

Jan Drzewiecki\*

## PRAWDOPODOBIEŃSTWO ZNISZCZENIA WYROBISKA GÓRNICZEGO W NASTĘPSTWIE WSTRZĄSU SEJSMICZNEGO

---

### 1. Wprowadzenie

Eksploatacja węgla kamiennego systemem ścianowym, ze względu na intensywność i koncentrację prowadzonych robót górniczych, powoduje destrukcję ośrodka skalnego, czemu towarzyszą zjawiska dynamiczne. Szczególnie groźnymi zjawiskami są wysokoenergetyczne wstrząsy, których ogniska lokalizowane są na wybiegu ściany. Z reguły ich skutki są silnie odczuwane w wyrobiskach przyścianowych, nierzadko powodując ich uszkodzenie, bądź w skrajnym przypadku zniszczenie.

Prace badawcze prowadzone w Zakładzie Tapań i Mechaniki Górotworu oraz Zakładzie Geologii i Geofizyki Głównego Instytutu Górnictwa dotyczące genezy tych zjawisk, ich lokalizacji i energii, a także zasięgu niszczącego oddziaływania, pozwoliły w roku 2008 rozszerzyć możliwości obliczeniowe posiadanego oprogramowania o prognozę ryzyka tąpnięcia wyrobiska górniczego, bądź w sąsiedztwie wyrobiska górniczego. Ryzyko tąpnięcia w rozumiane jest, jako wyrażone w procentach prawdopodobieństwo zniszczenia wyrobiska górniczego w następstwie wstrząsu sejsmicznego. Podstawą obliczeń jest prognoza energii sejsmicznej, jaka towarzyszy zjawiskom dynamicznym indukowanym działalnością górnictwem. Prognoza energii, jaka jest zakumulowana w górotworze na wybiegu ściany oraz energii sejsmicznej towarzyszącej zjawiskom dynamicznym jest możliwa jedynie w przypadku wprowadzenia szeregu założeń dotyczących własności mechanicznych budujących górotwór skał, niezależnie od przyjętego sposobu rozwiązania. Wyniki pomiarów *in situ*, laboratoryjnych oraz numerycznych pozwalają w istotny sposób zredukować ilość założeń wynikających ze sposobu prognozowania energii, jaka jest akumulowana w górotworze naruszonym eksploatacją ścianową [2, 3].

---

\* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

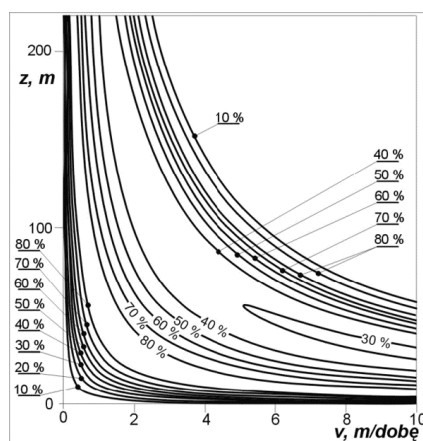
Wykorzystano w nich wyniki pomiarów *in situ* oraz doświadczeń laboratoryjnych dla określenia zależności, jakie łączą energię z:

- krzywizną deformowanej warstwy,
- zasięgiem obszaru przed frontem ściany, w którym gromadzona jest największa jej ilość,
- zasięgiem w kierunku calizny warstw wyodrębnionych w procesie wyprzedzającego front ściany podziału górotworu,
- wynikami badań własności mechanicznych skał.

## 2. Energia akumulowana w górotworze naruszonym eksploatacją przed frontem ścianowym

Górotwór karboński budują warstwy o silnie zróżnicowanych własnościach mechanicznych, przy czym z punktu widzenia generowania zjawisk dynamicznych istotne są warstwy charakteryzujące się wysokimi parametrami mechanicznymi, a pozostającymi w równowadze do momentu ich podebrania eksploatacją górniczą. Wielkość naruszenia warstw wynika z systemu prowadzonej na danej głębokości eksploatacji, jej postępu oraz stopnia naruszenia górotworu zaszłą eksploatacją górniczą.

Nad eksploatowanym pokładem w kierunku wybiegu ściany zasięg górotworu, w którym następuje akumulacja energii indukowanej prowadzoną eksploatacją, jest zmienny z postępowaniem ściany. W nim występują warstwy wstrząsogenne, przy czym postęp ściany decyduje o wymiarach ich fragmentów, w których akumulować się będą określone porcje energii wynikające z ich odkształcenia. Ze względu na własności mechaniczne górotworu, zmiany zasięgu tego obszaru będą miały charakter dynamiczny, (skokowy), a procesowi temu towarzyszyć będą efekty sejsmiczne, których energie  $E$  pozostają w określonej proporcji do energii całkowitej  $E_c$  zgromadzonej w przedmiotowych fragmentach podbieranych warstw [3].



**Rys. 1.** Udział energii  $E$  emitowanej przez pękającą warstwę w energii całkowitej  $E_c$  jaka spowodowała jej krytyczne odkształcenie [3]:  $v$  — średni dobowy postęp, m/dobę;  $z$  — odległość warstwy wstrząsogennej od pokładu, m

Przedstawione na rysunku 1 wykresy prezentują udział energii sejsmicznej  $E$ , jaką traci pękająca warstwa sprężysta w energii całkowitej  $E_c$ , jaka spowodowała jej krytyczne odkształcenie.

### 3. Zasięg oddziaływania wstrząsu sejsmicznego niszczącego wyrobisko

Zasięg  $R$  wstrząsu sejsmicznego, niszczącego wyrobisko górnicze można obliczyć z zależności:

$$\log E = 1,8 + 1,9 M_L \quad (1)$$

$$\log (M_0) = 1,009 \cdot M_L + 10,42 \quad (2)$$

$$\log (PPV \cdot R) = 0,66 \cdot \log (M_0) - 7,4 \quad (3)$$

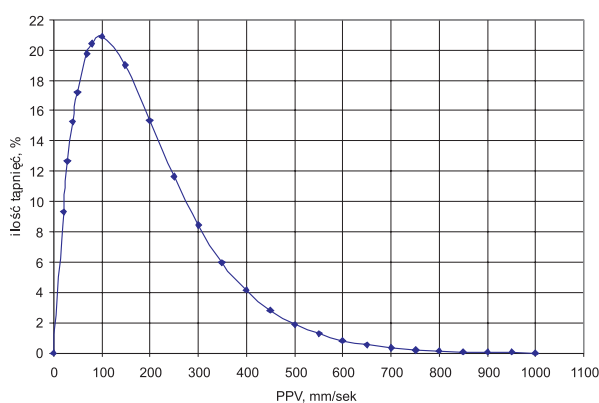
wiązących energię sejsmiczną  $E$  z magnitudą  $M_L$  [5], magnitudę  $M_L$  z momentem sejsmicznym  $M_0$  [4], maksymalną amplitudę prędkości drgań cząsteczki górotworu  $PPV$  z momentem sejsmicznym  $M_0$ , przy uwzględnieniu empirycznego kryterium tąpnięcia wywołanego wstrząsem w warunkach GZW [7].

Założono, że energia sejsmiczna  $E$  emitowana z danego punktu warstwy rozchodzi się sferycznie po powierzchni kulistej, a jej maksymalna amplituda prędkości drgań cząsteczki górotworu (drgań wstrząsu górniczego)  $PPV$  odpowiedzialna jest za zniszczenie wyrobiska.

Z danych statystycznych zawierających podstawowe informacje o tąpnięciach z lat 1990–2006 wynika, że istnieje zależność (4) wiążąca ilość tąpnięć  $y$  wyrażoną procentem z ogólnej ilości tąpnięć w tym przedziale czasowym a wartością parametru  $PPV$ .

$$y = 0,57 \cdot PPV \cdot e^{\frac{-PPV}{99,81}} \quad (4)$$

której, wykresem jest krzywa przedstawiona na rysunku 2.



Rys. 2. Ilość tąpnięć  $y$  wyrażona procentem z ogólnej ilości tąpnięć zaistniałych w okresie 1990–2006 a wartością parametru  $PPV$

Dla prognozowanych energii sejsmicznych  $E$  wstrząsów górniczych poprzez określenie wartości parametru  $PPV$ , można określić ich niszczący zasięg  $R$ . Należy podkreślić, że przytoczone zależności, a szczególnie empiryczne kryterium tąpnięcia, stanowią o trafności prognozy tego zasięgu [1]. Bliskie wyrobisku położenie ogniska wstrząsu sejsmicznego będzie skutkowało jego zniszczeniem już dla stosunkowo małej energii sejsmicznej i odwrotnie, wraz ze wzrostem odległości ogniska wstrząsu od wyrobiska niezbędna dla jego zniszczenia energia sejsmiczna wzrasta.

#### 4. Ryzyko zniszczenia wyrobiska określane na podstawie prognozy energii krytycznego odkształcenia warstwy wstrząsogennej

Opracowany w GIG program o symbolu ET 2008 pozwala prowadzić obliczenia na dowolnych zbiorach wartości ciśnień panujących na horyzoncie rozpatrywanej warstwy a wynikających z głębokości jej zalegania, zaburzeń naturalnych i eksploatacyjnych bądź odkształceń, wygenerowanych w oparciu o teorię geometryczno-całkową w zdeformowanej eksploatacją podbierającą warstwie. Oba rozwiązania pozwalają określić energię, jaka jest zakumulowana w warstwie, przy czym w pierwszym przypadku będzie to energia grawitacyjna powiększona o energię wynikającą z zaburzeń geologiczno-górniczych a w drugim, energia jej odkształcenia wynikająca z występujących w jej otoczeniu zaszczości eksploatacyjnych. Udział energii emitowanej z pękającej warstwy w energii całkowitej jaką zawiera, liczona jest według jednego algorytmu i zależy od postępu eksploatacji, grubości warstwy, jej odległości od pokładu oraz własności mechanicznych.

Stan zdeformowania warstwy wstrząsogennej oblicza się wykorzystując geometryczno-całkową teorię Budryka-Knothego uwzględniającą parametr rozproszenia wpływów eksploatacji w górotworze  $\tan \beta$  — opracowany przez A. Kowalskiego [6]. Dla zbadania ciągłości podebranej eksploatacją ścianową warstwy skalnej o zadanej grubości  $h$ , module sprężystości  $E_s$  i odkształceniu  $\varepsilon_{kr}$  odpowiadającym odkształceniu krytycznemu, w pierwszej kolejności oblicza się jej krzywiznę  $k_x$  w zadanych punktach na powierzchni warstwy z zależności (5),

$$k_x = \pm \frac{2\pi W_{\max}}{r^3} x \cdot e^{-\frac{\pi x^2}{r^2}} \quad (5)$$

a następnie, obliczając w tych punktach jej odkształcenie  $\varepsilon$  zgodnie z równaniem (6)

$$\varepsilon = \frac{k_x \cdot h}{2 - k_x \cdot h} \quad (6)$$

i porównując je z odkształceniem krytycznym  $\varepsilon_{kr}$  zdefiniowanym na podstawie badań laboratoryjnych eliminuje się te punkty, w których obliczone wartości odkształceń  $\varepsilon$  przekra-

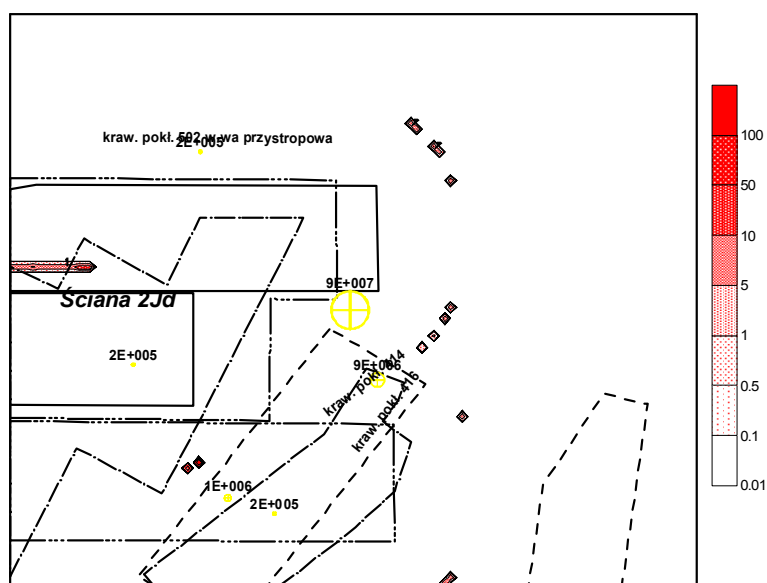
czają wartości krytyczne odkształceń  $\varepsilon_{kr}$ . Założono, że w punktach tych nastąpiło zniszczenie skały i nie może ona akumulować energii w bezpośrednim sąsiedztwie strefy zniszczonej. Dla pozostałych punktów powierzchni deformowanej warstwy oblicza się naprężenia  $\sigma$ . Założono symetrię odkształceń warstwy po obu stronach płaszczyzny obojętnej. Dysponując danymi charakteryzującymi rozwój eksploatacji w polu ściany, można takie obliczenia prowadzić zarówno dla określonego momentu czasowego, czyli konkretnej sytuacji górniczej, jak i porównując dwie kolejne sytuacje górnicze rozwinięcia eksploatacji dla zadanych kroków postępu frontu ścianowego. W tym drugim przypadku obliczenia naprężeń należy prowadzić dla punktów, w których odkształcenia  $\varepsilon$  przekraczają wartość odkształceń krytycznych  $\varepsilon_{kr}$ . Punkty te interpretuje się, jako potencjalne ogniska wstrząsów sejsmicznych, dla których niszczący wyrobiska górnicze zasięg  $R$  określono w oparciu o zacytowane w punkcie 3 zależności. Otrzymane zbiory wartości naprężeń w przedmiotowych punktach są zbiorami wsadowymi dla programu ET 2008 obliczającego potencjalną energię sejsmiczną, jaka może zostać wyemitowana z deformowanej warstwy dla zadanych prędkości postępu frontu eksploatacji. Wynikiem obliczeń, w zależności od potrzeb, jest zbiór punktów, z których emitowana może zostać energia sejsmiczna, o obliczonej wielkości bądź długości promieni  $R$ , niszcząca wyrobisko górnicze w wyniku wstrząsów sejsmicznych. Wyniki obliczeń można przedstawić w postaci graficznej, jako izolinie jednakowego poziomu ryzyka tąpnięciami dla zadanych horyzontów, w tym horyzontu zalegania eksploatawanego pokładu. Pozwala to zidentyfikować obszary zagrożone tąpnięciami w pokładzie, a co jest szczególnie istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa wyrobisk górniczych, w otoczeniu ściany.

## 5. Przykład obliczeń

Możliwości obliczeniowe programu ET 2008 zaprezentowano na przykładzie eksploatacji pokładu 502 ścianą 2Jd w partii J w KWK „Wujek”. Przedmiotowa ściana prowadzona jest w bardzo trudnych warunkach górniczo-geologicznych, czego dowodem była wysoka aktywność sejsmiczna. Pokład 502 w partii „J” w rejonie ściany 2Jd zalega na głębokości od – 590 do około – 634 m n.p.m. Upad pokładu licząc na długości ściany wynosi od 60 do około 110. Sumaryczna miąższość pokładu 502 w parceli ściany 2Jd wynosi od około 9,5 do około 10,5 m, przy czym miąższość warstwy przyspągowej tego pokładu wynosi od około 4,0 do około 7,5 m.

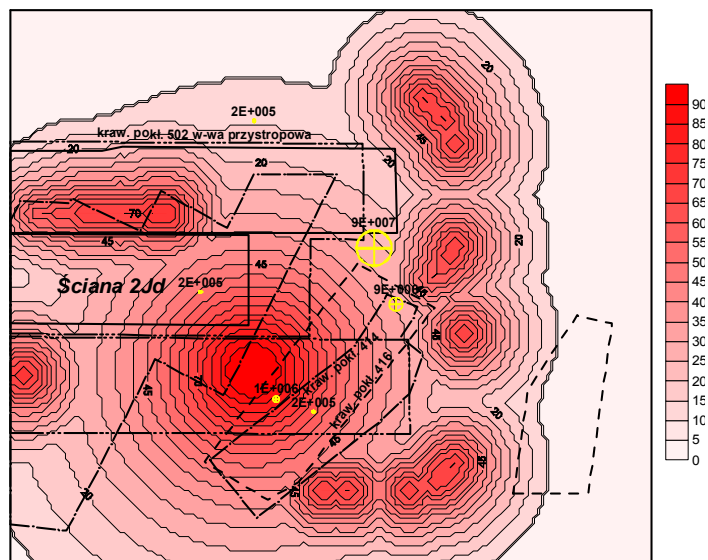
Eksploatacja pokładu prowadzona była do chwili tąpnięcia w odprężonej dolnej warstwie. W stropie pokładu wyróżnia się szereg naprzemiennie zalegających warstw łupka ilastego, piaszczystego i piaskowca, przy czym, jako pierwszą warstwę wstrząsogenną należy uznać warstwę piaskowca o grubości około 23 m zalegającą w odległości około 20 m powyżej stropu pokładu 502. Warstwa ta charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie  $R_c$  w granicach od 45 do 48 MPa, modułem sprężystości w granicach 7000 MPa, o krytycznej odkształcalności  $\varepsilon_{kr} = 0,015$ .

Biorąc pod uwagę dokonania eksploatacyjne w partii J należy stwierdzić, że wytworzone zroby w pierwszej warstwie pokładu 502 spowodowały znaczne deformacje warstw nadległych, w wyniku których uległy one odkształceniu o charakterze odkształceń walcowych bądź czasowych z jednoczesnym podziałem wyróżnionej warstwy piaskowca na cieńsze podwarstwy. Zgodnie z algorytmem programu ET 2008 w pierwszym cyklu obliczeniowym wyznaczono podwarstwę, która może zgromadzić największą porcję energii dla wszystkich możliwych kombinacji jej podziału. Warstwą tą jest fragment piaskowca (podwarstwa) o grubości 11,5 m zalegający w odległości 33 m nad pokładem. Dla tej wybranej podwarstwy w zadanej siatce punktów obliczono odkształcenia, jakie uzyskała w wyniku dokonanej eksploatacji do momentu poprzedzającego tąpnięcie (przyjęto wcześniejsze położenie frontu ściany). Dla nich sprawdzano, w których punktach nastąpiło przekroczenie jej dopuszczalnej wartości. W takich miejscach warstwa uległa zniszczeniu, a więc nie mogła akumulować energii. Następnie obliczono odkształcenia, jakie uzyskała podwarstwa w chwili tąpnięcia. Dla tej sytuacji ponownie sprawdzano, w których miejscach zostały przekroczone wartości krytyczne odkształceń. W przypadku ich przekroczenia, mogły one być źródłem zjawisk falowych towarzyszących lokalnemu pękaniu warstwy. W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano macierz wartości energii sejsmicznej dla siatki punktów zorientowanych na mapie pokładu 502, na której zaznaczono przebieg krawędzi eksploatacji dokonanej w innych pokładach oraz wyrobisk górniczych w pokładzie 502 i miejsc mogących być źródłem zjawisk sejsmicznych, rysunek 3. W oparciu o macierz wartości energii sejsmicznej dla siatki punktów zorientowanych na mapie pokładu 502 obliczono ryzyko zniszczenia wyrobiska górniczego dla zadanych prędkości postępu frontu ściany.

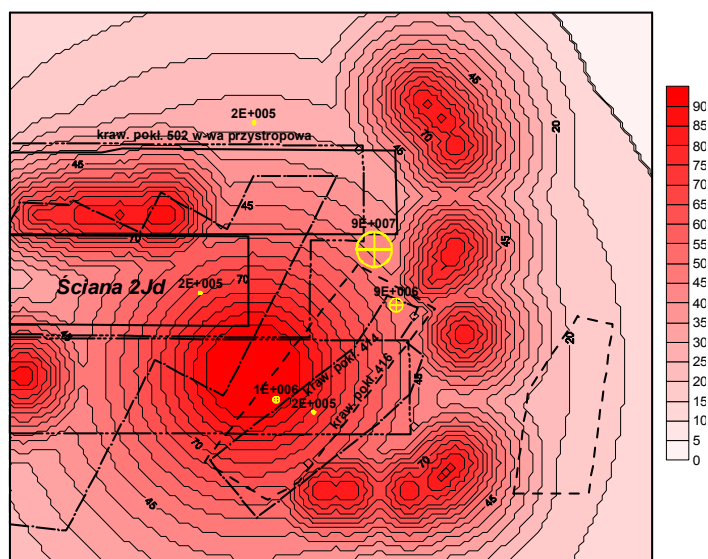


Rys. 3. Potencjalne obszary emisji energii sejsmicznej wyrażonej w MJ

Na prezentowanych rysunkach przedstawiono wyniki obliczeń ryzyka zniszczenia wyrobiska dla prędkości postępu frontu ściany odpowiednio 1 m/dobę (rys. 4), 4 m/dobę (rys. 5).



Rys. 4. Izolinie zasięgu ryzyka zniszczenia wyrobiska wyrażonego w % dla postępu frontu ściany 1 m/dobę



Rys. 5. Izolinie zasięgu ryzyka zniszczenia wyrobiska wyrażonego w % dla postępu frontu ściany 4 m/dobę

## 6. Stwierdzenia i wnioski

Intensywność i koncentracja robót górniczych prowadzona w górotworze, w którym występują warstwy wstrząsogenne, decydują o towarzyszącej jej ilości i energii zjawisk dynamicznych. Szczególnie groźnymi zjawiskami są wysokoenergetyczne wstrząsy, których ogniska lokalizowane są na wybiegu ściany w sąsiedztwie wyrobisk, w których nie można wykluczyć pracy załogi.

Prace badawcze prowadzone w Zakładzie Tępań i Mechaniki Górotworu oraz Zakładzie Geologii i Geofizyki Głównego Instytutu Górniczego dotyczące genezy silnych zjawisk sejsmicznych, ich lokalizacji i energii legły u podstaw opracowania programu dla określenia prognozy ryzyka tąpnięcia w wyrobisku górniczym tj. wyrażonego w procentach prawdopodobieństwo zniszczenia wyrobiska górniczego w następstwie wstrząsu sejsmicznego. Wykorzystuje on statystyczną analizę wartości parametrów PPV obliczonych dla energii wstrząsów sejsmicznych z lat 1990–2006, w wyniku których zaistniały tąpnięcia.

Prognozując, dla zadanych prędkości postępu frontu eksploatacji, potencjalną energię sejsmiczną, jaka może zostać wyemitowana z określonego miejsca deformowanej warstwy, można obliczyć zasięgi niszczących wyrobisko górnicze wstrząsów sejsmicznych. Odległość ogniska wstrząsu od wyrobiska i jego energia decydują o poziomie ryzyka jego zniszczenia. Wyniki obliczeń można przedstawić w postaci izolinii jednakowego poziomu ryzyka tąpnięciami na zadanych horyzontach, w tym horyzoncie zalegania eksploatowanego pokładu i wyrobisk górniczych. Pozwala to zidentyfikować obszary zagrożone tąpnięciami wyrobisk górniczych w otoczeniu ściany.

Zmiana intensywności eksploatacji w obszarach o wysokim potencjale zakumulowanej w nich energii determinuje poziom energii zjawisk sejsmicznych, a zatem ma wpływ na poziom ryzyka zniszczenia wyrobiska górniczego w wyniku wstrząsu sejsmicznego.

### LITERATURA

- [1] *Drzewiecki J.*: Określenie niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kwartalnik Górniczo i Geoinżynieria, r. 32 z. 1, 2008, s. 45–55
- [2] *Drzewiecki J.*: Zniszczenie wyrobiska w następstwie ruchu skał. Międzynarodowe Sympozjum Naukowo-techniczne „Tępania 2002”. Wyd. GIG, 2002, s. 49–59
- [3] *Drzewiecki J.*: Wpływ postępu frontu ściany na dynamikę niszczenia górotworu karbońskiego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górniczego nr 860. Katowice, 2004
- [4] *Dubiński J., Mutke G.*: Characteristics of near-field peak velocity in the Upper Silesian Coal Mines. Proc. 4th Int. Symp. On Rockbursts and Seismicity in Mines (eds. S.J. Gibowicz and S. Lasocki). Rotterdam, A.A. Balkema, 1997, s. 343–347
- [5] *Dubiński J., Wierzchowska Z.*: Metody obliczeń energii wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku. Komunikat nr 591, Katowice, GIG, 1973
- [6] *Kowalski A.*: Zmienność parametru zasięgu wpływów głównych w górotworze. Ochrona Terenów Górniczych. Nr 72/2. Katowice, 1985
- [7] *Mutke G.*: Charakterystyka drgań wywołanych wstrząsami górniczymi w odległościach bliskich źródła sejsmicznego w aspekcie oceny zagrożenia tąpnięciami. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górniczego nr 872. Katowice, GIG, 2007