

*Józef Rusinek\**, *Stanisław Kurnik\*\**

## ANALIZA ODLEGŁOŚCI I CZASU MIĘDZY WSTRZĄSAMI ZE STRZELAŃ TORPEDUJĄCYCH A SAMOISTNYMI O ENERGII RZĘDU E4 J W WARUNKACH KW SA KWK „PIAST”

---

### 1. Wstęp

Prowadzeniu eksploatacji górniczej towarzyszy sejsmiczność indukowana, która jest rejestrowana jako wstrząsy. Działania dążące do minimalizacji niekorzystnego oddziaływania wstrząsów na górotwór polegają między innymi na prowadzeniu strzelań torpedujących powodujących dezintegrację skał stropowych. Po analizie aktywności górotworu, po strzelaniu torpedującym i zaistniałych zjawiskach o energii E5 J przedstawionych w [6] dalsze badania ograniczono do wstrząsów o wydzielonej energii rzędu E4 J.

Na podstawie katalogu wstrząsów utworzono dwa zbiory:

- wstrząsów ze strzelań torpedujących,
- wstrząsów o energii rzędu E4 J.

W pierwszej fazie utworzono bazę do analizy — 311 wstrząsów ze strzelań torpedujących i 1118 wstrząsów samoistnych o energii rzędu E4 J. Analiza polegała na określeniu odległości między hipocentrami zarejestrowanego wstrząsu ze strzelania torpedującego i wstrząsów samoistnych o energii rzędu E4 J oraz odległości między dnem otworu (miejscem detonacji MW) a hipocentrami samoistnych wstrząsów rzędu E4 J.

Ponadto przeanalizowano przedział czasowy, w jakim zaistniał wstrząs rzędu E4 J od czasu zarejestrowania wstrząsu jako odpowiedzi ze strzelania torpedującego. Do analizy czasu między tymi zjawiskami przyjęto kryterium 400 m odległości między tymi zjawiskami i uzyskano liczbę 226 wstrząsów ze strzelań torpedujących.

---

\* Becker Warkop Systemy dla Górnictwa, Świerklany

\*\* Kompania Węglowa SA KWK „Piaś”, Bieruń

## 2. Warunki górnictwo-geologiczne

W budowie geologicznej analizowanego obszaru wyróżnia się utwory czwartorzędu, trzeciorzędowe, triasu i karbonu produktywnego. Osady czwartorzędowe pokrywają niemal cały obszar za wyjątkiem punktowych odsłoneń wapieni triasowych w części centralnej. Miąższość utworów zmienia się od około 10 m w części wschodniej i centralnej do 30 m w zachodniej. Utwory wykształcone są jako piaski różnoziarniste przechodzące w piaski ze żwirem lub żwiry. Osady trzeciorzędowe zajmują 70% powierzchni analizowanego obszaru. Miąższość ich jest zmienna i wynosi od 10 m w rejonie wschodni do około 200 m w południowej i wschodniej części. Utwory te wykształcone są jako nieprzepuszczalne ropy, a podrzędnie utwory piaszczyste i żwirowcowe.

Osady triasowe posiadają zmienną miąższość, która wynosi 0÷10 m w południowej części obszaru 50÷60 m w części centralnej i północnej. Trias budują utwory węglanowe wykształcone jako pstry ropy i ropy z otoczkami kwarcu oraz drobnoziarniste i różnoziarniste piaskowce.

Karbon reprezentowany jest do głębokości około 1000 m poprzez węglonośną serię utworów piaskowcowych podrzędnie ilastych zaliczonych do piętra westwalskiego, tj. warstw libiąskich, łaziskich w Górnośląskiej Niece Węglowej. Warstwy łaziskie wykształcone są w 90% jako kompleks piaskowców z wkładkami żwirowców o spoiwie na ogół ilastym lub kaolinitowi-hydromikowym. Piaskowce te są typu arkozowego. W utworach łaziskich udokumentowano 33 pokłady od 201/1 do 215 o miąższości 0,8÷7,0 m. Złoże posiada kształt pociętej uskoki synkliny o osi nachylonej w kierunku wschodnim oraz lekko wznoszących się skrzydłach w kierunku północnym i południowym. Całość złoża została podzielona na XIX partii w oparciu o przebiegi uskoki o zrzutach od kilku do 200 m.

W profilu hydrogeologicznym występują 4 piętra wodonośne związane ze zróżnicowanymi pod względem litologicznym jednostkami stratygraficznymi. W nadkładzie występuje: czwartorzędowe, trzeciorzędowe i triasowe piętro wodonośne, natomiast w utworach karbońskich występuje karbońskie piętro wodonośne. Kopalnia „Piasz” prowadziła eksploatację w 7 pokładach i wydobyla około 163 mln ton.

Przedmiotem analizy będą wstrząsy ze strzelań torpedujących i wstrząsy samoistne o energii rzędu E4 J zarejestrowane w partiach V, VII, VIII, XV i XVI.

## 3. Analiza odległości między wstrząsami ze strzelań torpedujących a samoistnymi o energii rzędu E4 J

Istotnym elementem prowadzenia strzelań torpedujących jest analiza ich efektów w postaci wstrząsów. Dotychczasowe analizy przedstawiały rozkłady wstrząsów pod względem liczby i wydzielonej energii od dna otworu [1–4]. Analiza odległości między hipocentrami wstrząsów ma wykazać, w jakiej odległości od zaistniałego wstrząsu ze strzelania torpedującego może zaistnieć wstrząs rzędu E4 J.

Statystyka wszystkich naturalnych wstrząsów energii rzędu E4 J oraz wstrząsów ze strzelań torpedujących została zestawiona w tabeli 1.

TABELA 1

**Wstrząsy samoistne o energii rzędu E4 J oraz wstrząsy ze strzelań torpedujących w latach 2002–2006**

| Rok   | Liczba wstrząsów o energii rzędu E4 J | Liczba odpowiedzi ze strzelań torpedujących |
|-------|---------------------------------------|---|
| 2002  | 229                                   | 132   |
| 2003  | 234                                   | 156   |
| 2004  | 136                                   | 140   |
| 2005  | 533                                   | 100   |
| 2006  | 220                                   | 70  |
| Razem | 1352                                  | 598   |

Po analizie katalogu wstrząsów zestawiono w tabeli 2 liczbę samoistnych wstrząsów o energii E4 J i wstrząsów ze strzelań torpedujących zaistniałych w tych samych analizowanych partiach.

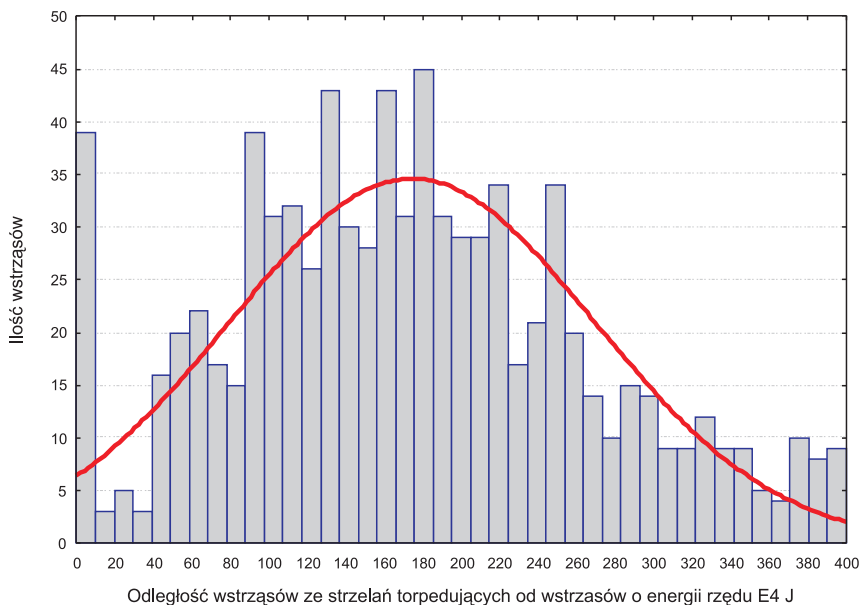
TABELA 2

**Wstrząsy samoistne o energii rzędu E4 J oraz wstrząsy ze strzelań torpedujących w latach 2002–2006 dla analizowanych partii**

| Rok   | Liczba wstrząsów o energii rzędu E4 J | Liczba odpowiedzi ze strzelań torpedujących |
|-------|---------------------------------------|---|
| 2002  | 197                                   | 76  |
| 2003  | 232                                   | 92  |
| 2004  | 124                                   | 50  |
| 2005  | 376                                   | 74  |
| 2006  | 189                                   | 19  |
| Razem | 1118                                  | 311   |

Dalszą analizą objęto wstrząsy rzędu E4 J, jeśli wcześniej (do 90 dni) w odległości do 400 m prowadzono w danej partii strzelanie torpedujące i zarejestrowano odpowiedź. Wstrząsów takich zaistniało 840.

Odległości hipocentrow tych od hipocentrum poprzedzającego je wstrząsu ze strzelań torpedujących przedstawiono na histogramie (rys. 1).



**Rys. 1.** Rzeczywiste wartości (słupki) i aproksymacja według wzoru (2) (linia ciągła) odległości wstrząsów ze strzelań torpedujących od wstrząsów o energii rzędu E4 J

Rozkład odległości między wstrząsami ze strzelań torpedujących a wstrząsami o energii rzędu E4 J sporządzono na bazie programu STATISTICA. Najlepsze dopasowanie uzyskano dla funkcji rozkładu normalnego. Funkcja ta ma gęstość prawdopodobieństwa określoną wzorem:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp \left[ -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (1)$$

gdzie:

- $\mu$  — średnia;
- $\sigma$  — odchylenie standardowe;
- $x$  — wartość oczekiwana.

W teorii pomiarów funkcja  $f(x)$  oznacza szansę na wystąpienie wartości  $x$ ,  $\mu$  jest pewną rzeczywistą wartością, a  $\sigma$  jest miarą rozrzutu otrzymywanych wartości  $x$ , czyli jest miarą niepewności pomiarowej. Wielkość prawdopodobieństwa zawarta między wartością średnią a odchyleniem standardowym wynosi 68,3%.

Dla zebranych danych funkcja opisująca dopasowaną krzywą na rysunku 1 po wpisaniu jej parametrów uzyskanych w wyniku analizy statystycznej ma następującą postać:

$$f(x) = \frac{840}{\sqrt{2\pi} \cdot 94,5} \exp \left[ -\frac{(x-173,5)^2}{2 \cdot 94,5^2} \right] \quad (2)$$

Histogram sporządzono przyjmując przedział odległości 10 metrów, gdzie przedział 0–10 oznacza liczbę wstrząsów, między którymi odległość mieści się w przedziale od 0 do 10 metrów. Obserwowana duża liczba wstrząsów w tym przedziale (39) to wstrząsy, które wystąpiły w czasie wyczekiwania po strzelaniu. Na podstawie rysunku 1 oraz katalogu wstrząsów sporządzono tabelę 3.

TABELA 3

**Rozkład odległości między wstrząsami ze strzelań torpedujących a wstrząsami o energii rzędu E4 J zaistniałymi w odległości do 400 m**

| Przedział odległości [m] | Liczba wstrząsów | Udział w ogólnej liczbie wstrząsów [%] |
|--------------------------|------------------|--|
| 0÷100                    | 210              | 25,0                                   |
| 100÷200                  | 338              | 40,2                                   |
| 200÷300                  | 208              | 24,8                                   |
| 300÷400                  | 84               | 10,0                                   |

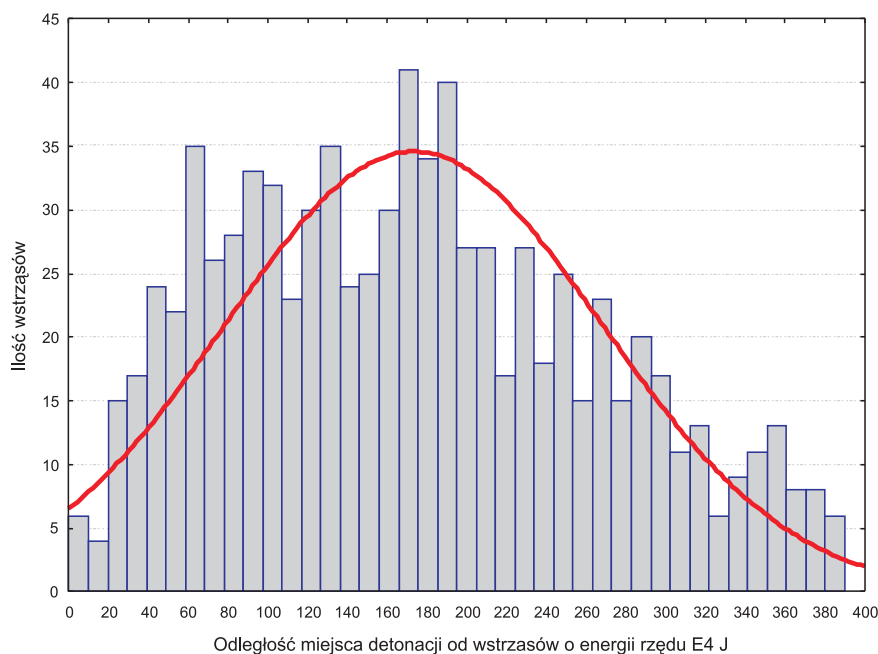
Na podstawie analizy odległości między wstrząsem rzędu E4 J a wstrząsem ze strzelań torpedujących wprowadzono przedziały odległości między tymi zjawiskami; tak więc liczba wstrząsów rzędu E4 J wynosi 840, a ilość odpowiedzi ze strzelań 311. Na podstawie tablicy 3 stwierdzono, że 65,2% zjawisk zaistniało w odległości do 200 m między sobą, a aż 90% w odległości do 300 m.

#### 4. Analiza odległości między miejscem detonacji MW a wstrząsem rzędu E4 J

Istotnym elementem jest usytuowanie otworu torpedującego w stosunku do frontu ściannowego lub czoła przodka. Wpływ lokalizacji otworów torpedujących na efektywność strzelań oraz odległości rejestrowanych wstrząsów od frontu ściany przedstawiono w [5–7]. Przy rozpatrywaniu odległości między miejscem detonacji MW (koniec otworu torpedującego) a wstrząsem rzędu E4 J postąpiono analogicznie jak w punkcie 3 i sporządzono rysunek 2.

Na podstawie analizy statystycznej określono parametry funkcji dla wzoru (1) i funkcja ta przyjmuje postać:

$$f(x) = \frac{840}{\sqrt{2\pi} \cdot 94,4} \exp \left[ -\frac{(x-172,4)^2}{2 \cdot 94,4^2} \right] \quad (3)$$



**Rys. 2.** Rzeczywiste wartości (słupki) i aproksymacja według wzoru (3) (linia ciągła) odległości miejsca detonacji MW a wstrząsem rzędu E4 J

Na podstawie rysunku 2 sporządzono tabelę 4, w której pogrupowano wstrząsy w przedziałach odległości 100 m.

**TABELA 4**  
**Rozkład odległości między miejscem detonacji MW a wstrząsem rzędu E4 J**

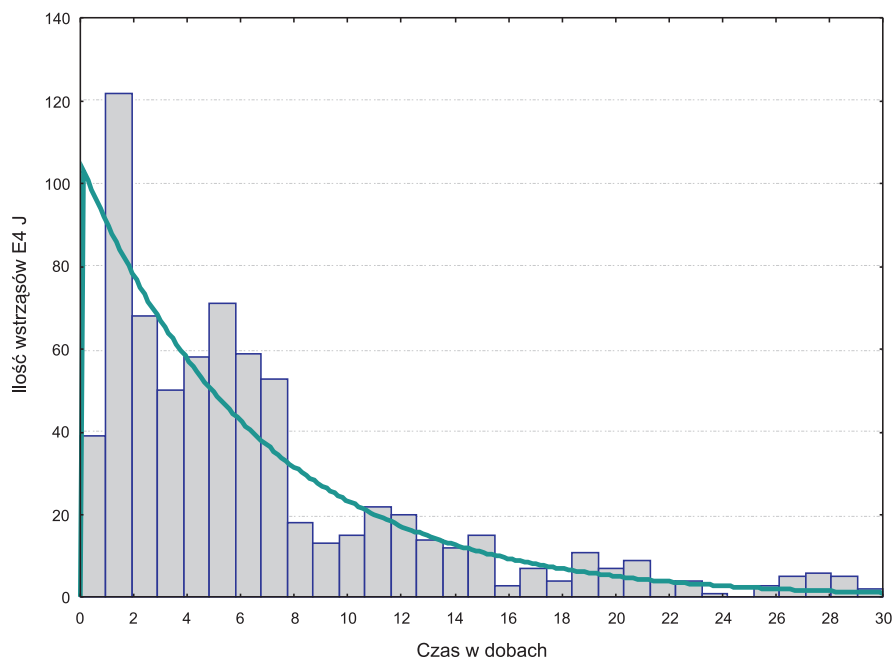
| Przedział odległości [m] | Liczba wstrząsów [szt.] | Udział w ogólnej liczbie wstrząsów [%] |
|--------------------------|-------------------------|--|
| 0÷100                    | 210                     | 25,0                                   |
| 100÷200                  | 314                     | 37,4                                   |
| 200÷300                  | 214                     | 25,5                                   |
| 300÷400                  | 102                     | 12,1                                   |

W przedziale 100÷200 m zaistniało prawie 37,4% zjawisk, natomiast w odległości 0÷200 m od miejsca detonacji MW zaistniało 62% wstrząsów o energii rzędu E4 J. W przedziale do 300 m zaistniało 88% wstrząsów o energii rzędu E4 J.

## 5. Analiza czasu między wstrząsami ze strzelań torpedujących a wstrząsami o energii rzędu E4 J

Dla przeanalizowanych odległości między wstrząsami ze strzelań torpedujących a wstrząsami o energii rzędu E4 J oraz odległościami między miejscem detonacji MW a wstrząsami rzędu E4 J niezbędne jest określenie, w jakim czasie zaistniały te zjawiska między sobą. Jako jednostkę przyjęto dobę.

Na podstawie katalogu wstrząsów za lata 2002–2006 dla strzelań torpedujących i zaistniałych po nich wstrząsach, a wstrząsami o energii rzędu E4 J określono odstęp czasowy (doby) między tymi zjawiskami. Po analizie stwierdzono, że 840 wstrząsów o energii rzędu E4 J zaistniało w przedziale do 90 dni, natomiast do 30 dni wystąpiło 720 wstrząsów. Powyższą sytuację przedstawiono na rysunku 3.



**Rys. 3.** Rzeczywiste wartości (słupki) i aproksymacja wg wzoru (4) (linia ciągła) rozkładu czasu między wstrząsami ze strzelań torpedujących a wstrząsami o energii rzędu E4 J

Najlepsze dopasowanie otrzymujemy dla rozkładu wykładniczego dla funkcji, której postać przedstawia wzór (4):

$$f(x) = 720 * e^{-0,1514x} \quad (4)$$

Na podstawie katalogu wstrząsów podzielono zbiór na przedziały czasowe po 30 dni. Najwięcej zjawisk zaistniało w przedziale 1–30 dób, bo aż 85,7% (tab. 5).

TABELA 5  
**Przedziały czasowe zaistniałych wstrząsów o energii rzędu E4 J**

| Liczba dni | Liczba wstrząsów E4 J | Liczba wstrząsów [%] |
|------------|-----------------------|----------------------|
| 1÷30       | 720                   | 85,7                 |
| 31÷60      | 82                    | 9,8                  |
| 61÷90      | 38                    | 4,5                  |
| Suma       | 840                   | 100%                 |

Na podstawie przyjętego wcześniej kryterium odległości między zaistniałymi wstrząsami, tj. przedział 0÷400 m, oraz w oparciu o rysunek 3 i katalog wstrząsów sporządzono tabelę 6, w której zestawiono rozkład czasu między wstrząsami ze strzałań torpedujących a wstrząsami samoistnymi o energii rzędu E4 J w poszczególnych przedziałach odległości 0÷400 m.

TABELA 6  
**Rozkład czasu między wstrząsami ze strzałań torpedujących a wstrząsami samoistnymi o energii rzędu E4 J dla przedziałów odległości 0÷400 m**

| Przedział odległości [m] | Liczba zjawisk [szt.] | Przedział czasu [doba] |       |       |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|-------|-------|
|                          |                       | 0÷30                   | 31÷60 | 61÷90 |
| 0÷100                    | 210                   | 177                    | 23    | 10    |
| 100÷200                  | 338                   | 291                    | 32    | 15    |
| 200÷300                  | 208                   | 180                    | 18    | 10    |
| 300÷400                  | 84                    | 72                     | 9     | 3     |
| 0÷400                    | 840                   | 720                    | 82    | 38    |

Przyjmując za kryterium przedział odległości stwierdzamy, że w przedziale od 1 do 100 m wystąpiło do 25% zjawisk, natomiast w przedziale odległości do 200 m zaistniało 62% zjawisk. Na podstawie rysunku 3 przeanalizowano przedział czasowy do 30 dób dla 100-metrowych przedziałów odległości.



TABELA 7

**Rozkład czasowy w pierwszych 30 dobach między wstrząsami ze strzelań torpedujących a wstrząsami samoistnymi o energii rzędu E4 J dla 100-metrowych przedziałów odległości**

| Przedział odległości [m] | Liczba zjawisk [szt.] | Przedział czasu [doba] |      |       |       |       |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|------|-------|-------|-------|
|                          |                       | 1÷7                    | 8÷14 | 15÷21 | 22÷28 | 29÷30 |
| 0÷100                    | 177                   | 142                    | 20   | 8     | 6     | 1     |
| 100÷200                  | 291                   | 206                    | 45   | 28    | 9     | 3     |
| 200÷300                  | 180                   | 129                    | 33   | 14    | 2     | 2     |
| 300÷400                  | 72                    | 43                     | 16   | 6     | 6     | 1     |
| 0÷400                    | 720                   | 520                    | 114  | 56    | 23    | 7     |

Na podstawie tabeli 7 stwierdzono, że 72% zjawisk zachodzi w przedziale 1–7 dni od strzelania torpedującego i 65% zjawisk w odległości 0÷200 m od wstrząsu ze strzelania torpedującego.

## 6. Wnioski

Na podstawie analizy zjawisk sejsmicznych można przedstawić następujące wnioski. W przedziale odległości do 200 m od wstrząsu ze strzelań torpedujących zaistniało 65% wstrząsów o energii rzędu E4 J. W przedziale odległości do 200 m od miejsca detonacji zaistniało 62% wstrząsów o energii rzędu E4 J. W przedziale czasu do 30 dni od strzelania torpedującego zaistniało 86% wstrząsów rzędu E4 J, a w czasie do 7 dni zaistniało 72% zjawisk przy odległości między wstrząsami do 400 m.

Obserwowana znaczna liczba wstrząsów w krótkim czasie po strzelaniu torpedującym to wstrząsy, które wystąpiły w czasie wyczekiwania po strzelaniu lub w ciągu dwóch dni. Świadczy to o skuteczności prowadzonej profilaktyki tapaniowej.

## LITERATURA

- [1] *Drzęźła B., Domżał J., Rusinek J.*: Ocena strzelań wstrząsowych i torpedujących w warunkach KWK „Piast”. XXIII Polsko-Czesko-Słowacka Konferencja nt. Badania sejsmiczności w kopalniach. Ustroń Zawodzie, 21–22 października 1995, zorganizowana przez Polską Akademię Nauk, s. 177–196
- [2] *Domżał J., Drzęźła B., Rusinek J.*: Wpływ strzelań torpedujących na poziom sejsmiczności indukowanej w górotworze. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej Szczyrk 23–27 II. 2004, Seria Wykłady nr 26, Polska Akademia Nauk, Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Górnictwa Podziemnego, s. 1–34
- [3] *Domżał J., Drzęźła B., Rusinek J.*: Analiza wyników strzelań torpedujących w Kopalni „Piast”, Przegląd Górniczy, nr 11, 2004, s. 9–26
- [4] *Domżał J., Drzęźła B., Rusinek J.*: Strzelania torpedujące w KWK „Piast” Ruch II. Materiały Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Szczyrk 21–25 II 2005, Sympozja i Konferencja nr 64, Polska Akademia Nauk, Instytut

Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią, Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Górnictwa Podziemnego, s. 605–630

- [5] *Rusinek J.*: Wpływ lokalizacji otworów torpedujących na efektywność strzelań na przykładzie analizy sejsmiczności w partii VI pokładu 209 KW SA KWK „Piast”, XIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Górnictwo i Zagrożenia Naturalne 2006. Głębokość eksploatacji a zagrożenia górnicze. Główny Instytut Górnictwa — Zakład Tępań i Mechaniki Górnotworu, Wyższy Urząd Górniczy, Komitet Górnictwa PAN oddział w Krakowie, Komisja Górnictwa PAN oddział w Katowicach, Ustroń 7–10.11.2006
- [6] *Rusinek J.*: Zależność odległości rejestrowanych wstrząsów od frontu ściany a usytuowanie otworu torpedującego w warunkach KW SA KWK „Piast”. XVI Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2007, Sympozja i konferencje nr 69 zorganizowanej przez Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk i AGH Kraków, Katedra Górnictwa Podziemnego Szczyrk, 19–23.02.2007, s. 759–767
- [7] *Rusinek J., Kudela J., Kurnik S.*: Wpływ odległości i czasu po strzeleniu torpedującym na wstrząs o energii rzędu E5 w warunkach KW SA KWK „Piast”, Polski Kongres Górniczy, Górnictwo — Przemiany i wyzwania XXI wieku. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa, Kraków, 19–21.09.2007, s. 123–133