziej aktywnych sejsmicznie rejonów górniczych na świecie. Intensywność oddziaływania niektórych wstrząsów w GZW jest porównywalna z małymi trzęsieniami Ziemi. Wstrząsy wysokoenergetyczne są jednym z zagrożeń dla budownictwa i infrastruktury na powierzchni terenu. Niskoenergetyczne wstrząsy występujące w bezpośrednim otoczeniu wyrobisk górniczych nie stanowią większego zagrożenia dla powierzchni terenu ze względu na tłumienie energii przez górotwór. Wysokoenergetyczne wstrząsy będą się nadal pojawiać w rejonie GZW ze względu na trudniejsze i głębsze obszary eksploatacji węgla, a także na bardziej skomplikowane warunki wydobycia. Aktualnie obserwuje się nawet wzrost liczby wstrząsów wysokoenergetycznych w GZW (rys. 1).



Rys. 1. Rozkład ilościowo-energetyczny wysokoenergetycznych wstrząsów w latach 2004÷2013 w GZW [25]

Fig. 1. Quantity and energy distribution of high-energy tremors between 2004 and 2013 in the USCB

\*) Politechnika Krakowska

Podział na wysoko- i niskoenergetyczne wstrząsy jest umowny. Przyjmuje się że wstrząsy powyżej energii większej lub równej  $10^5$ J są uznawane jako wysokoenergetyczne. Podstawą takiego podziału wstrząsów są wieloletnie doświadczenia i prace naukowe. Liczne badania wykazały, że rozkład sejsmiczności indukowanej w GZW jest dwumodalny, co jest już powszechnie wykazane w sejsmologii górniczej [16, 10, 11, 12, 13, 27, 6, 4, 2, 3, 5 14]. Moda wysokoenergetyczna jest reprezentowana przez wstrząsy wysokoenergetyczne, powstające w wyniku współdziałania naprężeń eksploatacyjnych z naprężeniami tektonicznymi. Analizując przyczyny występowania sejsmiczności GZW w aspekcie ochrony obiektów budowlanych na powierzchni terenu można stwierdzić, że aktualnie nie ma wiarygodnej metody przewidywania wysokoenergetycznych wstrząsów regionalnych. Ze względu na możliwość indukowania wysokoenergetycznych wstrząsów na uskokach ważne jest poznanie tektoniki GZW i uwzględnianie uskoku w planach zagospodarowania terenu. Z punktu widzenia ochrony powierzchni terenu interesująca jest zatem tektonika rejonów, gdzie występuje sejsmiczność indukowana. Mechanizm geomechaniczny silnego wstrząsu polega na aktywowaniu pracami górniczymi przesunięcia na istniejącym uskoku. Ten typ mechanizmu wstrząsu jest powszechny w trzęsieniach ziemi. Podobna sytuacja jest w przypadku silnych wstrząsów spowodowanych pękaniem nadległej grubej warstwy w stropie nad eksploatowanym pokładem. Tego rodzaju sytuacja jest dość częsta w GZW. W warunkach geologicznych GZW występują nad eksploatowanymi pokładami grube kompleksy warstw piaskowcowo-łłowcowo-mułowcowych o dużej zdolności do akumulowania energii sprężystej. Przy poślizgu następuje przeskok układu do nowego stanu równowagi. W tej sytuacji wydziela się energia sejsmiczna charakteryzującego się mechanizmem poślizgowym wstrząsu. Modelem górotworu naruszonego – przedstawionego jako zespołu bloków w strefie powyżej zawału bezpośredniego – zajmował się także Kidybiński [9]. Bloki te powstawały w wyniku utraty podparcia przez określony pakiet skał, a sam proces ich tworzenia posiada pewną regularność i poprzedzony jest powstawaniem szczelin podłużnych wzdłuż uławicenia. Model fazowego niszczenia górotworu naruszonego eksploatacją ścianową przedstawił Drzewiecki [1], a model niszczenia skał stropowych będących źródłem intensywnych zjawisk dynamicznych Walaszczyk i in.[26]. Wstrząsy wysokoenergetyczne wywołane rozwojem pęknięcia w górotworze generalnie mają charakter poślizgu w strefie osłabienia między blokami skalnymi. Jeżeli kierunek tego procesu jest równoległy do biegu dużych uskoku, można się spodziewać najsilniejszych wstrząsów [22].

Tektonika powoduje także zaburzenia rozchodzenia się fali sejsmicznej ze źródła wstrząsu. Uskok występuje w górotworze w formie mocno spękanych stref. Fala sejsmiczna biegnąca ze źródła wstrząsu może być na takiej strefie spowolniona. Uskoki mogą także stanowić powierzchnię odbijającą fale sejsmiczną.

## 2. Rola uskoku w uszkodzeniach w zabudowie na powierzchni spowodowanych silnymi wstrząsami.

GZW jest to jednostka geologiczno-złożowa, której granice wyznaczone są górnokarbońskimi utworami węglowymi. Utwory te zwane są również karbonem produktywnym. Spąg tych utworów wyznacza kształt i zasięg GZW. Tektonika GZW została utworzona w wyniku ruchów waryscyjskich i częściowo odmłodzona w wyniku ruchów alpejskich. Według Kotasa [15] w obszarze zagłębia można wydzielić trzy różne strefy o różnej strukturze karbońskich utworów węglonośnych.

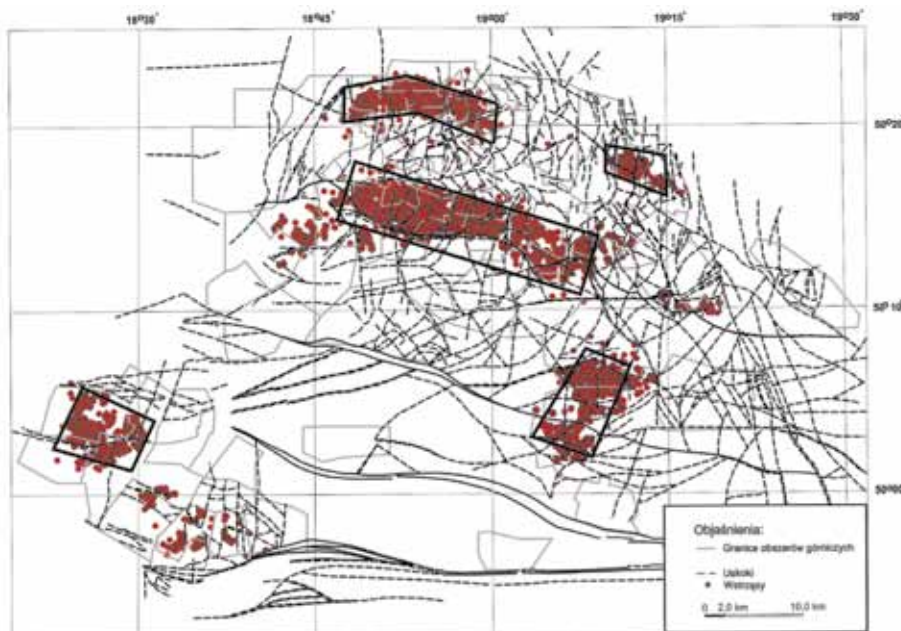
Strefa tektoniki fałdowej obejmuje zachodnią część GZW, do nasunięcia orłowsko-boguszowskiego na wschodzie. Równoległe do niego biegnie nasunięcie michałkowicko-rybnickie. W kierunku północnym oba nasunięcia przechodzą w szereg wachlarzowato ułożonych stromych nasunięć i uskoku odwróconych oddzielających struktury antyklinalne i synklinalne. Strefa tektoniki dysjunktywnej zajmuje przeważającą część obszaru GZW. Główną jednostką strukturalną jest w tej strefie niecka główna. Obejmuje ona obszar południowej i centralnej części GZW, aż do linii Ruda Śląska – Katowice – Jaworzno. Obszar niecki głównej pocięty jest gęstą siecią uskoku o zróżnicowanych przebiegach. Uskoki o subrównoleżnikowym przebiegu mają duże amplitudy zrzutu (od 300 do 1000 m) i przeważnie regionalny zasięg. Najważniejszy z nich to uskok kłodnicki znajdujący się na południu od Katowic i Zabrze, uskok książęcy, uskok Zawady, dalej na południe strefa uskoku jawiszowickich i dalej w kierunku południowym strefa uskoku Bzie – Czechowice. Powyższe strefy uskoku o subrównoleżnikowym przebiegu mają założenia waryscyjskie odmłodzone w trakcie ruchów alpejskich. Strefa tektoniki fałdowo-blokowej zajmuje północny i północno-wschodni obszar Zagłębia, gdzie występują niesymetryczne fałdy i łuski pocięte uskokami o kierunku południowym, a struktury tektoniczne tej strefy mają kierunek północno-zachodni – południowo-wschodni.

Analizując występowanie wstrząsów z GZW można wyróżnić kilka rejonów, które są najbardziej aktywne sejsmicznie. Epicentra wstrząsów grupują się bardzo wyraźnie w pięć skupisk. Są to niecka bytomska, niecka kazimierzowska, siodło główne, niecka główna i niecka jejkowicka (rys.2). Skupiska silnych wstrząsów są oddzielone od siebie rejonami asejsmicznymi [21].

W północnej części GZW za główne współczesne struktury sejsmogenne Jura [8] uznał dwie hipotetyczne brzeżne nieciągłości, przebiegające równoleżnikowo wzdłuż strefy granicznej między segmentami masywu górnosląskiego – blokami Bytomia i centralnym. Na północy jest to nieciągłość pod osi synkliny Bytomia, a na południu nieciągłość w rejonie uskoku kłodnickiego. Badania Jury [8] wykazały, że rejon uskoku kłodnickiego można uznać za współczesną strukturę sejsmogenną. W północnej części uskoku kłodnickiego mają występować młodopalpejskie naprężenia tektoniczne, które mają wpływ na charakter indukowanych przez eksploatację wstrząsów. Mechanizm ognisk silnych wstrząsów z tego rejonu jest typu poślizgowego po rozciągłości zgodnej z przebiegiem uskoku kłodnickiego. Może to wskazywać na relaksację naturalnych resztkowych naprężeń tektonicznych nagromadzonych w tej strefie.

Badania rozkładu silnych wstrząsów wykazały, że epicentra kolejnych występujących po sobie wstrząsów wykazują kierunek zgodny z jednym z dominujących kierunków uskoku w danej jednostce strukturalnej [7]. Ta teoria potwierdziła się w badaniu migracji ognisk wstrząsów „tektonicznych” [20]. Analiza defleksji (kąta ostrego między linią przechodzącą przez epicentra dwóch następujących po sobie wstrząsów a linią północ – południe), wykazała, że w obrębie siodła głównego, niecki bytomskiej i Rybnickiego Okręgu. Węglowego wyróżniono tylko jeden dominujący kierunek migracji nachylony względem linii północ – południe odpowiednio pod kątem  $-81^\circ$ ,  $-87^\circ$ , i  $-70^\circ$ . Nieco inna jest sytuacja w przypadku niecki głównej, w której, oprócz dominującego kierunku migracji o azymucie  $64^\circ$ , obecny jest też preferowany kierunek drugiego rzędu o azymucie  $-33^\circ$ .

Na rysunku 3 pokazano epicentra wstrząsów z ostatnich 6 miesięcy 2014 roku. Jak można zauważyć zagrożone obszary, gdzie występuje aktywność sejsmiczna pokrywają się z obsza-



Rys. 2. Mapa uskoków na tle sejsmiczności indukowanej (wstrząsy o energii >E5J) w latach 1985÷2004 [21]

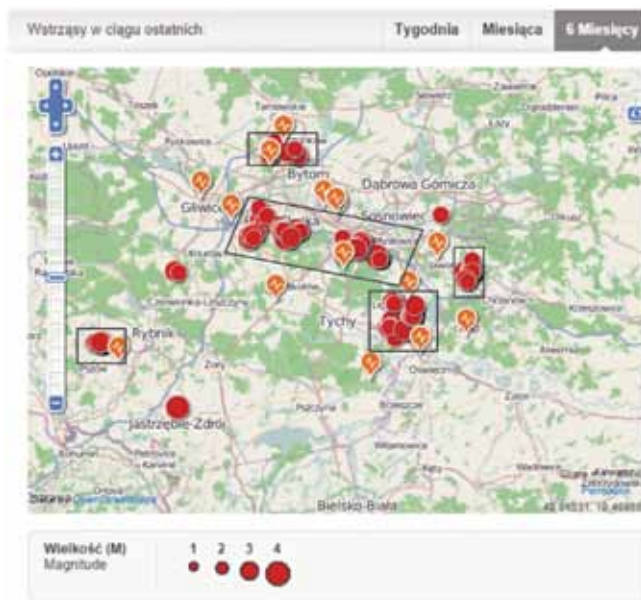
Fig. 2. Map of faults against the background of induced seismic activity (tremors with energy > E5 J) between 1985 and 2004 [21]

rami wyznaczonymi na podstawie występowania epicentrow wstrząsów, które wystąpiły w poprzednich latach. Nowy obszar aktywności na terenie Zakładu górniczego „Sobieski” w Jaworznie związany jest z aktualnymi warunkami eksploatacji w Jaworznie.

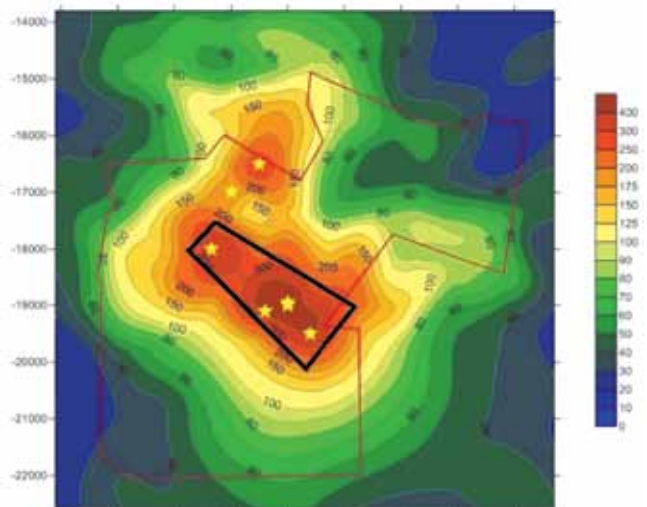
W Głównym Instytucie Górnictwa od wielu lat prowadzony jest monitoring wstrząsów z obszaru GZW. Górnośląska Regionalna Sieć Sejsmologiczna (GRSS) w ciągu lat była modernizowana i w 2013 roku składała się z 8 trójskładowych stanowisk pomiarowych rejestrujących prędkość drgań aparatury SOS oraz 12 stanowisk aparatury GeoSig, trójskładowych stacji sejsmometrycznych. Dane pomiarowe są rejestrowane i automatycznie transmisją modemową lub radiową przesy-

łane do Centrum Rejestracji Danych w GIG. Zarejestrowane wstrząsy są następnie przetwarzane, interpretowane i katalogowane przez specjalistów z Pracowni Geofizyki Górniczej GIG (rys.3).

Istnieją prognozy zagrożenia sejsmicznego sporządzone na podstawie analizy danych z zaistniałych wstrząsów. Są one wykonywane przeważnie dla projektowanej eksploatacji w ramach Projektów Kompleksowych. Mapy wykonywane są dla obszaru górniczego konkretnej kopalni według skali GSI.



Rys. 3. Epicentra wstrząsów z ostatnich 6 miesięcy 2014 roku [28]  
Fig. 3. Epicenters of tremors from the previous 6 months of 2014 [28]



Rys. 4. Przewidywane przyspieszenia drgań gruntu dla planowanej eksploatacji na 2014 – 2015 roku w KWK „Halemba-Wirek” z zaznaczonym obszarem największych przyspieszeń [29]

Fig. 4. Predicted accelerations of ground vibration for the planned exploitation 2014-2015 in “Halemba-Wirek” coal mine with marked area of the highest accelerations [29]



Na rysunku 4 pokazano przewidywane przyspieszenia drgań gruntu dla planowanej eksploatacji na 2104–2015 roku w KWK „Halemba-Wirek” [29]. Jak można zauważyć obszar największych przyspieszeń gruntu odzwierciedla kierunek NW-SE. Kierunek ten jest zbliżony do dominującego kierunku głównych uskoków w GZW.

W obrębie niecki bytomskiej sejsmiczność od wielu lat była przedmiotem badań. Pomimo zamknięcia wielu kopalń w tym rejonie wysokoenergetyczna sejsmiczność utrzymuje się nadal. W utworach karbonu produktywnego nie ma uskoku, który mógłby wykazywać neotektoniczne ruchy i wpływać na sejsmiczność, tak jak uskok kłodnicki. Wydaje się jednak, że hipotetyczna nieciągłość pod osią synkliny Bytomia w starszych utworach wpływa na taki stopień zagrożenia wysokoenergetyczną sejsmicznością.

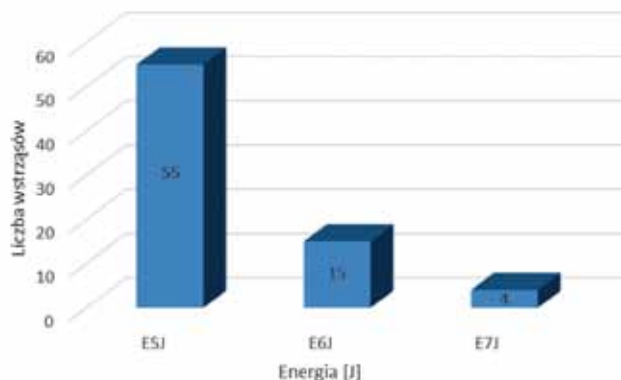
W rejonie niecki głównej na terenie eksploatacji KWK „Piaś” i „Ziemowit” rozkład epicentra wstrząsów wykazują przeważnie kierunek równoleżnikowy zgodny z kierunkami dominujących uskoków w niecce głównej. Na terenie górniczym KWK „Piaś” najczęściej wysokoenergetyczne wstrząsy występują w pobliżu uskoku Błędowskiego. Jego uaktywnienie było powodem największego wstrząsu w ostatnich latach, z dnia 9.02.2010 roku, o energii  $3 \cdot 10^7$  J. Drgania gruntu pochodzące od tego wstrząsu o tak dużej energii spowodował wiele szkód nawet w znacznej odległości od epicentrum wstrząsu.

W rejonie Rybnickiego Okręgu Węglowego największa sejsmiczność indukowana występuje na KWK „Rydułtowy”. Eksploatacja prowadzona jest tam w trudnych warunkach geologiczno-górnich. Wysokoenergetycznej sejsmiczności sprzyja zaleganie w stropie eksplodowanych pokładów dużych kompleksów łupków piaszczystych i piaskowców (o łącznej grubości około 180 m). W obszarze górniczym kopalni stwierdzono dwa zasadnicze kierunki przebiegu uskoków i zaburzeń oraz bardzo rozbudowaną tektonikę towarzyszącą. Pierwszy południkowy NNE-SSW (tzw. sudecki), który jest odbiciem nacisków postępujących od zachodu w okresie orogenezy waryscyjskiej. Drugi równoleżnikowy W-E związany z orogenezą alpejską. Jednym z ważniejszych uskoków to uskok Rydułtowski o kierunku W-E.

### 3. Analiza roli uskoku Rydułtowskiego na przykładzie wstrząsu z dnia 22.02.2013 r.

W 2013 roku wystąpiło 178 wysokoenergetycznych wstrząsów od energii  $E \geq 10^5$  J w KWK „Rydułtowy-Anna” (rys. 5) w tym 126 o energii  $E = 10^5$  J, 44 o energii  $E = 10^6$  J i 4 o energii  $E = 10^7$  J. Jak podaje w swoim artykule R. Martinek i in. [19], w rejonie W1 kopalni „Rydułtowy” wstrząsy wysokoenergetyczne są zlokalizowane w miejscach przecięcia się kilku krawędzi wyżej zalegających pokładów. Energia oraz liczba wstrząsów systematycznie rosły, gdy fronty eksploatacji ścian zbliżały się równolegle do krawędzi pokładów 703/1 i 629/1. Wyniki obserwacji wskazują, że wszystkie wstrząsy były bezpośrednio związane z załamywaniem się mocnych warstw piaskowców. Jako przyczynę można upatrywać przekroczenie granicznych parametrów wytrzymałościowych warstw nadległych spowodowane systematycznym powiększaniem się powierzchni odśloneńcia stropu nad wyeksploatowaną częścią pokładu 713/1. Na podstawie zebranych doświadczeń można wysnuć wniosek, że przy eksploatacji kolejnych ścian w pokładzie 713/1-2 istniejące resztki oraz krawędzie, zwłaszcza te o przebiegu równoległym w stosunku frontu eksploatacyjnego, będą miały podobny wpływ na liczbę i rozkład wstrząsów, jak to wykazano na przykładzie ściany eksploatującej pokład 713/1-2. Dnia 22 lutego 2013 roku o godz. 4.27 wystąpił wstrząs o energii  $E = 4,39 \cdot 10^7$  J w stro-

pie pokładu 713/1-2. Wstrząs ten spowodował uszkodzenia budynków na powierzchni terenu.



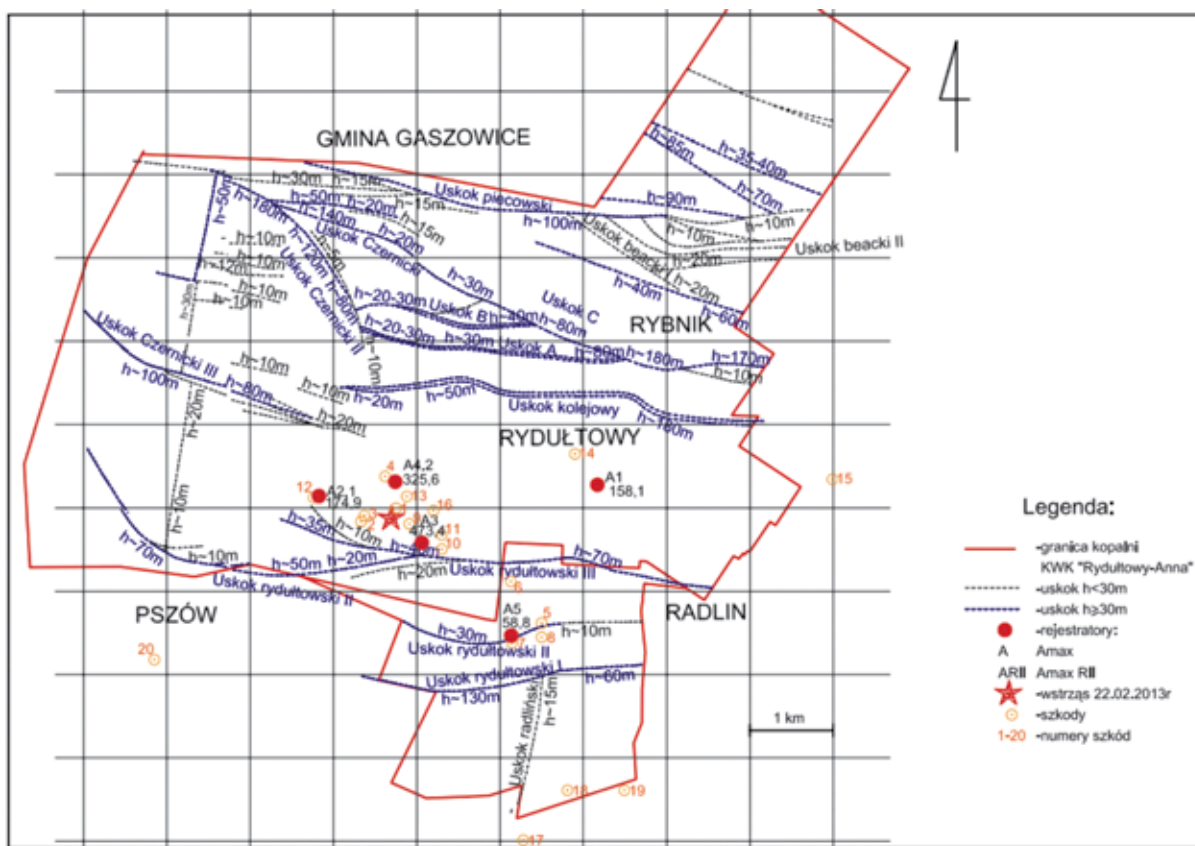
Rys. 5. Liczba wstrząsów powyżej  $10^5$  J w 2013 roku z KWK „Rydułtowy – Anna” (Mat. Arch. KWK „Rydułtowy-Anna”)

Fig. 5. Number of tremors over  $10^5$  J in 2013 in “Rydułtowy-Anna” mine (archives from “Rydułtowy-Anna” mine)

W 2013 roku w KWK „Rydułtowy-Anna” wystąpiły cztery wstrząsy o energii  $E \geq 10^7$  J. Do analizy wzięto pierwszy silny wstrząs z dnia 22.02.2013 roku o energii  $E = 4,4 \cdot 10^7$  J (rys. 5). W wyniku tego wstrząsu zanotowano szereg uszkodzeń budynków. W rysunku 6 przedstawiono lokalizację zgłoszonych i zweryfikowanych przez służby kopalniane uszkodzeń budynków. Od października 2005 r. KWK „Rydułtowy-Anna” posiada 5 stanowisk do pomiaru przyspieszeń drgań gruntu typu Amax [17]. Utworzona w ten sposób sieć pomiarowa stanowi monitoring sejsmiczny zapewniający prowadzenie ciągłych rejestracji zjawisk dynamicznych indukowanych działalnością górniczą. Rejestratory zaznaczone czerwonymi wypełnianymi kropkami pokazano poniżej na rysunku 6. Na rysunku 6 przedstawiono tektonikę na obszarze KWK „Rydułtowy-Anna” z zaznaczonymi położeniami budynków, w których wystąpiły uszkodzenia po wstrząsie.

W tabeli 1 przedstawiono współrzędne analizowanych szkód górniczych, przyspieszenie, odległość od epicentrum wstrząsu i odległość od najbliższego uskoku (Rydułtowski III). Przyspieszenie odczytano z opracowanej mapy izolinii przyspieszenia na podstawie zarejestrowanych odczytów z rejestratorów przyspieszeń. Jako miarę uszkodzenia obiektu przyjęto wartość przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia obiektu. Uszkodzenia budynków zostały zweryfikowane przez kopalniane służby KWK „Rydułtowy-Anna”.

Niniejsze badania są kontynuacją tematyki publikowane w artykułach E. Pilecka i R. Szermer-Zaucha [23, 24]. Uzyskane do tej pory wyniki prac wskazują na istotny statystycznie związek między położeniem szkód górniczych a lokalną tektoniką. W artykule przedstawiono wyniki dalszych badań statystycznych. Przeprowadzono statystyczną analizę korelacji dwóch zmiennych, przyspieszenia w miejscu powstania szkody górniczej i odległości od najbliższego uskoku. Uskokiem tym był uskok Rydułtowski III. Z analizy wynika, że współczynnik korelacji na poziomie istotności 0,5 wynosi  $R = |0,7|$ . Wynika z tego, że z prawdopodobieństwem 95 % zmienne te są z sobą powiązane. Można więc powiedzieć, że odległość od uskoku ma wpływ na wartość przyspieszenia w miejscu szkody.



Rys. 6. Tektonika na obszarze KWK „Rydułtowy-Anna” z zaznaczonymi położeniami budynków, w których wystąpiły uszkodzenia po wstrząsie [18]

Fig. 6. Tectonics in the area of “Rydułtowy-Anna” mine with marked locations of buildings which were damaged after the tremor [18]

Tablica 1. Uszkodzenia budynków po wstrząsie z dnia 22.02.2013 roku o energii 4,4 E7 J w KWK „Rydułtowy-Anna”  
 Table 1. Damage in buildings after the tremor from 22 February 2014 with energy of 4,4 E7 J in “Rydułtowy-Anna” coal mine

Lp.	Przyspieszenie mm s <sup>2</sup>	Odległość od epicentrum m	Odległość od najbliższego uskoku m
1.	4.	5.	6.
1	365	138	511
2	300	369	296
3	305	329	372
4	305	513	873
5	80	2196	746
6	190	1619	225
7	60	2080	965
8	60	2297	916
9	415	222	352
10	410	707	102
11	415	633	275
12	175	970	377
13	360	324	669
14	190	2336	1244
15	110	5315	1945
16	395	513	553
17	10	4175	3339
18	15	3887	2778
19	15	4295	2566
20	20	3312	2294

#### 4. Podsumowanie

W artykule zwrócono uwagę na rolę tektoniki w powstawaniu uszkodzeń po wysokoenergetycznych wstrząsach. W Górnośląskim Zagłębiu Węglowym należy uwzględnić występowanie uskoków w planach zagospodarowania terenu, ze względu na możliwość indukowania pracami górnictwa wysokoenergetycznych wstrząsów na tych uskokiach. Jak podkreślono, ważny jest kierunek tych uskokiach. Kierunkowość zaś wynika z geologicznej historii powstawania deformacji w GZW. Dominujący kierunek uskokiach w GZW to zbliżony do W-E. Szczególnie widoczny jest wpływ uskoku kłodnickiego na wysokoenergetyczną sejsmiczność regionalną. W rejonie uskoku kłodnickiego znajduje się duże skupisko miast aglomeracji śląskiej, w tym Katowice, stolica województwa. Z tego względu w planach budownictwa w tym rejonie powinno uwzględniać się oddziaływanie uskoku kłodnickiego w aspekcie sejsmiczności indukowanej.

Drugim aspektem wpływu tektoniki na szkody górnicze jest wykazane statystycznie istotnej korelacji dwóch zmiennych: odległości szkody górniczej od najbliższego uskoku i przyspieszenia drgań gruntu w miejscu posadowienia budynku. Analizy takie były przeprowadzone już w poprzednich pracach z pozytywnym skutkiem. Badania te wykazują, że istotną sprawą jest miejsce posadowienia budynku. I tak dla szkód znajdujących się w rejonie epicentrum wstrząsu i blisko uskoku Rydułtowskiego III notowane są największe przyspieszenia drgań gruntu, natomiast dla budynków znajdujących się po drugiej stronie uskoku niż epicentrum i w dalszej odległości od uskoku przyspieszenie drgań gruntu

jest małe. Prawdopodobną przyczyną tego zjawiska, może być spowolnienie prędkości fali sejsmicznej przy przejściu przez splekaną strefę uskokową. Możliwy jest zatem wpływ lokalnej tektoniki na uszkodzenia obiektów na powierzchni, po wystąpieniu wysokoenergetycznego wstrząsu, co powinno być uwzględnione w planach zagospodarowania terenu.

## Literatura

1. *Drzewiecki J.*: Movement dynamic of detached roof strata ahead of coal mine longwall face. Proc. Ins. Symp. "Rockbursts and seismicity in mines" 17-19 September, RPA, 2001.
2. *Dubiński J., Stec K.*: Określenie zagrożenia sejsmicznego w oparciu o mechanizmy ognisk wstrząsów górniczych. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-19 (281), 1995 57÷71.
3. *Dubiński J., Stec K.*: Modalność sejsmiczności górniczej w świetle badań mechanizmów ognisk wstrząsów górniczych. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. S.C., M-19(281), 2000 57÷71.
4. *Gibowicz S.J., Kijko A.*: An introduction to mining seismology. Int. Geoph. San Diego-New York, Academic Press, 1994 399s.
5. *Gibowicz S., Lasocki S.*: Seismicity induced by mining: ten years later. Adv. Geophysics San Diego – San Francisco – New York, Academic Press, 2001 s. 39÷181
6. *Idziak A.F., Sagan G., Zuberek W.M.*: Analiza rozkładów energetycznych wstrząsów sejsmicznych z obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. In: Wyniki nowych studiów w sejsmologii a inżynierskie deofizyce. Ed. A. Kalab. Ostrava – Poruba, Ustav Geoniky AVCR, 1991, s.151÷158.
7. *Idziak A.F., Teper L., Zuberek W.M.*: Sejsmiczność a tektonika Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. Uniw. Śląskiego, Katowice, 1999.
8. *Jura D.*: Young Alpine Klonica Fault scarps of the metacarpathian in the Silesian Upland. Tech. Posz. Geol. Geosynoptyka i Geotermia 1, Kraków 1999, 52÷56.
9. *Kidybiński A.*: Stan naprężenia w jednorodnym silnie związłym stropie pokładu tąpniącego w fazie jego ciągłości oraz w procesie blokowego osiadania. IV Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu, AGH/BZPW, Wisła, 1997.
10. *Kijko A., Drzęzła B., Mendecki A.*: Dlaczego rozkłady ekstremalnych zjawisk sejsmicznych w kopalniach mają charakter bimodalny. Acta Montana A971), 1985 s. 225-244.
11. *Kijko A., Drzęzła B., Mendecki A.*: Bimodalny charakter ekstremalnych rozkładów zjawisk sejsmicznych w kopalniach. Publ. Inst. Acad. Sci. M-8, 1986 s. 91÷102.
12. *Kijko A., Drzęzła B., Stankiewicz T.*: Bimodal character of extremal seismic events in Polish mines, Acta Geoph. Pol., 35, 1987 s.1157-1168.
13. *Kijko A., Drzęzła B.*: Bimodalny charakter ekstremalnych rozkładów zjawisk sejsmicznych w kopalniach. Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-8 (191), 1986 91÷101.
14. *Konopko W.*: Prognozowanie energii wstrząsów w kopalniach LGOM, [W:] Geotechnika w budownictwie i górnictwie, XXX Zimowa Szkoła Mechaniki Górotworu i Geoinżynierii, Szklarska Poręba, 11-16 marca 2007, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2007, 349÷360.
15. *Kotas A.*: Uwagi ewolucji strukturalnej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W: Trzepierczyński (red.) Tektonika Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, Mat. Konf. Nauk. Sosnowiec, Wyd. Uniw. Śl. Katowice, 1985 17÷46.
16. *Marcak H.*: Geofizyczne modele rozwoju procesu niszczenia górotworu poprzedzające tąpnięcia i wstrząsy w kopalniach. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sci. M-5, 1985 s.149÷173.
17. *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.
18. Materiały archiwalne KWK „Rydułtowy-Anna”.
19. *Martinek R., Olechowski S., Porwolik M.*: Analiza aktywności sejsmicznej zaistniałej podczas eksploatacji pokładu 613/1-2 ścianą XV-W1 w KWK „Rydułtowy – Anna”. Mat. Konf. Nauk. Szkoła Eksploatacji Podziemnej XXI. Kraków, 2012 s. 35÷36.
20. *Mirek J., Orlecka – Sikora B., Lasocki S.*: Badanie kierunków migracji ognisk wstrząsów „tektonicznych” w celu wyjaśnienia uwarunkowań i mechanizmów ich powstawania. W: Zuberek, Jochymczyk (red.) Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, Wyd. Uniw. Śl., 95, 2010.
21. *Pilecka E., Piątkowska A., Stec K., Buła Z., Pilecki Z., Król M.*: Związek lineamentów z sejsmicznością indukowaną na terenach górniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2006.
22. *Pilecka E.*: Indukowane podziemną działalnością górniczą wysokoenergetyczne wstrząsy górotworu a lineamenty na obrazach satelitarnych. Wyd. IGSMiE PAN, Studia, Rozprawy, Monografie nr 144, 2008 147.
23. *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 „Piasz”. Prace Naukowe GIG nr4/2/2011, 2011 366÷382.
24. *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 Zagrożenia Naturalne 2013. GIG Katowice 2013, 353-367.
25. Raport roczny (2013) o stanie podstawowych zagrożeń naturalnych i technicznych w górnictwie węgla kamiennego. Praca zbiorowa pod kier. W. Konopko. Katowice, wyd. GIG 2014
26. *Walaszczyk J., Drzewiecki J., Mutke G.*: Model niszczenia skał stropowych górotworu będącego źródłem intensywnych zjawisk dynamicznych, Kraków, biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Seria z Lampką Górnictwem a 10, 99, 2002.
27. *Zuberek W.M.*: Możliwość wykorzystania asymptotycznych rozkładów wartości ekstremalnych do oceny prawdopodobieństwa występowania wstrząsów indukowanych eksploatacją górniczą: W: Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo. Z. 139. Gliwice, Politechnika Śląska, 1986 s. 243÷254.
28. (<http://www.grss.gig.eu/pl/>)
29. ([http://silesia.org.pl/upload/Wplyw%20wstrzasow%20gornicznych%20na%20powierzchnie\\_K.Stec.pdf](http://silesia.org.pl/upload/Wplyw%20wstrzasow%20gornicznych%20na%20powierzchnie_K.Stec.pdf))