

**Zeszyty Naukowe**Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią
Polskiej Akademii Nauk

rok 2018, nr 107, s. 149–170

DOI: 10.24425/znigsme.2018.125801

Dariusz CHLEBOWSKI¹, Marek ŚWIEŻOWSKI²

Analiza wpływu miąższości złoża rudy miedzi na lokalizację epicentrum wstrząsów w komorowo-filarowych systemach eksploatacji

Streszczenie: Towarzysząca prowadzeniu robót górniczych sejsmiczność indukowana, w tym przede wszystkim wyso-koenergetyczna, jest jednym z głównych czynników decydujących o występowaniu zjawisk dynamicznych w górotworze. Określane tym mianem tąpnięcia i odprężenia należą do najpoważniejszych pod względem skutków zdarzeń wywołanych wstrząsami górotworu w kopalniach podziemnych. Charakteryzują się słabą przewidywalnością czasu i miejsca, a ich wpływ na skalę przejawów innych zagrożeń naturalnych (głównie wentylacyjnych) znacznie utrudnia dobór i wdrażanie optymalnych metod zwalczania. Biorąc pod uwagę systematycznie rosnącą głębokość eksploatacji w rejonie LGOM w połączeniu z obserwowanym zmniejszaniem się wysokości furty eksploatacyjnej, poznanie genezy oraz atrybutów aktywności sejsmicznej generowanej eksploatacją dokonaną w konkretnych uwarunkowaniach geologiczno-górnictwowych może przyczynić się do poprawy skuteczności podejmowanych działań prewencyjnych w aspekcie ograniczania skutków wstrząsów w wyrobiskach dołowych, a tym samym zapewnienia właściwego poziomu bezpieczeństwa zatrudnionych załóg.

W pracy podjęto próbę odniesienia się do kwestii możliwej relacji pomiędzy miąższością eksploatowanego złoża i kształtowaniem się wybranych parametrów sejsmiczności indukowanej górotworu (liczby i energii wstrząsów) z uwzględnieniem lokalizacji epicentrum rejestrowanych zjawisk względem frontu robót rozczinkowych w ramach szeroko stosowanych w LGOM jednoetapowych systemów komorowo-filarowych. Wykorzystano dane udostępnione przez stację geofizyki górniczej O/ZG Rudna, przy czym opierając się na informacji o rzeczywistej wysokości złoża w poszczególnych rejonach kopalni (Rudna Główna, Rudna Północna, Rudna Zachodnia) w połączeniu z przeglądem notowanej na przestrzeni ostatnich lat aktywności sejsmicznej tych rejonów, wytypowano do szczegółowych rozważań trzy pola eksploatacyjne (każde z innego rejonu) o znacząco różnych miąższościach wybieranego złoża (pole G-7/5/RG, pole XX/1/RP, pole XIX/1/RZ). Dysponując wypisem z katalogów aktywności sejsmicznej w obrębie wzmiankowanych parcel wyznaczono i dokonano analizy udziałów procentowych liczby notowanych zjawisk i ich energii w kontekście usytuowania epicentrum w obszarach powszechnie identyfikowanych z elementami systemu eksploatacji (w całości furty, na froncie rozczinki i w strefie roboczej pola, w zrobach). Dla potrzeb wnioskowania o wielkości zagrożenia sejsmicznego w danym rejonie (polu) do analiz porównawczych wykorzystano zbiór wszystkich wstrząsów o energii powyżej 1×10^3 J, natomiast dla oceny skuteczności stosowanych metod/środków profilaktyki tąpniowej operowano wyłącznie zjawiskami spowodowanymi, zaistniałymi w czasie wyczekiwania po robotach strzałowych.

Słowa kluczowe: eksploatacja podziemna rud miedzi, zagrożenie tąpnięciami, sejsmiczność indukowana górotworu

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków; email: chlebo@agh.edu.pl² Usługi dla górnictwa sp. z o.o., Częstochowa.

Influence of the ore deposit thickness on localities of the mining tremors epicenters within the room-and-pillar systems

Abstract: Mining-induced seismicity, particularly high-energy seismic events, is a major factor giving rise to dynamic phenomena within the rock strata. Rockbursts and stress relief events produce the most serious consequences in underground mines, are most difficult to predict and tend to interact with other mining hazards, thus making control measures difficult to implement. In the context of steadily increasing mining depth within copper mines in the Legnica-Głogów Copper Belt Area (Poland) alongside the gradually decreasing effective mining thickness, a study of the causes and specificity of mining-induced seismicity in specific geological and mining settings may improve the effectiveness of the prevention and control measures taken to limit the negative impacts of rockbursts in underground mine workings, thus ensuring safe working conditions for miners.

This study investigates the presumed relationship between the mined ore deposit thickness and fundamental parameters of mining-induced seismicity, with the main focus on the actual locations of their epicenters with respect to the working face in commonly used room-and-pillar systems. Data recalled in this study was supplied by the O/ZG Rudna geophysics station. Based on information about the actual ore deposit thickness in particular sections of the mines (Rudna Główna, Rudna Północna, Rudna Zachodnia) and recent reports on seismic activity in this area, three panels were selected for further studies (each in different mine region), where the ore deposit thickness was varied (panel G-7/5 – Rudna Główna, panel XX/1 – Rudna Północna, panel XIX/1 – Rudna Zachodnia). Data from seismic activity reports in those regions was used for energetic and quantitative analysis of seismic events in the context of the epicenter location with respect to the selected mining system components: undisturbed strata, working face and abandoned excavations. In consideration of the available rockburst control methods and preventive measures, all events (above 1×10^3 J) registered in the database were analysed to infer about the global rockburst hazard level in the panel and phenomena induced (provoked) by blasting were considered in order to evaluate the effectiveness of the implemented control measures.

Keywords: underground copper mining, rockburst hazard, mining tremors

Wprowadzenie

Niezależnie od rodzaju kopaliny użytecznej naruszenie pierwotnego stanu równowagi w górotworze w wyniku szeroko rozumianej działalności wydobywczej skutkuje m.in. powstawaniem zjawisk sejsmicznych, przy czym doświadczenia kopalń podziemnych wskazują na występowanie wstrząsów o charakterze (Stec i Błaszczuk 2008; Konopko 2009; Leśniak 2014; Knopik i in. 2015):

- powtarzalnym, właściwym dla danej partii złoża (lokalnych cech ośrodka skalnego) i bezpośrednim związku z realizowaną eksploatacją,
- incydentalnym, które towarzyszą prowadzeniu robót w skrzepowanych (anomalnych) uwarunkowaniach geologiczno-górnictwowych (np. w obszarach resztkowych, sąsiedztwie zaburzeń geologicznych czy zaszczości eksploatacyjnych),
- regionalnym, których genezę trudno jest jednoznacznie powiązać z warunkami lokalnymi i aktualnie realizowanymi robotami górnictwowymi.

Przyczynami rejestrowanej sejsmiczności są najczęściej procesy pęknięcia zachodzące na poziomie złoża lub w obrębie podbieranych eksploatacją związłych utworów stropowych, a także przemieszczenia warstw skalnych wzdłuż istniejących w górotworze nieciągłości pochodzenia naturalnego lub antropogenicznego (Dubiński i in. 1999; Stec i Wojtecki 2011; Stec 2012; Rudziński i Lizurek 2015; Gołda i in. 2015; Tałaga i in. 2017).

W KGHM Polska Miedź SA O/ZG Rudna aktywność sejsmiczna monitorowana jest w sposób ciągły przez funkcjonującą na terenie zakładu górnictwowej stację geofizyczną. Sieć

sejsmologiczna składająca się z ponad 40 pionowych sejsmometrów krótkookresowych połączonych w system sejsmiczny ELOGOR-C pozwala na rejestrację wstrząsów pochodzących z wszystkich czynnych oddziałów wydobywczych kopalni. Poza standardową procedurą dotyczącą lokalizacji i estymacji energii zjawisk dzięki zapisom sieci możliwa jest analiza mechanizmów ogniskowych wstrząsów (Mirek i in. 2001; Koziarz i Szlapaka 2010; Talaga i in. 2017).

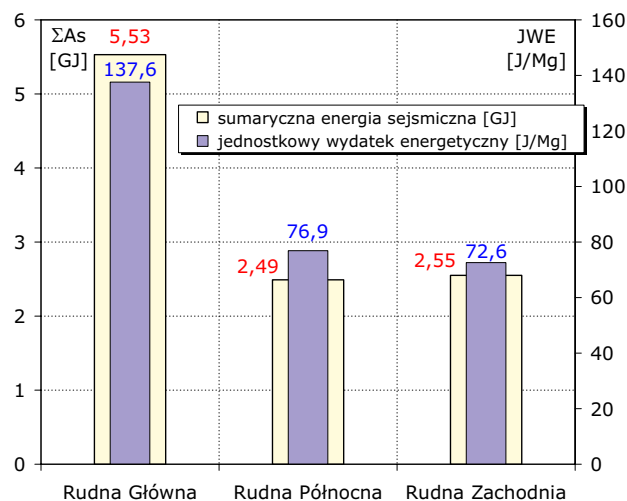
Obok właściwości geomechanicznych masywu skalnego oraz czynników związanych z technologią robót wpływ na sejsmiczność indukowaną mają uwarunkowania geologiczno-górniczne, których elementem jest również wysokość furty eksploatacyjnej wynikająca z rodzaju i zakresu okruszczenia bilansowego (Laskowski i in. 2015). Na podstawie analizy dokonań eksploatacyjnych w poszczególnych polach O/ZG Rudna za lata 2014–2016 (Materiały... 2016) w połączeniu z przeglądem reprezentatywnych profili/przekrojów geologicznych można stwierdzić, iż rzeczywista wysokość wybieranego złoża była relatywnie:

- największa (średnio 11,9 m) w rejonie Rudna Główna (oddziały G-1, G-2, G-3, G-7),
- pośrednia (średnio 8,4 m) w rejonie Rudna Północna (oddziały G-23, G-24, G-25, G-26),
- najmniejsza (średnio 5,5 m) w rejonie (R-IX) Rudna Zachodnia (oddziały G-11, G-12, G-14, G-15, G-17).

Z kolei analiza dwóch podstawowych parametrów energetycznych (także z odniesieniem do wydobywania rudy) ilustrujących sejsmiczność indukowaną górotworu w całym obszarze górniczym O/ZG Rudna na przestrzeni ostatnich 10 lat:

- wartości wyemitowanej (sumarycznej) energii sejsmicznej, SA_s [GJ],
- wskaźnika jednostkowego wydatku energetycznego, zdefiniowanego wartością ilorazu sumarycznej energii i wielkości wydobywania rudy (w wadze suchej), $JWE = SA_s/W_{rs}$ [J/Mg],

jednoznacznie wskazuje, że poszczególne rejonu kopalni charakteryzowały się zróżnicowanym poziomem zagrożenia sejsmicznego (rys. 1). Jakkolwiek notowane były okresowe, skokowe wahania wartości średniorocznych (liczby wstrząsów, energii, jednostkowego wydatku energetycznego), to w ujęciu sumarycznym zdecydowanie najwyższy poziom zagrożenia miał miejsce w oddziałach Rudnej Główniej. Niższy (w odniesieniu do liczby i energii zjawisk) obserwowano w rejonach Rudnej Północnej i Zachodniej, gdzie również zakres zmienności omawianych wskaźników był znacząco mniejszy. Ustalenie wiarygodnych przyczyn takiego zróżnicowania sejsmiczności w wymienionych rejonach wymagałoby szczegółowych analiz porównawczych w aspekcie lokalnych parametrów geomechanicznych ośrodka skalnego (Chlebowski 2011), zaangażowania tektonicznego parcel (Burtan i in. 2010) oraz stosowanych systemów wybierania (w tym kierowania stropem) (Zorychta i in. 2005). Mając jednak na uwadze fakt, iż ponadprzeciętny (w relacji do dwóch pozostałych rejonów) poziom aktywności sejsmicznej rejestrowano w rejonie o największej wysokości złoża (Rudna Główna), można postawić tezę o związku przyczynowym pomiędzy sejsmicznością indukowaną i miąższościami charakteryzującymi parcele wybierkowe w przedmiotowej części obszaru górniczego (Burtan i in. 2017). Dla potwierdzenia takiej relacji w pracy podjęto próbę oceny wpływu wysokości złoża (pośrednio także furty eksploatacyjnej)



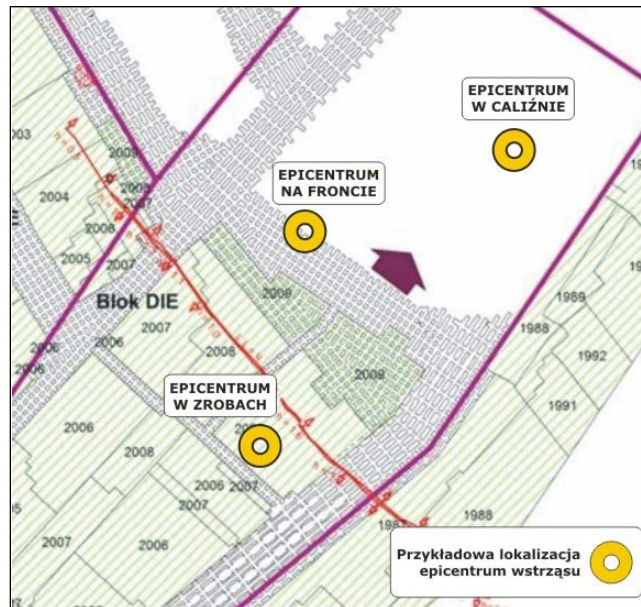
Rys. 1. Wybrane parametry (ΣA_s , JWE) sejsmiczności indukowanej w rejonach eksploatacyjnych O/ZG Rudna

Fig. 1. Selected parameters (ΣA_s , JWE) of mining-induced seismicity in the working zone in the Rudna mine

na rejestrowaną aktywność sejsmiczną towarzyszącą prowadzonym robotom eksploatacyjnym, a w istocie rzeczy rozczinkowym (upodatniającym) stanowiącym pierwszą fazę eksploatacji. Na potrzeby analiz wytypowano trzy pola eksploatacyjne w obszarze górniczym O/ZG Rudna (Materiały... 2016; Świeżowski 2016), po jednym z każdego rejonu, charakteryzujące się odmienną (uśrednioną) miąższością złoża bilansowego:

- pole G-7/5, rejon Rudna Główna, zakres miąższości 4,0–14,5 m (eksploatacja jedno- i dwuwarstwowa w furcie najwyższej),
- pole XX/1, rejon Rudna Północna, zakres miąższości 0,2–13,0 m (eksploatacja jedno- i dwuwarstwowa w furcie pośredniej),
- pole XIX/1, rejon Rudna Zachodnia, zakres miąższości 1,6–4,0 m (eksploatacja jednowarstwowa w furcie najniższej),
- porównując każdorazowo wybrane parametry sejsmiczności notowanej w okresie od uruchomienia eksploatacji (w przypadku G-7/5 od 2002 roku, XX/1 – od 2009, XIX/1 – od 2011) do końca roku 2015.

Bezpieczeństwo zatrudnionych załóg wiąże się z realnymi skutkami w wyrobiskach górniczych, a możliwość ich wystąpienia (w tym ich wielkość oraz zasięg) jest m.in. funkcją energii i odległości hipo-/epicentralnej wstrząsu od stref roboczych. Patrząc przez pryzmat potencjalnego zagrożenia tąpnięciami, w pracy odniesiono się do statystycznych relacji w zakresie usytuowania epicentrow rejestranych zjawisk sejsmicznych względem postępującego frontu eksploatacyjnego. W tym celu na podstawie wypisu z katalogu zawierającego zbiór wstrząsów o energii powyżej 1×10^3 J pogrupowano wszystkie zjawiska na klasy energetyczne oraz prześledzono informacje dotyczące ich współrzędnych poziomych (X, Y) pod kątem lokalizacji epicentrum w stosunku do położenia frontu na dzień konkretnego zdarzenia. W efekcie otrzymano trzy podzbiory obejmujące wstrząsy (rys. 2):



Rys. 2. Typowe przykłady usytuowania epicentrum wstrząsu w polu eksploatacyjnym

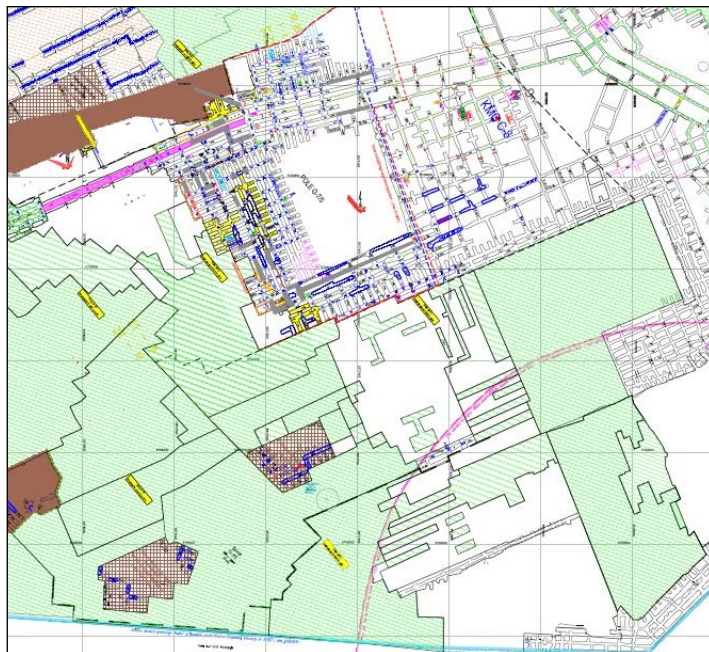
Fig. 2. Typical locations of seismic events epicenters within the panels

- w caliźnie furty eksploatacyjnej (przed frontem robót rozcinkowych/upodatniających),
- w bezpośrednim sąsiedztwie linii frontu rozcinki (strefy roboczej),
- w zrobach (za frontem w przestrzeni zlikwidowanej).

Dodatkowo, w ramach próby oceny skuteczności profilaktyki tąpaniowej, a ściślej rzecz biorąc aktywnych metod zwalczania zagrożenia tąpniętami (strzelań grupowych, urabiająco-odprężających, odprężających w caliźnie/spągu), w każdym podzbiorze wyodrębniono grupę wstrząsów spowodowanych, tzn. zaistniałych w czasie wyczekiwania po robotach strzałowych. W oparciu o opracowane dane analizowano procentowe udziały – w ujęciu liczby wstrząsów i ich energii – poszczególnych grup/podzbiorów w całej populacji odnotowanych zjawisk sejsmicznych.

1. Charakterystyka geologiczno-górnicza wytypowanych pól eksploatacyjnych

Ekspluatowane (oddział G-7) od roku 2002 pole G-7/5 (rys. 3) znajduje się w południowej części obszaru górniczego, obejmując przy tym dwa rejonu kopalni (XIII i XIIIa) zaliczone do najwyższego, III stopnia zagrożenia tąpniętami (wg uregulowań formalnych obowiązujących przed lipcem 2017). Złoże rudy zalega w formie pseudopokładu, a przez wzgląd na obecność strefy uskoku Biedrzychowa wraz ze zbliżaniem się do tego zaburzenia



Rys. 3. Rejon pola eksploatacyjnego G-7/5 (RG, O/ZG Rudna) (Materiały... 2016)

Fig. 3. Mining panel no. G-7/5 (Rudna Główna)

wzrasta zaangażowanie tektoniczne. Miąższość złoże jest bardzo zróżnicowana, a zakres, w jakim się zmienia, wynosi od 4,0 do 14,5 m. Podobnie zmienne są rozciągłość oraz upad, gdyż w różnych częściach parceli pokład zapada pod kątem 2–7°, 4–5° bądź też 6–9°. Długość frontu eksploatacyjnego wynosi około 600 m, a głębokość, na jakiej prowadzona jest eksploatacja, to około 915 m.

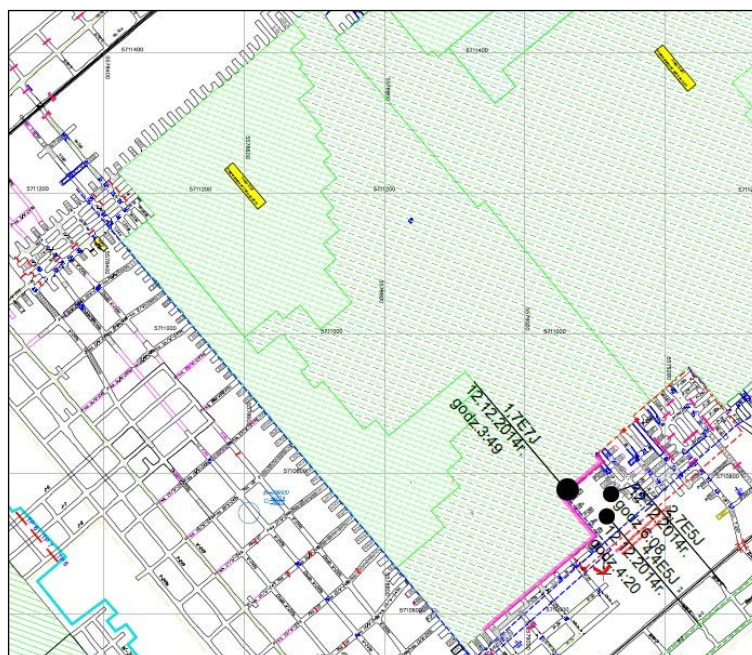
W stropie występują dolomity wapieniste charakteryzujące się wyraźną podzielnością poziomą na płyty, których miąższość zawiera się w przedziale od 0,1 do 0,8 m. W większości wyrobisk spąg stanowią jasnoszare piaskowce kwarcowe o spoiwie ilastym, charakteryzujące się relatywnie słabą zwięzłością. Parametry mechaniczne skał złożowych i otaczających (tab. 1) mające wpływ na zagrożenie tąpnięciami w obu rejonach są zbliżone, a ich wartości wynoszą odpowiednio: wytrzymałość na ściskanie dla stropu 122,2 MPa, furty 71,3 MPa i spągu 20 MPa. Strop w polu G/7-5 zaliczony został do klasy II, a spąg do klasy I (Opracowanie... 2013).

Kolejna z analizowanych parcel XX/1 (rys. 4), eksploatowana przez oddział G-26, znajduje się w pobliżu szybu R-VII w rejonie XX obszaru górniczego ZG Rudna zakwalifikowanym (dane sprzed lipca 2017) do II stopnia zagrożenia tąpnięciami. Przedmiotowy obszar usytuowany jest w otoczeniu elewacji Tarnówka, co wiąże się z nieregularnymi, licznymi strefami bezłupkowymi, strefami piaskowca o spoiwie anhydrytowym, a także strefami występowania dolomitu kawernistego. Należy dodać, że w obrębie pola znajdują się strefy bez złoże w I warstwie eksploatacyjnej oraz lokalnie strefy złoże pozabilansowego. Miąższość

TABELA 1. Podstawowe parametry złoża w wybranych polach eksploatacyjnych (Materiały... 2016)

TABLE 1. Key parameters of the ore deposit in the selected panel sections

		Pole G-7/5 (duża miąższość)	PoleXX/1 (średnia miąższość)	Pole XIX/1 (mała miąższość)
Stopień zagrożenia tapaniami		III	II	III
Miąższość złoża		4,0–14,5 m	0,2–13,0 m	1,6–4,0 m
Kąt zapadania złoża		2–7°, 4–5°, 6–9°	1–3°	2–4°
Rozciągłość złoża		zmienna	NW-SE	NW-SE
Głębokość zalegania		około 915 m	około 1090 m	około 1150 m
Wytrzymałość na ściskanie Rc	spąg	20 MPa	30,9 MPa	41,1 MPa
	furta	71,3 MPa	54,3 MPa	81,0 MPa
	strop	122,2 MPa	137,9 MPa	135,9 MPa
Klasa spągu		I	II	II
Klasa stropu		II	III	III



Rys. 4. Rejon pola eksploatacyjnego XX/1 (RP, O/ZG Rudna) (Materiały... 2016)

Fig. 4. Mining panel no. XX/1 (Rudna Północna)

bilansowa waha się w przedziale od 0,2 do 13,0 m, jednak parcela dobrana została do analiz porównawczych jako pole o średniej miąższości, gdyż ta wynosi tu około 6 m. Złoże w polu XX/1 posiada rozciągłość NW-SE oraz kąt zapadania 1–3° w kierunku NE.

Długość frontu eksploatacyjnego wynosi 450 m, a głębokość na jakiej prowadzone są roboty górnicze, to około 1090 m, przy czym obszar zasadniczo charakteryzuje się bardzo słabym zaangażowaniem tektonicznym. W serii dolomitowej występują nieliczne spękania, często wypełnione gipsem, kalcytem oraz substancją ilastą, przebiegające głównie w kierunkach NW-SE oraz NE-SW. Strop wyrobisk górniczych prowadzony jest zwykle po spągu dolomitu wapnisteo, po podzielnościach w dolomicie wapnistym lub między dolomitem smugowanym a dolomitem wapnistym. Miąższość warstw węglanowych zawiera się w przedziale 60–90 m, zaś miąższość warstw anhydrytu zalegających nad dolomitem wapnistym wynosi około 160 m. W spągu wyrobisk znajdują się jasnoszare piaskowce kwarcowe białego spągowca charakteryzujące się słabą zwięzłością i ilastym spoiwem. Parametry mechaniczne skał złożowych i otaczających wynoszą: wytrzymałość na ściskanie dla stropu 137,9 MPa, furty 54,3 MPa, spągu 30,9 MPa. Strop w polu XX/1 zaliczony został do klasy III, a spąg do klasy II (Opracowanie... 2013) (tab. 1).

Trzecim wytypowanym na potrzeby analizy jest pole XIX/1, eksploatowane przez oddział G-12, usytuowane w rejonie XIX kopalni Rudna (rys. 5) posiadającym zaliczenie do III (najwyższego) stopnia zagrożenia tąpnięciami. Złoże wykształcone jest w formie pseudopokładu tworzonego przez dolnocechsztyńskie łupki i dolomity oraz jasnoszare piaskowce czerwonego spągowca związane z sąsiedztwem elewacji Tarnówka o przebiegu NW-SE.



Rys. 5. Rejon pola eksploatacyjnego XIX/1 (RZ, O/ZG Rudna) (Materiały... 2016)

Fig. 5. Mining panel no. XIX/1 (Rudna Zachodnia)

Charakterystyczny dla tej strefy jest zanik serii łupkowej, a także występowanie piaskowca o spoiwie anhydrytowym (siarczanowym) w formie nieregularnych płatów o zmiennej miąższości (strefy braku złoża rozpoznano w południowo-wschodniej części pola). Biorąc pod uwagę, że miąższość waha się od 1,6 do 4,0 m, a jej średnia wartość wynosi 2,8 m zostało ono zaliczone do pól o najmniejszej miąższości. Złoże cechuje się rozciągłością NW-SE, a kąt jego zapadania w kierunku NE kształtuje się w przedziale 2–4°. Długość frontu eksploatacyjnego wynosi 530 m, a głębokość, na jakiej prowadzona jest eksploatacja, to około 1150 m. Strop wyrobisk górniczych prowadzony jest po podzielności między łupkiem a dolomitem smugowanym lub też podzielności między dolomitem smugowanym a wapniwym. W stropach większości wyrobisk występują dolomity wapniste, zwarte, wykazujące podzielność na płyty o miąższości od 0,1 do 0,5 m. Średnia grubość dolomitu wynosi 13 m.

Spąg wyrobisk przebiega w białych piaskowcach kwarcowych czerwonego spągowca charakteryzujących się jasnoszarą barwą i spoiwem ilastym. Ich średnia miąższość wynosi 8,0 m, natomiast całkowita miąższość piaskowców czerwonego spągowca – około 300 m. Parametry mechaniczne skał złożowych i otaczających wynoszą odpowiednio (tab. 1): wytrzymałość na ściskanie stropu 135,9 MPa, furty 81,0 MPa spągu 41,1 MPa. Strop w polu XIX/1 zaliczony został do klasy III, a spąg do klasy II (Opracowanie... 2013).

2. Założenia eksploatacyjne i profilaktyka tąpniowa

Pole G-7/5 (RG). Roboty górnicze w polu rozpoczęły się w 2002 roku. Ponieważ część parceli miała kształt trójkąta i otoczona była z dwóch stron strefami upodatnionymi i zrobami, toteż w pierwszym etapie przewidziane były roboty górnicze związane z upodatnieniem tej partii złoża. W trakcie ich realizacji okazało się, że warunki geologiczno-górnicze uniemożliwiają wykonanie planowanego zakresu robót przygotowawczych ze względu na zniszczenie struktury skał stropowych w wybranych pasach. W związku z istniejącą sytuacją geologiczno-górnica dalsze roboty górnicze realizowane były na bieżąco zgodnie z poleceniami, w oparciu o które oddział przystąpił do wykonywania rozcinki przygotowawczej w przedmiotowej partii złoża. W celach organizacyjnych początkowo pole zostało podzielone na dwa bloki eksploatacyjne A i B, natomiast w 2005 roku dodatkowo wydzielono blok C usytuowany w sąsiedztwie strefy uskoku Biedrzychowa. W skrzydle wyniesionym zaburzenia omawiany obszar jest zaburzony tektonicznie licznymi, mniejszymi uskokiemi oraz charakteryzuje się lokalnie dużymi upadami w kierunku do uskoku. Dla potrzeb usprawnienia eksploatacji oraz zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa w rejonie zasadne było wcześniejsze (wyprzedzające) wybranie złoża w strefie przyuskokowej. Projekty techniczne (ich kolejne aktualizacje) zakładały odtworzenie linii przodków frontu zasadniczego oraz rozcinkę calizny lewego skrzydła wzdłuż uskoku Biedrzychowa, zaprojektowano również upodatnienie krawędzi calizny i filarów wielkogabarytowych w rejonie dróg komunikacyjnych. Do końca 2015 roku eksploatacja w polu G-7/5 przebiegała zgodnie z założoną koncepcją.

Pole XX/1 (RP). W październiku 2009 roku na bazie tzw. wyrobisk startowych, tj. wiązek kilku upadowych zostały uruchomione roboty rozcinkowe. Równocześnie z postępem

frontu na lewym skrzydle (wzdłuż zrobów pola G-6/7) prowadzono rozcinkę komór stonowiących wyrobiska konturujące wzdłuż starych zrobów. Postęp ww. wyrobisk konturujących prowadzono jednocześnie od strony frontu pola oraz wiązki upadowych N-3. Z kolei na prawym skrzydle wykonywano wiązkę chodników konturujących T,W-250. Roboty likwidacyjne w polu uruchomiono w maju 2010 roku. W trakcie prowadzenia rozcinki lewego naroża calizny napotkano wiele utrudnień z zabudową stropu i utrzymaniu jego stateczności, związanych z lokalnym występowaniem dolomitu kawernistego. Wraz z rozwijającą się eksploatacją złoza w polu XX/1 w sąsiedztwie zrobów pola G-6/7 oraz towarzyszącą tym robotom aktywność sejsmiczną, w tym okresowe występowanie zjawisk o energiach rzędu 10^6 J i 10^7 J wprowadzono dodatkowe elementy profilaktyki tapaniowej w postaci strzałń odprężających w caliznie. Coraz częściej zaczęły pojawiać się trudności związane z pogorszeniem warunków stropowych, co uniemożliwiało dalsze bezpieczne prowadzenie komór. Wówczas zatrzymywano ich postęp i odtwarzano linię frontu pasami uruchamianymi z dostępnych przodków. Pod koniec roku 2014 front rozcinki osiągnął planowaną linię zakończenia (wybiegu), kontynuowano jedynie roboty likwidacyjne.

Pole XIX/1 (RZ). Zgodnie z obowiązującym planem ruchu na lata 2011–2013 w północnej części obszaru górniczego zaprojektowano eksploatację w parceli XIX/1 po rozciągłości frontem o długości około 500 m. W celu udostępnienia złoza w pierwszej kolejności wykonano wiązkę wyrobisk startowych (pasów) wraz z przecinkami, a w kolejnym etapie realizowano roboty przygotowawcze (rozcięcie filarów wielkogabarytowych, upodatnienie krawędzi calizn. W sąsiedztwie prawego skrzydła pola wykonano wiązkę wyrobisk przygotowawczych wraz z przecinkami (dla celów wentylacyjno-komunikacyjnych) w kontekście rozwijającej się eksploatacji w tej części kopalni. Front eksploatacyjny uruchomiono i prowadzono zgodnie z założeniami systemu R-UO, przy czym od 2013 roku z uwagi na występujące zagrożenie gazowe dla wyodrębnienia dróg odprowadzania powietrza i gazów kopalnianych (tunele wentylacyjne) sukcesywnie modyfikowano geometrię rozcinki poprzez wydłużanie i/lub odwracanie kierunku pierwotnie zaprojektowanych filarów technologicznych. W konsekwencji w skorygowanej geometrii od strony prawego skrzydła frontu prowadzono rozcinkę pasami, zachowując wyprzedzenie od strony upodatnionej. Wraz z postępem pasów wykonywano dalszą rozcinkę calizny komorami utrzymując dotychczasową, zasadniczą geometrię filarów. Ponieważ zagrożenie gazowe w polu stopniowo zaczęło spadać, toteż w październiku 2014 roku podjęto decyzję o braku konieczności wykonywania kolejnych tuneli wentylacyjnych. Eksploatacja do końca roku 2015 przebiegała zgodnie z początkowymi parametrami i założeniami systemowymi.

Główne założenia w zakresie metod/środków profilaktyki zagrożenia tapaniami ujęwane w odpowiednich projektach szczegółowych (aktualizacjach) dotyczących wszystkich trzech rozpatrywanych pól były w gruncie rzeczy zbliżone (zasadnicze różnice występowały przede wszystkim w częstotliwości wykonywania pomiarów/obserwacji w ramach bieżących ocen stanu zagrożenia) i obejmowały przede wszystkim:

- wyznaczanie stref szczególnego zagrożenia tapaniami w kilku pasach przycaliznowych obszaru roboczego z ograniczeniami limitu zatrudnienia załogi do około 15 osób mogących jednocześnie przebywać w strefie,

TABELA 2. Modyfikacje w zakresie profilaktyki łąpaniowej dla wybranych pól eksploatacyjnych (Materiały... 2016)

TABLE 2. Modifications of the rockburst prevention measures in the selected panel regions

	Pole G-7/5 (duża miąższość)	Pole XX/1 (średnia miąższość)	Pole XIX/1 (mała miąższość)
Wyodrębniony okres eksploatacji	2002–2015	2009–2015	2011–2015
System eksploatacji	<ul style="list-style-type: none"> → dla miąższości do 7,0 m system komorowo-filarowy R-UO z upodatnieniem złoża i dodatkową ochroną stropu → w części złoża o miąższości od 7,0 m do 9,0 m system komorowo-filarowy RG-6 z likwidacją dolnej warstwy podsadzka suchą → w części złoża o miąższości powyżej 9,0 m system komorowo-filarowy J-3S/PH lub RG-8 z podsadzka hydrauliczną 	<ul style="list-style-type: none"> → w przypadku, gdy miąższość złoża jest większa niż od 7,0 m system komorowo-filarowy RG-6 z likwidacją dolnej warstwy podsadzka suchą → w części złoża o miąższości do 7,0 m system komorowo-filarowy R-UO z upodatnieniem złoża i dodatkową ochroną stropu 	<ul style="list-style-type: none"> → system komorowo-filarowy R-UO z upodatnieniem złoża i dodatkową ochroną stropu
Długość frontu eksploatacyjnego	600 m	450 m	530 m
Strefa szczególnego zagrożenia łąpaniami	korekty: 6 → (zakres zmian: najmniejszy limit załogi mogącej przebywać w strefie 10, największy 20)	korekty: 2 → (zakres zmian: najmniejszy limit załogi mogącej przebywać w strefie 10, największy 16)	—
Strzelania grupowe przodków	korekty: 15 → (zakres zmian: najmniejsza liczba grupowo strzelanych przodków 2, największa 15)	korekty: 4 → (zakres zmian: najmniejsza liczba grupowo strzelanych przodków 0, największa 7)	—
Czas wyczekiwania po robotach strzałowych	korekty: 6 → (zakres zmian: najkrótszy czas wyczekiwania 1,5 godz., najdłuższy 12 godz.)	korekty: 3 → (zakres zmian: najkrótszy czas wyczekiwania 1 godz., najdłuższy 6 godz.)	—
Inne	<ul style="list-style-type: none"> → w przypadku stwierdzenia piaskowca o spoiwie anhydrytowym strzelanie przodków każdorazowo z otworem odprężającym (szerokodymensyjnym) → regulowanie smukłości filarów poprzez zwiększenie do około 10 m szerokości wyrobisk przy stropie tak, by nie kumulowały energii sprężystej 		

- wykonywanie robót rozcinkowych na frontach zasadniczych w oparciu o rygor grupowego strzelania minimum 3 przodków,
- ustalanie czasów wyczekiwania po robotach strzałowych na poziomie wynoszącym minimum 2 godziny,
- zabezpieczanie odsłoniętego stropu wyrobisk eksploatacyjnych poprzez zabudowę kotwi wklejanych (odcinkowo, na całej długości) w sposób określony w projektach doboru obudowy,
- utrzymywanie prawidłowego nachylenia ociosów wyrobisk,
- montowanie na wszystkich czynnych skrzyżowaniach sygnalizatorów rozwarstwień stropu z maksymalnym opóźnieniem do 20 mb od czoła przodków,
- stosowanie (w przypadku wystąpienia przejawów wzmożonego ciśnienia górotworu) aktywnych metod zwalczania zagrożenia tąpnięciami na zasadach określonych odrębnymi poleceniami kierownika działu robót górniczych w porozumieniu z nadsztygarem ds. mechaniki górotworu i obudowy.

Ponadto na czas prowadzenia robót eksploatacyjnych (rozcinkowych, likwidacyjnych) w poszczególnych polach zaplanowany, ogólny harmonogram realizacji badań/pomiarów stanu górotworu uwzględniał (poza ciągłymi obserwacjami sejsmologicznymi):

- obserwacje wizualno-akustyczne (1 raz na dobę) obejmujące: spękania w stropie, wypiętrzenia i spękania spągu, efekty akustyczne w górotworze, zjawiska towarzyszące wierceniom, dźwięczność górotworu, spękania i odspojenia w ociosach filarów (w tym ich rozwój), wycieki wody ze stropu i wypływy ze spągu, zachowanie się obudowy kotwowej, obserwacje procesu rozwarstwień stropu na podstawie wskazań sygnalizatorów,
- pomiary konwergencji (1 raz na dobę),
- pomiary aktywności sejsmoakustycznej mikroprocesorowym licznikiem trzasków MLT-3 (po strzelaniach grupowych przodków),
- pomiary deformacji otworów wiertniczych (1 raz/dobę),
- pomiary rozwarstwień stropu za pomocą wziernika peryskopowego (w zależności od potrzeb),
- kontrolę obudowy (zgodnie z obowiązującymi przepisami).

O ile jednak wymieniony powyżej, założony na etapie projektów ogólny zakres działań profilaktycznych dla trzech wybranych pól był porównywalny (obejmował analogiczne metody), o tyle podczas przebiegu eksploatacji – z uwagi na lokalną zmienność uwarunkowań geologiczno-górnictwa – miały miejsce liczne jego korekty (niejednokrotnie istotne z punktu widzenia zagrożenia tąpnięciami), których syntetyczną charakterystykę przedstawiono w formie zestawienia tabelarycznego (tab. 2).

3. Analiza lokalizacji epicentrum wstrząsów względem frontu robót eksploatacyjnych

Dysponując chronologicznym wypisem z rejestru aktywności sejsmicznej (baza obejmowała wstrząsy o energiach większych bądź równych 1×10^3 J) notowanej w każdym

z rozpatrywanych pól za okres od uruchomienia eksploatacji (od 2002 dla G-7/5, 2009 dla XX/1, 2011 dla XIX/1, tab. 2) do końca roku 2015 (Materiały... 2016), punktem wyjścia dla analiz był efekt sortowania (tab. 3) zjawisk według kryterium:

- usytuowania epicentrum wstrząsu w stosunku do położenia frontu na dzień zaistnienia zdarzenia,
- klasy energetycznej (10^3 – 10^8 J),
- czasu wystąpienia w relacji do wykonywanych strzelań grupowych,

w celu wyodrębnienia grup wstrząsów samoistnych i sprowokowanych, których źródła lokalizowały się w caliznie, na froncie oraz w zrobach (rys. 2). Po wyłączeniu z otrzymanej bazy zjawisk bez określonej (podanej w katalogu) lokalizacji współrzędnych poziomych (w polu G-7/5 odrzucono 27,8% populacji, w polu XX/1 – odrzucono 23,9%, w polu XIX/1 – 21,4%) wyniki tych zabiegów pozwoliły w następnym etapie na pozyskanie informacji co do liczby oraz łącznej energii wstrząsów w poszczególnych grupach, oddzielnie dla każdego pola eksploatacyjnego (tab. 3) tak w ujęciu ilościowym, jak i procentowym.

TABELA 3. Wypis (fragment) z rejestru wstrząsów odnotowanych w polu G-7/5 (Materiały... 2016)

TABLE 3. List of seismic events registered within the panel G-7/5

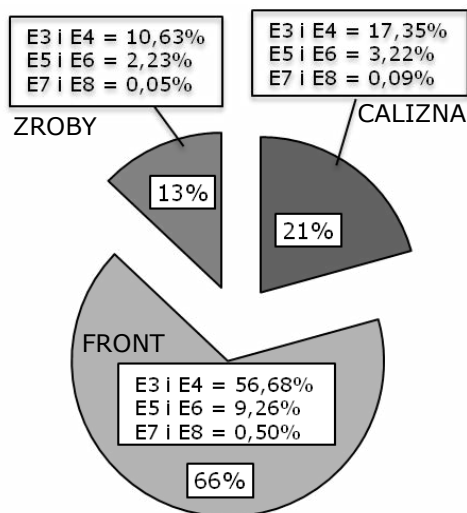
Numer	Data	Godz.	Pole	Eng	X	Y	Z	Typ	Rejon	Uwagi
28195	07.11.2015	05:47:50	G-7/5	9.10E+04	5706097	5577295	-768	W	RG	FL/PP15/CW/+0
28922	17.11.2015	01:32:26	G-7/5	1.80E+04	5706049	5577265	-777	W	RG	CL/PP89/bIC/CW
29045	18.11.2015	16:55:53	G-7/5	1.50E+05	5705938	5576921	-763	W	RG	Z/+0
29126	19.11.2015	17:43:03	G-7/5	3.70E+03	0	0	0	W	RG	PP0s/CW/CP
29489	25.11.2015	01:41:25	G-7/5	1.80E+06	5705569	5577232	-741	W	RG	FP/+0
29577	25.11.2015	23:07:27	G-7/5	2.10E+07	5705496	5577206	-731	O	RG	PS0s/CW/FL
29600	26.11.2015	05:49:41	G-7/5	5.60E+03	0	0	0	W	RG	ZL/PP213
29697	27.11.2015	12:04:45	G-7/5	6.40E+03	5705649	5577220	-763	W	RG	CP/PP40/CW
29822	29.11.2015	00:29:06	G-7/5	1.20E+05	5706171	5577413	-773	W	RG	PP4s/CL/CW/+0

Rezultaty podjętych analiz wskazują, że w polu charakteryzującym się dużą miąższością (G-7/5) odnotowano 2202 wstrząsy (powyżej 1×10^3 J, wyłącznie zlokalizowane), z czego 677 (30,7% populacji) zostało sprowokowane robotami strzałowymi. Suma energii tych wstrząsów wyniosła $9,93 \times 10^8$ J, przy czym $5,57 \times 10^8$ J (56,1%) wygenerowana została

w czasie wyczekiwania. W polu o średniej miąższości (XX/1) na ogólną liczbę odnotowanych 1084 wstrząsy (z podaną lokalizacją poziomą) 282 (26,0%) stanowiły zjawiska sprowokowane. Ich sumaryczna energia kształtowała się na poziomie $5,48 \times 10^8$ J, a udział zjawisk w czasie wyczekiwania (sprowokowanych) wyniósł $2,40 \times 10^8$ J (43,8%). Z kolei w polu wyróżniającym się najmniejszą z rozpatrywanych miąższości (XIX/1) odnotowano (zlokalizowane) 702 wstrząsy (najkrótszy okres eksploatacji), z których 166 (23,6%) sprowokowano strzelaniami grupowymi. Suma energii wszystkich wstrząsów w tym polu wyniosła $7,09 \times 10^7$ J, przy czym $2,02 \times 10^7$ J (28,5%) została wyemitowana na skutek aktywnej profilaktyki tapaniowej (strzelań urabiających, urabiająco-odprężających, odprężających w spągu).

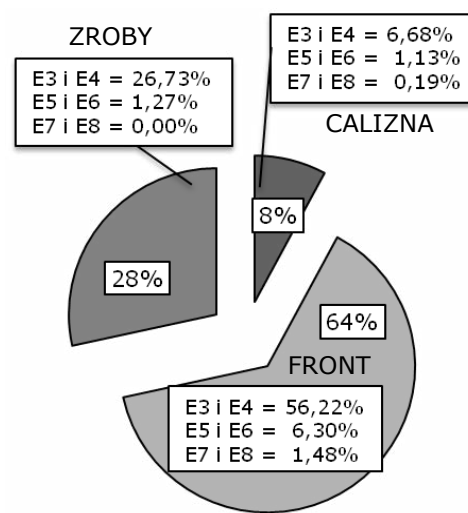
Odnosząc się do usytuowania epicentrum w otoczeniu frontu w ujęciu liczby wstrząsów należy stwierdzić, iż w przypadku pola o dużej miąższości (G-7/5) było najwięcej zjawisk zlokalizowanych w caliznie (21%, rys. 6). Z kolei w dwóch pozostałych polach zjawiska te stanowiły odpowiednio 8% (pole XX/1, rys. 7) i 7% (XIX/1, rys. 8), czyli znacznie mniej niż w polu G-7/5. Warto dodać, że w każdej z trzech rozpatrywanych parcel, w caliznie przeważały wstrząsy niskoenergetyczne rzędu 10^3 J i 10^4 J. Bez względu natomiast na miąższość złoża, w każdym z przypadków to właśnie na froncie wystąpiło najczęściej zjawisk sejsmicznych, z ogromną przewagą (zdecydowanie powyżej 50%) tych o niskiej energii (rys. 6, 7, 8). Jeżeli chodzi o liczbę wstrząsów z epicentrum lokalizującym się w zrobach, to największy udział procentowy odnotowano w polu (XX/1) o średniej miąższości (28%, rys. 7).

W kontekście energii wstrząsów największa sumaryczna energia zjawisk w caliznie przypadła na pole o dużej miąższości (32%, rys. 9) w relacji do dwóch pozostałych pól, gdzie udziały te były znacznie mniejsze i zbliżone do siebie co do wartości (9%, rys. 10 i 11).



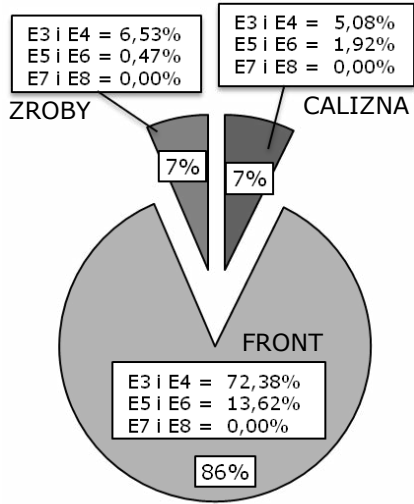
Rys. 6. Diagram liczby wstrząsów względem położenia frontu rozcinkowego w polu G-7/5

Fig. 6. Diagram of seismic events in comparison to the location of panel face G-7/5



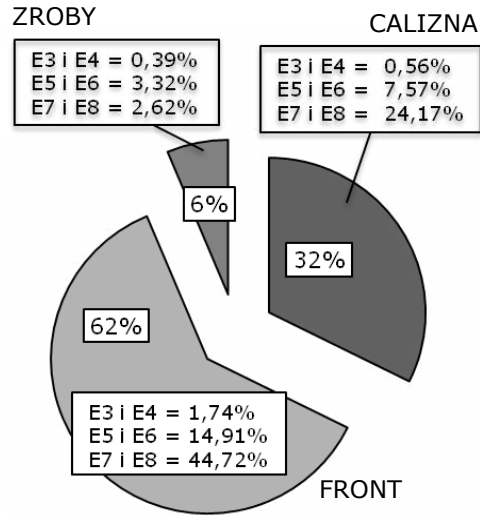
Rys. 7. Diagram liczby wstrząsów względem położenia frontu rozcinkowego w polu XX/1

Fig. 7. Diagram of seismic events in comparison to the location of panel face XX/1



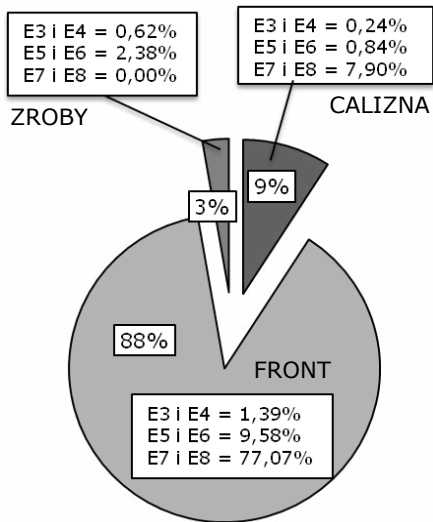
Rys. 8. Diagram liczby wstrząsów względem położenia frontu rozcińkowego w polu XIX/1

Fig. 8. Diagram of seismic events in comparison to the location of panel face XIX/1



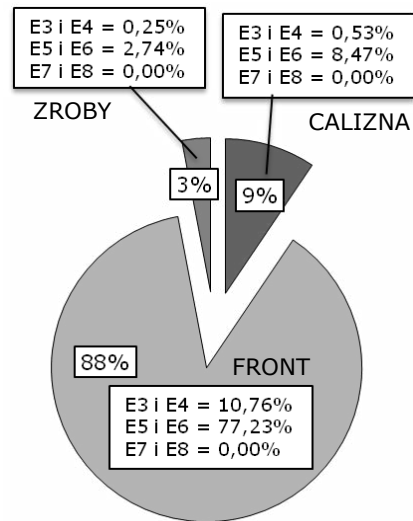
Rys. 9. Diagram energii wstrząsów względem położenia frontu rozcińkowego w polu G-7/5

Fig. 9. Diagram of seismic events energy in comparison to the location of panel face G-7/5



Rys. 10. Diagram energii wstrząsów względem położenia frontu rozcińkowego w polu XX/1

Fig. 10. Diagram of seismic events energy in comparison to the location of panel face XX/1



Rys. 11. Diagram energii wstrząsów względem położenia frontu rozcińkowego w polu XIX/1

Fig. 11. Diagram of seismic events energy in comparison to the location of panel face XIX/1

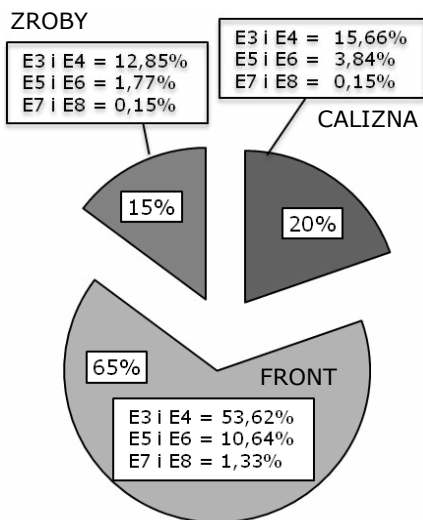
Porównując sumy energii wstrząsów (łącznie we wszystkich klasach energetycznych), które zostały wyemitowane na frontach robót rozcinkowych rozpatrywanych pól, można zauważyć, że zdecydowanie największy udział (aż 88%) odnotowano zarówno dla pola o małej, jak i średniej miąższości (rys. 10, 11), przy czym na uwagę zasługuje fakt, iż w polu XIX/1 (miąższość najmniejsza) zjawiska o energii rzędu 10^5 J i 10^6 J stanowiły 77,2% (rys. 11), zaś w polu XX/1 (miąższość średnia) ponad 77% udział (rys. 10) miały z kolei zjawiska w najwyższych klasach energetycznych (rzędu 10^7 J i 10^8 J).

W przypadku pola G-7/5 (miąższość największa) procentowy udział sumy energii wstrząsów na froncie wyniósł 62%, z czego zjawiska w obrębie klas energetycznych 10^7 J i 10^8 J stanowiły 44,7%, 10^5 J i 10^6 J – 14,9%, zaś 10^3 J i 10^4 J – tylko 1,7% (rys. 9). W odniesieniu do wstrząsów sytuujących się w zrobach własnych zauważalne jest, że wskaźnik sumarycznej energii takich zjawisk w każdym z analizowanych przypadków miał najmniejszą wartość w porównaniu do frontu i calizny (6% w polu G-7/5 i odpowiednio po 3% w pozostałych). Warto podkreślić, że dla pola o średniej miąższości (XX/1) pomimo faktu, że w zrobach lokalizowano ponad trzykrotnie więcej wstrząsów (28%) niż w caliznie (8%, rys. 7), to jednak statystycznie suma energii tych zjawisk miała najmniejszą wartość (3%, rys. 10) – świadczyć to może o relatywnie małej energii sejsmicznej przypadającej na pojedynczy wstrząs.

Ważnych informacji z punktu widzenia tępaków dostarczają analizy dotyczące parametrów sejsmiczności, w tym lokalizacji epicentrum, w wyodrębnionej pierwotnie grupie zjawisk sprowokowanych robotami strzałowymi, bowiem dane te mogą posłużyć jako podstawa dla oceny skuteczności stosowanych metod profilaktyki aktywnej. Z przytoczonych wcześniej rozważań wynika, iż zarówno w ujęciu liczby wstrząsów, jak i ich energii najwyższym (choć obiektywnie nie do końca zadawalającym) poziomem skuteczności działań prewencyjnych cechowały się roboty górnicze realizowane w polu G-7/5 (odpowiednio 30,7% i 56,1%), natomiast najniższym – w polu XIX/1 (odpowiednio 23,6% i 28,5%).

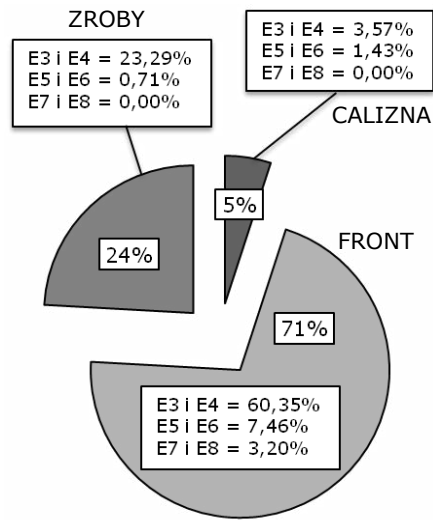
Rezultaty analiz wskazują, że najwyższy udział procentowy liczby wstrząsów w caliznie (przed frontem), zarejestrowanych w czasie wyczekiwania po strzelaniach w otoczeniu przodków komór/pasów, zaobserwowano w polu G-7/5 o dużej miąższości (20%, rys. 12) i był on ponad dwukrotnie większy w stosunku do pola XIX/1 o miąższości małej (9%, rys. 14) oraz czterokrotnie – o miąższości średniej (5%, XX/1, rys. 13). Biorąc natomiast pod uwagę prowokację wstrząsów w bezpośrednim sąsiedztwie linii frontu (najbliższych miejsc wykonywania robót strzałowych), to zdecydowanie największa skuteczność charakteryzowała pole o małej miąższości (87%, rys. 14), następnie średniej (71%, rys. 13), a na końcu dużej (65%, rys. 12). Relatywnie dużą (największą wśród analizowanych obszarów) liczbę zjawisk sprowokowanych, które miały miejsce w zrobach zaobserwowano w polu XX/1 (średnia miąższość, 24%), a najmniejszą w polu XIX/1 (mała miąższość, 4%); dla pola G-7/5 udokumentowano udział pośredni (15%).

Mając na względzie statystykę energii wstrząsów otrzymane zbiory (proporcje) zasadniczo mało przystają do omówionych wcześniej procentowych udziałów w zakresie ich liczby. Niewątpliwie zwraca uwagę rozkład lokalizacji epicentrum wstrząsów dla pola o średniej miąższości XX/1 (rys. 16), gdzie mamy do czynienia z sytuacją specyficzną, w której aż 98% energii wszystkich wstrząsów sprowokowanych odnotowano na froncie rozcinki,



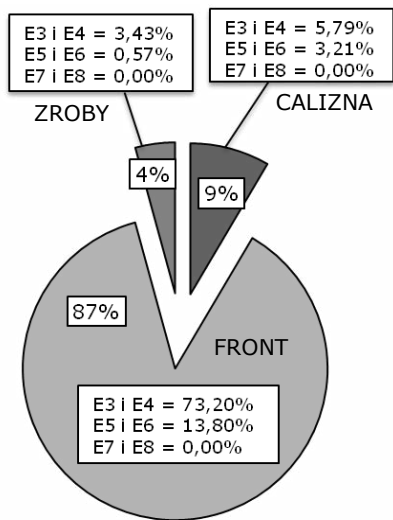
Rys. 12. Diagram liczby wstrząsów spowodowanych w otoczeniu frontu rozcińkowego pola G-7/5

Fig. 12. Diagram of seismic events (provoked by blasting) in comparison to the location of panel face G-7/5



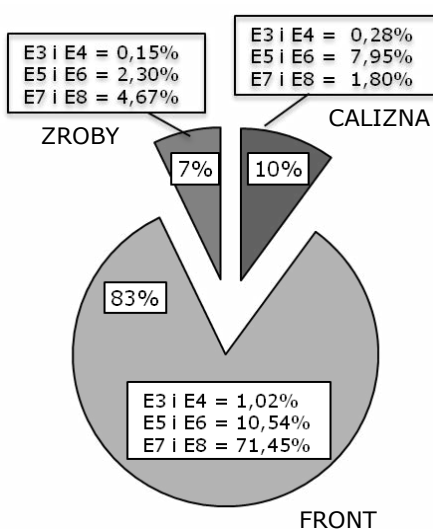
Rys. 13. Diagram liczby wstrząsów spowodowanych w otoczeniu frontu rozcińkowego pola XX/1

Fig. 13. Diagram of seismic events (provoked by blasting) in comparison to the location of panel face XX/1



Rys. 14. Diagram liczby wstrząsów spowodowanych w otoczeniu frontu rozcińkowego pola XIX/1

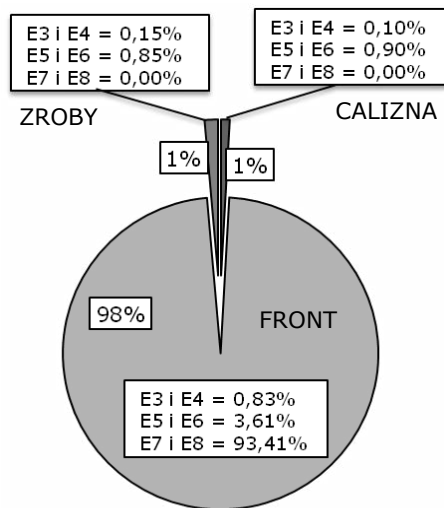
Fig. 14. Diagram of seismic events (provoked by blasting) in comparison to the location of panel face XIX/1



Rys. 15. Diagram energii wstrząsów spowodowanych w otoczeniu frontu rozcińkowego pola G-7/5

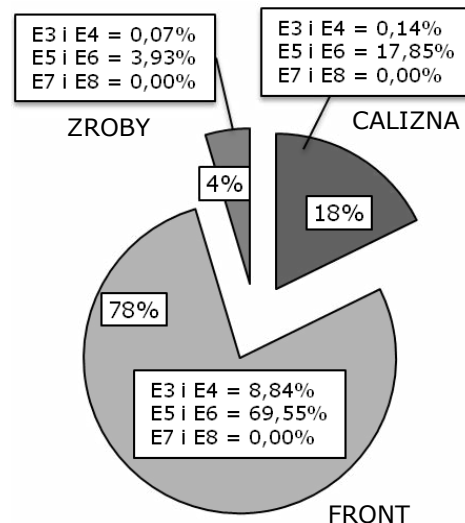
Fig. 15. Diagram of seismic events energy (provoked by blasting) in comparison to the location of panel face G-7/5

a dodatkowo przeważająca część tego udziału (93,4%) przypadła na zjawiska w najwyższych klasach energetycznych (tu konkretnie rzędu 10^7 J). Największy udział energii zjawisk zarejestrowanych w czasie wyczekiwania w caliznie (przed frontem) przypada z kolei na pole o małej miąższości (XIX/1), gdzie kształtował się on na poziomie 18% i obejmował praktycznie wyłącznie klasy energetyczne w przedziale 10^5 – 10^6 J (rys. 17). Dla parceli charakteryzującej się miąższością największą (G-7/5), jako jedynej, gdzie wystąpiły wstrząsy rzędu 10^8 J (3), energia zjawisk sprowokowanych na froncie wyniosła 83% (z ogromną przewagą klas najwyższych energetycznie), natomiast w caliznie – 10% (rys. 15). Analogicznie do rozkładów zjawisk samoistnych, w każdym z rozpatrywanych pól stwierdzono najmniejsze udziały łącznej energii wstrząsów sprowokowanych z epicentrum zlokalizowanym w zrobach, na które przypadało odpowiednio 7% dla pola G-7/5 (duża miąższość), 4% dla pola XIX/1 (mała miąższość) i 1% dla XX/1 (średnia miąższość).



Rys. 16. Diagram energii wstrząsów sprowokowanych w otoczeniu frontu rozcińkowego pola XX/1

Fig. 16. Diagram of seismic events energy (provoked by blasting) in comparison to the location of panel face XX/1



Rys. 17. Diagram energii wstrząsów sprowokowanych w otoczeniu frontu rozcińkowego pola XIX/1

Fig. 17. Diagram of seismic events energy (provoked by blasting) in comparison to the location of panel face XIX/1

Podsumowanie i wnioski

Głównym celem pracy była próba oceny wpływu miąższości złoża bilansowego na sejsmiczność górotworu (liczbę wstrząsów i ich energię) towarzyszącą prowadzeniu robót

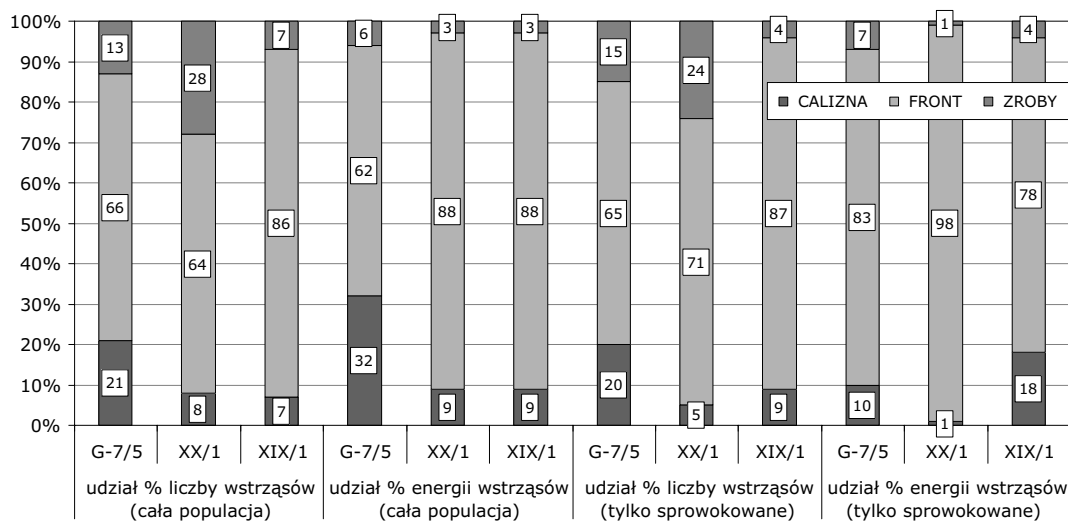
górnictwych w kopalniach LGOM, ze szczególnym uwzględnieniem lokalizacji epicentrum względem frontu rozcinki traktowanej jako pierwsza faza eksploatacji w ramach jednoetapowych, dwufazowych systemów komorowo-filarowych stosowanych w rodzimym górnictwie miedziowym. Badania realizowano na przykładzie KGHM Polska Miedź SA Oddział Zakłady Górnicze Rudna, gdzie bazując na danych dotyczących:

- rzeczywistej wysokości złoże w poszczególnych rejonach kopalni (Rudna Główna, Rudna Północna, Rudna Zachodnia),
- odnotowanej w czasie ostatnich 10 lat aktywności sejsmicznej w tych rejonach,

wytypowano do analiz porównawczych trzy reprezentatywne pola eksploatacyjne (po jednym z każdego rejonu) o znacząco różnych miąższościach wybieranego złoże: G-7/5/RG (miąższość duża), XX/1/RP (miąższość średnia), XIX/1/RZ (miąższość mała). W oparciu o wypis z katalogu wstrząsów w klasach energetycznych powyżej 1×10^3 J w każdym z rozpatrywanych pól za okres począwszy od uruchomienia eksploatacji do końca roku 2015 dokonano analizy liczby i energii odnotowanych zjawisk w kontekście rozmieszczenia współrzędnych epicentrum w odniesieniu do wyodrębnionych elementów systemu wybierania (calizna furty eksploatacyjnej, bezpośrednie sąsiedztwo linii frontu, zroby własne). Eksperyment realizowano na dwóch zbiorach zdarzeń, z jednej strony rozpatrywano całą populację wstrząsów w bazie (co pozwalało na wnioskowanie o ogólnym, globalnym poziomie zagrożenia w rejonie), z drugiej – wydzielony zbiór wstrząsów spowodowanych strzelaniami grupowymi i okołoprzodkowymi (co pośrednio pozwalało na szacowanie skuteczności podejmowanej profilaktyki aktywnej). Każdorazowo uwzględniano podział na zjawiska nisko- (rzędu 10^3 – 10^4 J) i wysokoenergetyczne (10^5 – 10^6 J, 10^7 – 10^8 J), a rezultaty ilustrowano w postaci odpowiednich diagramów (rys. 6–17).

Na podstawie podjętych w pracy rozważań i analiz w zakresie kształtowania się samoistnej i sprowokowanej sejsmiczności górotworu w wytypowanych, opisanych różną miąższością złoże, polach eksploatacyjnych O/ZG Rudna można sformułować następujące wnioski ogólne:

- znamiennej cechą otrzymanych relacji jest znaczna, zarówno w ujęciu liczby, jak i energii, zjawisk, nierównomierność udziałów procentowych lokalizacji epicentrum w otoczeniu frontu tak w odniesieniu do wszystkich odnotowanych wstrząsów, jak również grupy zdarzeń zaistniałych w czasie wyczekiwania po robotach strzałowych (rys. 18);
- wraz ze wzrostem miąższości złoże rośnie populacja (liczba) zjawisk o najwyższych energiach sejsmicznych; w przypadku pola G-7/5 (miąższość duża) rejestrowano wstrząsy rzędu 10^8 J (3) i 10^7 J (18), w przypadku pola XX/1 (miąższość średnia) wyłącznie 10^7 J (20), natomiast w polu XIX/1 (miąższość mała) nie odnotowano zdarzeń w tych klasach energetycznych;
- z uwagi na prawdopodobieństwo wystąpienia skutków w wyrobiskach górnictwych (jest ono przede wszystkim funkcją wzmiankowanej aktywności wysokoenergetycznej oraz odległości hipocentralnych) duży odsetek energii wstrząsów emitowanej w bliskim otoczeniu strefy roboczej przekłada się bezpośrednio na wysoki poziom zagrożenia zjawiskami dynamicznymi; największym udziałem takich zjawisk cechowały się pola XX/1 i XIX/1 (88%) o miąższości średniej i małej;



Rys. 18. Zestawienie zbiorcze lokalizacji epicentrum wstrząsów w otoczeniu frontu eksploatacyjnego

Fig. 18. Compilation of epicenter locations in the neighborhood of the panel face

- niezależnie od miąższości złoża, w każdym z omawianych pól eksploatacyjnych zdecydowanie najwięcej wstrząsów wystąpiło na froncie robót rozcinkowych, największa była również wartość sumarycznego wydatku energetycznego tych zjawisk; analogiczna uwaga dotyczy także grupy zdarzeń sprowokowanych (zaistniałych w czasie wyczekiwania);
- w odniesieniu do lokalizacji epicentrum w obszarze pozostałych elementów systemu eksploatacji (zroby, calizna) więcej zjawisk w każdym polu miało miejsce w caliznie (przed frontem robót) aniżeli w zrobach (poza strefą roboczą), lecz tylko w ujęciu energetycznym; w aspekcie liczby zdarzeń analogiczną zależność uzyskano w polu G-7/5, odwrotna dotyczyła pola XX/1 (więcej wstrząsów w zrobach), natomiast w polu XIX/1 procentowe udziały calizna/zroby były porównywalne;
- rozpatrując podział na klasy (przedziały) energetyczne rezultaty analiz nie wskazały na istnienie jednoznacznych relacji; przewaga epicentrow wstrząsów o najniższych energiach (rzędu 10^3 – 10^4 J) znajduje się wyraźnie po stronie zrobów/frontu (dotyczy zarówno całej populacji, jak i zjawisk sprowokowanych); w przypadku wstrząsów wysokoenergetycznych (od 1×10^5 J) waga udziałów liczby zdarzeń przesuwają się w kierunku frontu/calizny eksploatowanych pól.

Z uwagi na złożoność procesów fizycznych zachodzących w ognisku wstrząsu, a także zależność wystąpienia indukowanego eksploatacją zjawiska sejsmicznego od wielu innych czynników geologicznych/górnictwowych, których w pracy nie analizowano, przedstawione rozważania i sformułowane w oparciu o nie wnioski mają charakter jakościowy.

Literatura

- Burtan i in. 2017 – Burtan, Z., Chlebowski, D., Cieślak, J. i Zorychta, A. 2017. Analiza parametrów sejsmiczności indukowanej górotworu w rejonach eksploatacyjnych O/ZG Rudna. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 97. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Burtan i in. 2010 – Burtan, Z., Zorychta, A. i Chlebowski, D. 2010. Analiza stanu zagrożenia sejsmicznego w polu XVII/1 O/ZG Rudna w aspekcie możliwości uaktywnienia się stref uskokowych. *Przegląd Górniczy* t. 66, nr 3–4. Katowice: Wyd. Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa.
- Chlebowski, D. 2011. Energetyczna ocena możliwości wystąpienia procesów pęknięcia w utworach anhydrytowych na przykładzie oddziału G-22 O/ZG Rudna. *Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, Górnictwo i Środowisko* nr 4/2, Katowice.
- Dubiński i in. 1999 – Dubiński, J., Mutke, G. i Stec, K. 1999. Rozwiązania w sejsmologii górniczej poprawiające efektywność oceny stanu zagrożenia sejsmicznego. *Geologia* t. 25, z. 1. Kraków: Wyd. AGH.
- Gołda i in. 2015 – Gołda, A., Śladkowski, G. i Wieczorek, K. 2015. Mechanizmy ognisk wstrząsów górniczych zarejestrowanych w trakcie eksploatacji pokładu 209 ścianą 911 w bloku D KWK Ziemowit. *Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud „Cuprum”* nr 1 (74). Wrocław: Wyd. KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR.
- Knopik i in. 2015 – Knopik, M., Zuberek, W. i Wojtecki, Ł. 2015. Wieloprzyczynowość wysokoenergetycznych wstrząsów górniczych. *Przegląd Górniczy* t. 71, nr 12. Katowice: Wyd. Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa.
- Konopko, W. 2009. Wieloźródłowość wstrząsów górotworu. *Materiały konferencyjne Warsztaty 2009 (Zagrożenia w górnictwie)*. Bogatynia.
- Koziarz, E. i Szłapka, M. 2010. Kierunki dalszego rozwoju informatycznego systemu do bezpośredniej lokalizacji zjawisk dynamicznych w O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź SA. *Wiadomości Górnicze* nr 3. Katowice: Wyd. Górnictwo Sp. z o.o.
- Laskowski i in. 2015 – Laskowski, M., Wróbel, J. i Domerecki, A. 2015. Wpływ uwarunkowań geologiczno-górniczych i rejestrowanej aktywności sejsmicznej na przebieg eksploatacji w polu XVII/1 w KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Rudna. *Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud „Cuprum”* nr 1 (74). Wrocław: Wyd. KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR.
- Leśniak, A. 2014. Identyfikacja sejsmicznych zjawisk podobnych rejestrowanych w kopalniach podziemnych. *Przegląd Górniczy* t. 70, nr 3. Katowice: Wyd. Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa.
- Materiały źródłowe KGHM Polska Miedź SA O/ZG Rudna w Polkowicach*, 2016 (materiały niepublikowane).
- Mirek i in. 2001 – Mirek, A., Bargiel, K. i Szłapka, M. 2001. Organizacja i zadania kopalnianej stacji geofizyki górniczej dla potrzeb monitoringu sejsmiczności górotworu w O/ZG Rudna. *Materiały X Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Szczyrk.
- Opracowanie zasad i sposobu klasyfikowania stropów i spągów dla oceny skłonności górotworu do tąpnięć oraz zaliczania partii złóż do odpowiedniego stopnia zagrożenia tąpnięciami w kopalniach rud miedzi*. KGHM Cuprum Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe, Wrocław, 2013 (materiały niepublikowane).
- Rudziński, Ł. i Lizurek, G. 2015. Mechanizm zjawiska sejsmicznego oraz tąpnięcia w OZG Rudna w Polkowicach z 19.03.2013 z wykorzystaniem lokalnych i regionalnych sieci sejsmologicznych. *Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud „Cuprum”* nr 3 (76). Wrocław: Wyd. KGHM Cuprum Sp. z o.o. CBR.
- Stec, K. 2012. Focal mechanisms of mine-induced seismic events an explanation of geomechanical processes in the area of Longwall 6, seam 510 in hard coal mine Bobrek-Centrum. *Archives of Mining Sciences* t. 57, nr 4. Kraków: Wyd. Instytutu Mechaniki Górotworu PAN.
- Stec, K. i Błaszczak, E. 2008. Charakterystyka procesów zachodzących w ogniskach wysokoenergetycznych wstrząsów występujących w czasie eksploatacji ściany 17 w pokładzie 361 KWK Knurów. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 24, z. 2/3. Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Stec, K. i Wojtecki, Ł. 2011. Charakterystyka mechanizmu ognisk wstrząsów górotworu związanych z eksploatacją pokładu 510 ścianą 502 w kopalni węgla kamiennego Bielszowice. *Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, Górnictwo i Środowisko* nr 1, Katowice.
- Świeżowski, M. 2016. *Analiza porównawcza stosowanych metod i środków profilaktyki tąpniowej w złożu o różnej miąższości na przykładzie wybranych pól eksploatacyjnych KGHM Polska Miedź SA O/ZG Rudna*. Praca magisterska, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków (materiały niepublikowane).
- Talaga i in. 2017 – Talaga, A., Koziarz, E. i Rudziński, Ł. 2017. Skomplikowany mechanizm pęknięcia górotworu w warunkach działania kopalni głębinowej na podstawie zjawiska sejsmicznego z O/ZG Rudna

w Polkowicach. *Przegląd Górniczy* t. 73, nr 4. Katowice: Wyd. Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa.

Zorychta i in. 2005 – Zorychta, A., Burtan, Z. i Chlebowski, D. 2005. Wpływ warunków górniczych na kształtowanie się stanu zagrożenia wstrząsami i tąpnięciami. *Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud „Cuprum”* nr 3 (36). Wrocław: Wyd. KGHM Cuprum Sp. z.o.o. CBR.