

Władysław KONOPKO
Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Wieloźródłowość wstrząsów górotworu

Słowa kluczowe

wstrząsy górotworu, tapania, zagrożenie tapaniami

Streszczenie

Ogniska wstrząsów górotworu generowanych robotami górniczymi, w szczególności eksploatacją złoża, mogą lokalizować się w złożu, w otaczającym go górotworze poddawanych deformacjom w rezultacie aktualnie prowadzonych robót, względnie mogą być skutkiem całokształtu robót dokonanych w danym rejonie (w parceli, w polu eksploatacyjnym). W oparciu o uogólnienie kopalnianych badań sejsmologicznych podjęto próbę identyfikacji źródeł tych wstrząsów.

1. Wstęp

W pracy [6] zwrócono uwagę na wielomodalność wstrząsów górotworu generowanych eksploatacją pokładów węgla. Pozwala to odróżnić wstrząsy generowane w pokładzie (w złożu) od wstrząsów, których hipocentra znajdują się w skałach otaczających. W obu przypadkach mogą to być wstrząsy **powtarzalne**, właściwe dla danego pokładu (złoża) i/lub otaczającego górotworu o porównywalnych warunkach geologiczno – górniczych na wybiegu danego wyrobiska, w szczególności na wybiegu frontu eksploatacyjnego. W przypadku zbliżania się frontu robót do anomalnych warunków powodowanych zaburzeniami geologicznymi (uskoki, silne zafałdowania, wymycia złoża i inne) lub też zaszłości eksploatacyjnych (resztki, krawędzie, zroby, nadmierne rozcięcie pokładu i inne) generowane są wstrząsy **incydentalne**, na ogół o znacznie wyższych energiach sejsmicznych niż energie wstrząsów powtarzalnych. Równocześnie występują lub mogą występować wstrząsy **regionalne**, których przyczyn nie udaje się jednoznacznie powiązać z eksploataowanym pokładem (złożem) ani też z deformacją warstw wstrząsogennych w rezultacie aktualnie prowadzonej eksploatacji, ale których związku ze wstrząsem regionalnym nie można wykluczyć. Takie rozróżnienie przyczyn wstrząsów górotworu stwarza przesłanki dla doboru odpowiedniej profilaktyki tapaniowej i stosowania jej w źródle zagrożenia. Może więc mieć istotny wpływ na ograniczenie liczby i skutków tapanień „w wyniku których wyrobisko lub jego odcinek uległo gwałtownemu zniszczeniu lub uszkodzeniu, w następstwie czego nastąpiła całkowita lub częściowa utrata jego funkcjonalności lub bezpieczeństwa jego użytkowania” względnie tzw. odprężeń „...w wyniku których wyrobisko lub jego odcinek uległo uszkodzeniu,

nie powodującemu jednak utraty jego funkcjonalności lub pogorszenia bezpieczeństwa jego użytkowania”[12].

2. Wstrząsy górotworu i tąpnięcia w polskich kopalniach podziemnych

Wstrząsy i tąpnięcia w Polsce występują w większości kopalń węgla kamiennego i we wszystkich kopalniach rud miedzi. Te dwa odległe zagłębia, o różnych parametrach geologiczno – górniczych, posiadają kilka porównywalnych uwarunkowań prowadzenia robót górniczych:

- maksymalna głębokość eksploatacji w obu zagłębiach kształtuje się na poziomie około 1200 -1300 m, przy średniej głębokości rzędu 700 – 750 m,
- złoża węgla kamiennego GZW jest wielopokładowe, przy maksymalnej grubości jednego pokładu rzędu 20 m (pokład 510, KWK Kazimierz – Juliusz),
- złoża LGOM jest typu jednopokładowego, przy maksymalnej grubości „pokładu” również rzędu 20 m (O/ZG Rudna),
- przy wybieraniu pokładów węgla kamiennego (zasadniczo w porządku „z góry ku dołowi”), w poszczególnych pokładach z różnych przyczyn pozostawiono szereg resztek, które mają udowodniony wpływ zarówno na wartość sejsmiczną generowanych wstrząsów górotworu jak też i na zagrożenie tąpnięciami,
- w złożu rud miedzi występują partie nieokruszcowane, pozostawiane w zrobach w charakterze „resztek”, które nie pozostają bez wpływu na stan zagrożenia sejsmicznego i tąpnięciami,
- pokłady węgla kamiennego wybierane są systemem ścianowym, przeważnie z zawałem stropu, rzadko z podsadzką hydrauliczną (~ 4% wydobycia); długości ścian mieszczą się w przedziale 150- 400 m, średnio około 200 – 250 m,
- złoża rud miedzi eksploatowane jest systemem komorowo – filarowym (w różnych odmianach), jednakże z zachowaniem długości frontu eksploatacyjnego w przedziale 200 – 400 m [1, 3], średnio około 300m (długości frontu eksploatacyjnego lub jego „skrzydła”); eksploatacja prowadzona jest przeważnie z zawałem stropu, rzadziej z podsadzką hydrauliczną lub z podsadzką suchą (tzw. lokowanie kamienia w zrobach),
- w obu zagłębiach roboty górnicze generują wstrząsy górotworu o energii $E < 10^{10}$ J;
- minimalne wartości energii wstrząsów, przy których notowano tąpnięcia, kształtują się na poziomie $E = 5 \cdot 10^3$ J w KWK [4] i o rząd wyższe w LGOM [2, 5, 8] w przypadku gdy ognisko wstrząsu znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska,
- w obu zagłębiach najczęściej tąpnięć notowano przy $E = 10^6 - 10^7$ J [2, 8].

W analizie zależności liczby wstrząsów n_w od ich energii bazuje się na liniowej zależności Gutenberga – Richtera aproksymującej wyniki badań trzęsień Ziemi, a określonej równaniem

$$\log n_w = a + b M_L \quad (2.1)$$

gdzie: M_L jest magnitudą wstrząsu.

Przy określaniu energii wstrząsów w J, jak to jest przyjęte w polskim górnictwie, liniowego rozkładu tej zależności nie potwierdzają wyniki obserwacji sejsmologicznych prowadzonych zarówno w kopalniach GZW [10, 11] jak też i w kopalniach LGOM [2]. Nie może powyższego poddawać w wątpliwość fakt, że nie wszystkie wstrząsy niskoenergetyczne są rejestrowane

[13]. Jeżeli nawet wstrząsy o $E < 10^3$ J w wielu przypadkach nie są rejestrowane, to nie można przyjąć, że wstrząsy o $E \geq 10^5$ J są pomijane. Wstrząsy tego rzędu energii sejsmicznej są już istotne dla oceny stanu zagrożenia tąpnięciami, a nawet występowania tąpnięć. Natomiast nie można wykluczyć niedoszacowywania wartości energii pojedynczych wstrząsów przez kopalniane stacje geofizyki, przede wszystkim ze względu na przesterowania zapisów wstrząsów wysokoenergetycznych.

Przyjrzyjmy się rozkładowi wymienionej zależności w obu zagłębieniach za ostatnie 10 lat, to jest za lata 1999 – 2008.

W kopalniach LGOM jednolicie badane i centralnie dokumentowane są wstrząsy górotworu o $E \geq 10^3$ J; w kopalniach GZW badania są ujednoczone, natomiast centralnie weryfikowane i dokumentowane są wstrząsy o $E \geq 10^5$ J przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną (GRSS).

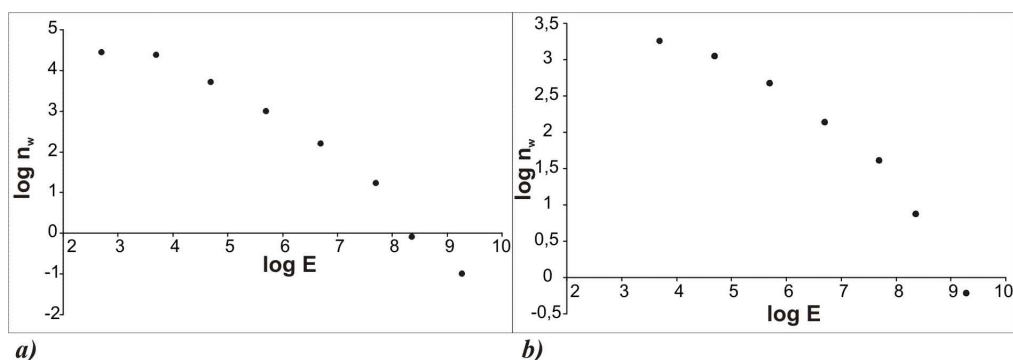
Dzięki uprzejmości geofizyków zatrudnionych w kopalniach węgla kamiennego - na moja prośbę - udostępniono pełne wykazy wstrząsów górotworu z lat 1999-2008 o $E \geq 10^2$ J. Nie można mieć złudzeń, że wykazy te zawierają wszystkie wstrząsy rzędu 10^2 J. Ich ilość można traktować jako orientacyjną, przybliżoną. Jednakże nie można mieć zastrzeżeń co do ilości zarejestrowanych wstrząsów rzędu 10^3 J, a zwłaszcza 10^4 J i o wyższych energiach, z przyczyn uprzednio podanych.

Konfrontacja otrzymanej z kopalń GZW liczby wstrząsów o $E \geq 10^5$ J w poszczególnych rzędach energii z udokumentowanymi w GRSS wykazuje pewne odchyłki, tym procentowo większe, im dotyczą wyższego rzędu energii. W szczególności jedno zdarzenie o $E = 1 \cdot 10^9$ J, które wystąpiło w kopalni węgla w rozpatrywanym przedziale czasu, zarejestrowane zostało w kopalni jako zdarzenie rzędu 10^8 J. W związku z powyższym do dalszych rozważań wzięto pod uwagę liczby wstrząsów o $E \geq 10^5$ J wg dokumentacji GIG – GRSS, a zaniżoną ich ilość w wykazie wstrząsów wysokoenergetycznych uzyskaną z kopalń uzupełniono z rejestru wstrząsów o jeden rząd niższych. Ponadto przyjęto, że wstrząsy licznie występujące w obu zagłębieniach o $E \leq 10^7$ J w każdym rzędzie posiadają średnią energię $E = 5 \cdot 10^{x-8}$ J, natomiast dla wstrząsów sporadycznie lub rzadko występujących (tzn. 10^8 i 10^9 J) uwzględniono ich średnie zarejestrowane wartości.

W kopalniach LGOM wstrząsów o energii rzędu 10^8 J w rozpatrywanym dziesięcioleciu zarejestrowano 74, a ich średnia wartość energii wyniosła $2,29 \cdot 10^8$ J, przy zmienności mnożnej 1,1 – 7,7. Wstrząsów o energii rzędu 10^9 J w tym czasie wystąpiło 6 przy średniej wartości $1,90 \cdot 10^9$ J i zmienności mnożnej w granicach 1,0 – 2,5. Dokładne dane co do energii wstrząsów rzędu 10^8 - 10^9 J uzyskałem dzięki uprzejmości pracowników działów geofizyki kopalń LGOM.

W kopalniach GZW w analizowanym okresie wystąpiło 8 wstrząsów o energii 10^8 J przy średniej wartości energii zgodnie z zapisem GRSS $-3,8 \cdot 10^8$ J i zmienności mnożnej 1,0 – 7,0. Zanotowano też jeden wstrząs o energii $1 \cdot 10^9$ J.

Uwzględniając powyższe średnie roczne zależności liczby wstrząsów górotworu od ich rejestrowanej energii sejsmicznej przedstawiono na rys. 2.1 w układzie bilogarytmicznym. Nie ulega wątpliwości, że nie są to zależności liniowe.



Rys. 2.1. Zależność liczby wstrząsów górotworu n_w od ich energii E , J

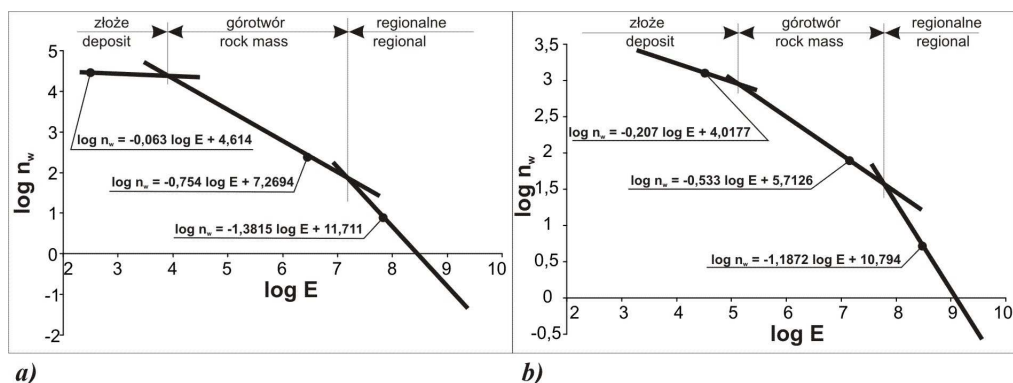
a) kopalnie węgla kamiennego GZW

b) kopalnie rud miedzi LGOM

Fig. 2.1. Dependence between the number of mining tremors n_w and their energy E , J

a) hard coal mines in Upper Silesian Coal Basin

b) copper mines in Lubin - Głogów Copper Basin



Rys. 2.2. Źródła wstrząsów górotworu

a) kopalnie węgla kamiennego GZW

b) kopalnie rud miedzi LGOM

Fig. 2.2. Sources of the mining tremors.

a) hard coal mines in Upper Silesian Coal Basin

b) copper mines in Lubin - Głogów Copper Basin

Rozkład punktów pomiarowych (rys. 2.2) wskazuje, że w obu przypadkach może on być aproksymowany trzema zależnościami liniowymi:

Dla kopalń GZW

$$\log n_w = -0,063 \log E + 4,614 \quad (2.2)$$

dla $E \leq 6,94 \cdot 10^3 \text{ J}$

$$\log n_w = -0,754 \log E + 7,269 \quad (2.3)$$

dla $6,94 \cdot 10^3 < E \leq 1,2010^7 \text{ J}$

$$\log n_w = -1,3815 \log E + 11,711 \quad (2.4)$$

dla $E > 1,20 \cdot 10^7 \text{ J}$

Odpowiednio dla kopalń LGOM zależności te opisują równania

$$\log n_w = -0,207 \log E + 4,0177 \quad (2.5)$$

dla $E \leq 1,58 \cdot 10^5 \text{ J}$

$$\log n_w = -0,533 \log E + 5,7126 \quad (2.6)$$

dla $1,58 \cdot 10^5 < E \leq 4,33 \cdot 10^7 \text{ J}$

$$\log n_w = -1,1872 \log E + 10,794 \quad (2.7)$$

dla $E \geq 5,85 \cdot 10^7 \text{ J}$

Nie może być dziełem przypadku, że pierwsze przedziały tych zdarzeń w obu zagłębiach odpowiadają najniższym energiom wstrząsów towarzyszących tąpnięciom i/lub odprężeniom ze skutkami (tzw. elementarnym energiom tąpnięcia [4]), środkowe przedziały – wartościom wstrząsów towarzyszących najczęściej występującym tąpnięciom [2, 4, 5, 7, 8] i wreszcie trzecie przedziały – wstrząsom sporadycznie występującym, zwanym inaczej wstrząsami regionalnymi.

Stąd z dużą dozą prawdopodobieństwa można przyjąć, że wstrząsy z pierwszego przedziału generowane są w złożu lub w najbliższym jego otoczeniu, wstrząsy z drugiego przedziału generowane są w górotworze intensywnie deformowanym aktualnie prowadzoną eksploatacją złoża, a wstrząsy trzeciego przedziału – są rezultatem całokształtu dotychczas prowadzonych robót górniczych w danej partii (parceli) złoża, a roboty aktualnie prowadzone są jedynie bodźcem, „zapalnikiem” wywołującym na ogół najsilniejsze wstrząsy w danym rejonie.

Nie wydaje się, ażeby na taką interpretację istotny wpływ mogła mieć pewna liczba wstrząsów przypisanych wyróżnionym przedziałom przez wstrząsy pochodzące z innych przedziałów. Nie ulega wątpliwości, że np. w deformowanym stropie nie występują wstrząsy o wartości energii przypisanej wstrząsom generowanym w złożu lub też wstrząsy regionalne (w podanym ich rozumieniu) miały wyłącznie najwyższe wartości w danym rejonie. Pogranicza przedziałów mogą być nieco zniekształcone, niemniej jednak szereg przesłanek wskazuje na taką ich interpretację, a duża ilość obserwacji je uzasadnia. Wskazują na to również obserwacje zmienności wstrząsów pierwszego przedziału w zależności od zwięzłości złoża. W kopalniach węgla kamiennego energie pierwszego przedziału są niższe w kopalniach eksploatujących pokłady węgla koksowego, z reguły o niskich parametrach wytrzymałościowych ($R_c = 5 \div 10 \text{ MPa}$) w odniesieniu do obserwowanych w kopalniach eksploatujących wysokowytrzymałe węgle energetyczne ($R_c = 20 \div 30 \text{ MPa}$), a zwłaszcza istotna różnica pomiędzy granicami energii wstrząsów pierwszego przedziału w kopalniach GZW i LGOM. Podkreślić należy, że w kopalniach LGOM na zawyżenie wartości wstrząsów pierwszego przedziału mają istotny wpływ lokalnie występujące w spągowej części złoża piaskowce o lepszemu anhydrytowym o zwiększonej wytrzymałości w odniesieniu do partii, w których piaskowce te posiadają lepsze ilaste.

O rozgraniczeniu przedziału drugiego i trzeciego świadczy również fakt, że w obu zagłębiach wstrząsy regionalne, z reguły o najwyższych energiach sejsmicznych, nie zawsze związane są z tąpnięciami w czynnych wyrobiskach, a także liczby nieszczęśliwych wypadków przy tąpnięciach związanych ze wstrząsami regionalnymi nie są większe niż przy wstrząsach drugiego przedziału [2, 8]. Wznosić można, że przy wstrząsach regionalnych i tąpnięciach

z tym związanych destrukcja skał i wyrobisk najczęściej zachodzi w partiach wyeksploatowanych, odciętych (odizolowanych) od wyrobisk czynnych.

W istotny sposób taką interpretację wstrząsów generowanych w złożu i w skałach otaczających robotami aktualnie prowadzonymi i wstrząsów regionalnych uzasadniają badania ich ognisk. W pracach [10, 11], przy powołaniu się na ustalenia szeregu różnych badaczy, w oparciu o procentowe ilości poszczególnych składowych tensora momentu sejsmicznego „wyodrębniono grupę wstrząsów słabszych energetycznie, które występowały w sąsiedztwie czynnych frontów eksploatacyjnych i charakteryzowały się eksplozyjnym lub implozyjnym typem mechanizmu ognisk. Drugą grupą zjawisk są wstrząsy wysokoenergetyczne o charakterze regionalnym, powstające na skutek współdziałania naprężeń eksploatacyjnych i tektonicznych często w większych odległościach od wyrobisk górniczych. Najczęstszym typem mechanizmu ognisk w tej grupie wstrząsów był mechanizm poślizgowy normalny z zaznaczającym się poziomym przesunięciem w ognisku wstrząsu. Azymuty płaszczyzn rozrywu i ich upady dla tych zjawisk korelowały się z rozciągłością i upadem uskoku, w pobliżu których zlokalizowane były ogniska wstrząsów”.

Wyróżnione trzy grupy wstrząsów – przy rozpatrywaniu konkretnego pola eksploatacyjnego mogą mieć uzasadnienie w przypadku nie występowania w nim czynników zakłócających zarówno prowadzenie robót jak też i stan zagrożenia sejsmicznego i tapaniami. Indywidualnie stan wymiennych zagrożeń powinien być analizowany przy prowadzeniu robót w zasięgu oddziaływania:

- zaburzeń tektonicznych
- zaszłości eksploatacyjnych.

W takich warunkach mogą występować wstrząsy incydentalne, o wartości energii sejsmicznej i skutków w wyrobiskach istotnie różnych od wymienionych trzech miejsc ich inicjacji.

3. Stwierdzenia i wnioski

Przedstawiono propozycję odróżniania źródeł wstrząsów górotworu:

- **powtarzalnych**, o hipocentrach w złożu i/lub w skałach otaczających, stale występujących w porównywalnych warunkach geologiczno – górniczych, o przewidywalnej energii i ewentualnych skutkach zarówno dla wyrobisk górniczych jak i dla infrastruktury powierzchniowej,
- **incydentalnych**, występujących przy zbliżaniu się robotami górniczymi do anomalnych warunków geologiczno – górniczych lub przy prowadzeniu robót w takich warunkach (różnego rodzaju zaburzeń geologicznych i zaszłości eksploatacyjnych), trudnych do jednoznacznego zwymiarowania zarówno co do wartości energii jak i skutków, ale o przewidywalnych miejscach występowania podwyższonego stanu zagrożenia,
- **regionalnych**, na obecnym etapie badań nieprzewidywalnych zarówno co do wartości energii jak i miejsca wystąpienia.

Jednoznaczne zlokalizowanie hipocentrow wstrząsów w określonym źródle stwarza szansę na optymalizację szeroko rozumianej profilaktyki tapaniowej i miejsca jej stosowania, a tym samym na istotne ograniczenie występowania tych groźnych zdarzeń i ich skutków. Przypuszczać należy, że udokładnienie lokalizacji hipocentrow wstrząsów pozwoli na pozytywne zweryfikowanie treści niniejszego artykułu.

Literatura

- [1] Butra J. 2001: Metoda doboru systemu eksploatacji złóż rud miedzi w polach o jednorodnej charakterystyce geologicznej. Studia –Rozprawy – Monografie Nr 89. Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Kraków.
- [2] Informacja na temat stanu zagrożenia tąpnięciami i zawałami oraz skuteczności metod ograniczania tych zagrożeń w kopalniach LGOM – roczniki 2000 – 2007. Centrum Badawczo – Projektowe Rud Miedzi CUPRUM Sp. z o.o. – OBR, nie publikowane.
- [3] Katalog systemów eksploatacji dla kopalń KGHM. Praca zbiorowa, Wydawnictwo CUPRUM, Wrocław 1991.
- [4] Konopko W. 1994: Doświadczalne podstawy kwalifikowania wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego do stopni zagrożenia tąpnięciami. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, Nr 795. Katowice.
- [5] Konopko W. 2000: O zagrożeniu sejsmicznym i tąpnięciami w kopalniach LGOM. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa - seria Konferencje „Tąpnięcia 2000” Profilaktyka tąpniowa w warunkach zagrożeń skojarzonych, Katowice.
- [6] Konopko W., Jakubów J. 1998: O rozpoznaniu źródła zagrożenia tąpnięciami. Prace Naukowe GIG, Seria Konferencje Nr 26. Tąpnięcia 98 Bezpieczne prowadzenie robót górniczych, Katowice.
- [7] Konopko W., Makówka J. 2000: Prawdopodobieństwo tąpnięcia w kopalniach węgla kamiennego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo, zeszyt 246, Gliwice.
- [8] Konopko W., Makówka J. 2000: Ryzyko wypadków powodowanych tąpnięciami. CUPRUM-Czasopismo naukowo-techniczne górnictwa rud Nr 15.
- [9] Stec K. 2008: Statystyczna zależność aktywności sejsmicznej górotworu od parametrów eksploatacji w wytypowanych kopalniach GZW. Przegląd Górniczy Nr4/2008.
- [10] Stec K. 2007: Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego – 30 lat ciągłej obserwacji przez Górnośląską Regionalną Sieć Sejsmologiczną. Przegląd Górniczy Nr 7-8.
- [11] Stec K. 2009: Aktywność sejsmiczna Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jej związek z geologicznymi właściwościami górotworu i parametrami eksploatacji (w „Stateczność górotworu i obudowy przy łącznych obciążeniach statycznym i dynamicznym - Monografia pod redakcją A. Kidybińskiego, Wydawnictwa GIG, w druku).
- [12] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 14 czerwca 2002 roku (Dz. U. Nr 94 poz. 84) w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych.
- [13] Uszko M., Barański A. 2008: Zagrożenie tąpnięciami i problematyka oddziaływania wstrząsów górniczych na powierzchnie w kopalniach Kompanii Węglowej S.A. Wiadomości Górnicze Nr 2/2008.

Multisources of mining tremors

Key words

Mining tremors, rockburst, rockburst hazard

Summary:

The focal points of mining tremors are generated by mining, especially by mining operations, can be located in the deposit which is deformed as a result of the present mining operations or can be the whole effect of mining in given area (in the mining region or mining plot). Based on mining seismic investigations was made an attempt of identification the locations of mining tremors.