

*Jan Drzewiecki\**

## OKREŚLENIE NISZCZĄCEJ STREFY WPŁYWÓW DLA ZJAWISK SEJSMICZNYCH

---

### 1. Wprowadzenie

Wstrząsy górotworu towarzyszą prowadzonej działalności górniczej. Są one wynikiem nagłego niszczenia fragmentów górotworu zdolnych do akumulowania energii sprężystej, w trakcie którego jedynie część zakumulowanej w nich energii ulega transmisji w postaci energii falowej. Parametrami wskazującymi o istnieniu zagrożenia tąpnięciami w świetle wyników ostatnio prowadzonych prac badawczych z zakresu geofizyki są dynamiczne parametry fali w powiązaniu ze spadkiem naprężeń w ognisku czy odległością, o jaką przemieści się ona na drodze ognisko wstrząsu — miejsce skutków tąpnięcia [7]. Należy podkreślić, że zjawisko sejsmiczne poprzez analizę jego podstawowych parametrów, tj.: długości, częstotliwości i amplitudy fal, pozwala zdefiniować objętość mas skalnych biorących udział w procesie dynamicznego obciążania konstrukcji wyrobisk górniczych mogącego skutkować tąpnięciem [2, 3].

W rozważaniach prognostycznych, odnoszących się do konkretnego obszaru prowadzonej działalności górniczej, możliwe jest obliczenie, z dużym marginesem błędu, jedynie wielkości spodziewanej energii sejsmicznej metodami eksperckimi [1, 4]. Pomimo ich niedoskonałości są one stosowane dla prognoz stanu zagrożenia tąpnięciami rejonu eksploatacji, a w świetle wyników prac naukowych odnoszących się do tąpnięć w tzw. bliskim polu mogą być pomocne dla wyznaczenia niszczonego zasięgu wstrząsu sejsmicznego. Analiza tąpnięć z lat 1996–2006 wraz z analizą lokalizacji ognisk wstrząsów sejsmicznych, jakie im towarzyszyły, oraz dynamicznych parametrów fali sejsmicznej wskazały, że zdecydowana większość zanotowanych tąpnięć wystąpiła dla wartości PPV w zakresie od 50 mm/s do 1000 mm/s [7]. Zamieszczone w tej pracy informacje i zależności wskazują, że istnieją możliwości obliczenia tego parametru także w oparciu o prognozowaną energię wstrząsu sejsmicznego [5, 6].

---

\* Główny Instytut Górnictwa, Katowice

Opracowany w roku 2007 program prognozy energii zjawisk dynamicznych indukowanych eksploatacją górnictwem na wybiegu ściany w postępie, jako parametr skalujący zagrożenie tąpnięciami w obszarze prowadzonej eksploatacji górnictwem, zakłada maksymalną amplitudę prędkości drgań cząsteczki górotworu PPV, tj. amplitudę prędkości fali inicjującej zniszczenie ośrodka skalnego w otoczeniu wyrobiska.

Program ten realizuje obliczenia energii sejsmicznej wstrząsu oraz niszczącego zasięgu wstrząsu sejsmicznego dla zadanej wartości parametru PPV z dokładnością lokalizacji ogniska wstrząsu wynikającą z przyjętej siatki obliczeń.

Program nie określa położenia ogniska wstrząsu sejsmicznego, niemniej jednak można za jego pomocą określić obszary w stropie eksploatowanego pokładu na wybiegu ściany będącej w postępie, w których takie ogniska mogą być lokalizowane. Rozmiar tych obszarów jest zmienny i zależy od istniejącej bądź prognozowanej intensywności eksploatacji wyrażonej średnim dobowym postępowaniem ściany [4].

## 2. Analiza tąpnięć dla określenia niszczącego zasięgu wstrząsu sejsmicznego

Podstawą określenia niszczącego wyrobiska górnictwem zasięgu wstrząsu sejsmicznego była analiza udokumentowanych przypadków tąpnięć z lat 1990–2006. Z dokumentów powypadkowych wyodrębniono dane dotyczące: energii sejsmicznej wstrząsów, w następstwie których nastąpiło zniszczenie wyrobiska, oraz odległość pomiędzy ogniskiem wstrząsu a rejonem zniszczeń. Przyjęto, że odległością tą jest rzut pionowy na płaszczyznę pokładu odcinka wyznaczonego pomiędzy ogniskiem wstrząsu a zniszczonym wyrobiskiem. W rozważaniach nie uwzględniono ani składowej pionowej ogniska, ani jego rozmiaru. Dla wstrząsów w tzw. bliskim polu, dla których ogniska są lokalizowane w warstwach blisko zalegających nad eksploatowanym pokładem, nieuwzględnienie składowej pionowej ogniska wstrząsu powoduje błąd obliczeń znacznie mniejszy niż błąd lokalizacji ognisk uzyskany z kopalnianej sieci stanowisk geofonów,  $\pm 30$  metrów.

Dla każdego tąpnięcia z zależności (1), (2) i (3), wiążących energię sejsmiczną  $E$  z magnitudą wstrząsu  $M_L$  [6], magnitudę  $M_L$  z momentem sejsmicznym  $M_0$  [5] oraz maksymalną amplitudę prędkości drgań cząsteczki górotworu z momentem sejsmicznym  $M_0$  [7], obliczono wartości parametru PPV:

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

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

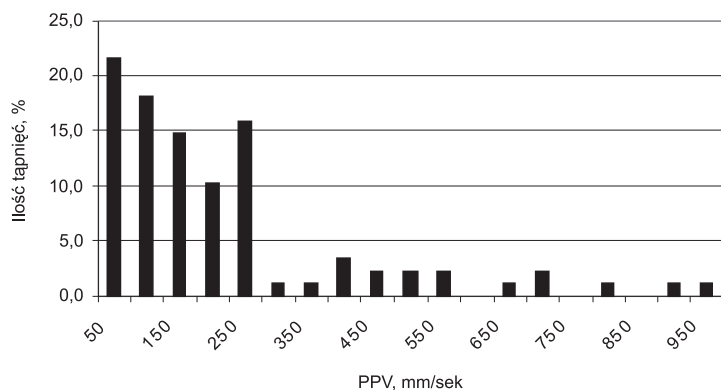
$$\log(\text{PPV} \cdot R) = 0,66 \cdot \log(M_0) - 7,4 \quad (3)$$

gdzie  $R$  oznacza zasięg niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych.

Z tak otrzymanego zbioru danych wyodrębniono te tapnięcia, dla których wartość parametru PPV mieści się w przedziale  $50 \text{ mm/s} < \text{PPV} < 1000 \text{ mm/s}$  [7]. Następnie dla tego podzbioru (88 zdarzeń) określono procentowy udział tapnięć w przedziałach wartości PPV, co 50 mm/s, co pozwoliło na obliczenie ich procentowego udziału w wyodrębnionym podzbiorze (tab. 1, rys. 1). Należy podkreślić, że około 80% tapnięć z tego podzbioru to tapnięcia, dla których parametr PPV nie przekracza 300 mm/s.

TABELA 1  
**Zestawienie procentowe ilości tapnięć  
z zadanych przedziałów parametru PPV**

PPV	Ilość tapnięć	
	mm/s	%
50÷100	19	21,6
100÷150	16	18,2
150÷200	13	14,8
200÷250	9	10,2
250÷300	14	15,9
300÷350	1	1,1
350÷400	1	1,1
400÷450	3	3,4
450÷500	2	2,3
500÷550	2	2,3
550÷600	2	2,3
600÷650	0	0,0
650÷700	1	1,1
700÷750	2	2,3
750÷800	0	0,0
800÷850	1	1,1
850÷900	0	0,0
950÷950	1	1,1
950÷1000	1	1,1
Łącznie	88	100



**Rys. 1.** Procentowa liczba tąpnięć w poszczególnych przedziałach prędkości PPV

Analiza tabeli 1 oraz rysunku 1 wskazuje, że około 20% tąpnięć wystąpiło dla wstrząsów o maksymalnej amplitudzie prędkości drgań cząsteczki górotworu PPV dochodzącej do 100 mm/s, a dla PPV dochodzącej do 300 mm/s — 80% tąpnięć.

Przyjmując wartości parametru PPV odpowiednio: 0,1 m/s, 0,2 m/s i 0,3 m/s w oparciu o wzory (1), (2) i (3) obliczono dla analizowanych przypadków tąpnięć zasięgi  $R$  niszczonej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych. Dane przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2

**Porównanie wartości  $R$  maksymalnego zasięgu niszczonej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych dla analizowanego podzbioru 88 tąpnięć**

Kopalnia	Energia, J	$R$	$R$	$R$	$R$
		z materiałów źródłowych	obliczone dla PPV = 0,1	obliczone dla PPV = 0,2	obliczone dla PPV = 0,3
		m	m	m	m
Bobrek	1E+05	80	39,7	19,8	13,2
Śląsk	1E+05	80	39,7	19,8	13,2
Katowice-Kleofas	5E+05	130	69,8	34,9	23,3
Wujek	6E+04	60	33,2	16,6	11,1
Wujek	2E+06	200	113,4	56,7	37,8
Pokój	4E+04	50	28,8	14,4	9,6
Halemba	1E+05	60	39,7	19,8	13,2
Katowice-Kleofas	1E+05	60	39,7	19,8	13,2
Nowy Wirek	4E+05	95	64,5	32,3	21,5

TABELA 2 cd.

Wieczorek	5E+06	230	156,4	78,2	52,1
Bobrek	2E+05	70	50,6	25,3	16,9
Wujek	4E+05	85	64,5	32,3	21,5
Nowy Wirek	9E+04	50	38,3	19,1	12,8
Miechowice	1E+05	50	39,7	19,8	13,2
Porąbka Klimontów	4+04	35	28,8	14,4	9,6
Wujek	4E+06	170	144,6	72,3	48,2
Wujek	2E+06	130	113,4	56,7	37,8
Nowy Wirek	1E+05	45	39,7	19,8	13,2
Katowice-Kleofas	2E+07	280	254,3	127,1	84,8
Nowy Wirek	1E+06	84	89,0	44,5	29,7
Wesoła	8E+06	170	184,4	92,2	61,5
Bobrek	6E+04	30	33,2	16,6	11,1
Halemba	1E+06	80	89,0	44,5	29,7
Miechowice	1E+05	35	39,7	19,8	13,2
Bobrek	1E+06	75	89,0	44,5	29,7
Wujek	3E+06	110	130,8	65,4	43,6
Zabrze Bielszowice	1E+07	164	199,4	99,7	66,5
Nowy Wirek	8E+04	30	36,7	18,4	12,2
Nowy Wirek	1E+07	160	199,4	99,7	66,5
Anna	6,6E+05	60	76,9	38,5	25,6
Powstańców Śląskich	3E+04	20	26,0	13,0	8,7
Śląsk	6E+04	25	33,2	16,6	11,1
Katowice-Kleofas	5,E+05	50	69,8	34,9	23,3
Rydułtowy-Anna	9E+07	300	430,8	215,4	143,6
Wujek	9E+06	130	192,2	96,1	64,1
Bobrek	2E+04	15	22,6	11,3	7,5
Kleofas	2E+06	75	113,4	56,7	37,8

TABELA 2 cd.

Kopalnia	Energia, J	$R$ z materiałów źródłowych	$R$ obliczone dla PPV = 0,1	$R$ obliczone dla PPV = 0,2	$R$ obliczone dla PPV = 0,3
		m	m	m	m
Pokój	1E+07	130	199,4	99,7	66,5
Bobrek	5E+05	45	69,8	34,9	23,3
Wujek	1E+06	55	89,0	44,5	29,7
Wujek	2E+06	70	113,4	56,7	37,8
Bobrek-Centrum	2E+06	70	113,4	56,7	37,8
Halemba	3E+06	75	130,8	65,4	43,6
Zabrze Bielszowice	5E+07	200	350,6	175,3	116,9
Wujek	3E+06	70	130,8	65,4	43,6
Katowice	9E+04	20	38,3	19,1	12,8
Polska-Wirek	3E+07	150	293,1	146,5	97,7
Pokój	9E+07	220	430,8	215,4	143,6
Śląsk	4E+05	30	64,5	32,3	21,5
Wujek	5E+08	364	785,7	392,8	261,9
Miechowice	3E+05	25	58,3	29,2	19,4
Śląsk	8E+05	35	82,3	41,1	27,4
Miechowice	2E+06	48	113,4	56,7	37,8
Halemba	4E+06	60	144,6	72,3	48,2
Wesoła	4E+06	60	144,6	72,3	48,2
Sośnica	6E+05	30	74,4	37,2	24,8
Śląsk	6E+07	150	373,7	186,8	124,6
Zabrze Bielszowice	2E+05	20	50,6	25,3	16,9
ZG Bytom II	2E+05	20	50,6	25,3	16,9
Rozbark	1E+05	15	39,7	19,8	13,2
Nowy Wirek	2E+06	42	113,4	56,7	37,8
Wujek	8E+05	30	82,3	41,1	27,4

TABELA 2 cd.

Bielszowice	5E+05	25	69,8	34,9	23,3
Wesoła	2E+06	40	113,4	56,7	37,8
Wujek	3E+06	46	130,8	65,4	43,6
Porąbka Klimontów	1E+07	70	199,4	99,7	66,5
Katowice-Kleofas	1E+07	70	199,4	99,7	66,5
Bielszowice	1E+07	70	199,4	99,7	66,5
Szombierki	3E+05	20	58,3	29,2	19,4
Katowice	7E+06	60	176,0	88,0	58,7
Wawel	1E+06	30	89,0	44,5	29,7
Wujek	9E+05	25	85,8	42,9	28,6
Kleofas	6E+07	100	373,7	186,8	124,6
Bielszowice	2E+07	60	254,3	127,1	84,8
Halemba	9E+05	20	85,8	42,9	28,6
Szombierki	1E+08	100	447,0	223,5	149,0
Zabrze Bielszowice	4E+06	30	144,6	72,3	48,2
Katowice	4E+06	30	144,6	72,3	48,2
Wujek	7E+06	35	176,0	88,0	58,7
Nowy Wirek	5E+07	66	350,6	175,3	116,9
Rydultowy-Anna	1E+08	80	447,0	223,5	149,0
Wujek	2E+06	20	113,4	56,7	37,8
Wujek	3E+06	20	130,8	65,4	43,6
Polska-Wirek	4E+07	46	324,2	162,1	108,1
Halemba	9E+07	60	430,8	215,4	143,6
Wujek	8E+07	50	413,3	206,7	137,8
Wesoła	8E+06	20	184,4	92,2	61,5
Halemba i Nowy Wirek	3E+09	150	1472,3	736,1	490,8

Błąd lokalizacji ogniska wstrząsu sejsmicznego wynika z jego położenia w stosunku do lokalizujących go geofonów (około  $\pm 30$  m). Przyjmując taki margines błędu lokalizacji

ogniska wstrząsu, należy podkreślić dużą zgodność wartości obliczanych z przedstawionymi w dokumentacjach powypadkowych. Dla wstrząsów o energii sejsmicznej poniżej 5E5 J przyjęcie wartości parametru  $PPV = 0,1$  m/s dla prognozy zasięgu  $R$  niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych jest wystarczająca. Dla parametru  $PPV$  0,2 m/s i 0,3 m/s wartości  $R$  będą się zmniejszać w porównaniu z obliczonymi dla  $PPV$  wynoszącym 0,1 m/s, a to znaczy, że możliwość zniszczenia wyrobiska w następstwie wstrząsu sejsmicznego będzie wzrastała z 20 % aż do około 80% — patrz tabela 1.

Przyjęto trzy wartości parametru  $PPV$ , dla których możliwość zniszczenia wyrobiska wyrażono w procentach, tj.:

- dla  $PPV = 0,1$  m/s, możliwość pojawienia się skutków wstrząsu sejsmicznego w wyrobisku przyjęto na poziomie 20%,
- dla  $PPV = 0,2$  m/s, możliwość pojawienia się skutków wstrząsu sejsmicznego w wyrobisku przyjęto na poziomie 50%,
- dla  $PPV = 0,3$  m/s, możliwość pojawienia się skutków wstrząsu sejsmicznego w wyrobisku przyjęto na poziomie 80%.

Takie przedziały wartości parametru  $PPV$  uzasadnia fizyka procesu zniszczenia ośrodka skalnego w wyniku oddziaływania na wyrobisko fali sejsmicznej. Bliskie wyrobisku położenie ogniska wstrząsu sejsmicznego będzie skutkowało jego zniszczeniem już dla stosunkowo małej energii sejsmicznej i odwrotnie: wraz ze wzrostem odległości ogniska od wyrobiska niszcząca energia sejsmiczna będzie wzrastać.

### 3. Przykład obliczeń

Możliwość obliczenia zasięgu niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych generowanych eksploatacją pokładu z różną intensywnością, wyrażoną średnim dobowym postępowaniem frontu ścianowego, zaprezentowano na przykładzie eksploatacji pokładu grupy siodłowej prowadzonej na głębokości około 750 m, systemem zawałowym, w górotworze, w którym istnieją wpływy dokonań eksploatacyjnych z pokładów sąsiednich. W stropie eksploatowanego pokładu, w odległości 25 m, wyróżniono wstrząsogenną warstwę o grubości 32 m. Tak gruba warstwa w trakcie jej podbierania z postępowaniem frontu od 1 m/dobę do 4 m/dobę przed frontem ściany ulegać będzie podziałowi na szereg cieńszych, które akumulują różne ilości energii, w zależności od ich odległości od eksploatowanego pokładu i intensywności eksploatacji. W pierwszym cyklu obliczeniowym dla ciśnień, jakie panują na horyzoncie analizowanej warstwy, obliczono prawdopodobne energie sejsmiczne wstrząsów dla przyjętych średnich dobowych postępów eksploatacji. Ten etap obliczeń jest realizowany przez program komputerowy, którego algorytm został opracowany na podstawie pracy [4]. Następnie dysponując prognozowanymi energiami sejsmicznymi, obliczono zasięgi  $R$  ich niszczącego oddziaływania odpowiednio dla 20-, 50-, i 80-procentowe możliwości pojawienia się skutków wstrząsu sejsmicznego w wyrobisku.



Wyniki obliczeń przedstawia tabela 3.

TABELA 3

**Wielkości  $R$  zasięgu niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych**

Energia, J	Możliwość pojawienia się skutków wstrząsu sejsmicznego w wyrobisku, %											
	20				50				80			
	Średni dobowy postęp ściany, m/dobę											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Zasięgi $R$ niszczącego oddziaływania wstrząsu sejsmicznego w wyrobisku, m											
$5 \times 10^4$	35	48	51	53	18	24	26	26	10	14	16	16
$1 \times 10^5$	46	60	67	69	22	31	33	34	14	18	20	20
$5 \times 10^5$	76	96	105	109	33	50	53	54	21	29	32	32
$1 \times 10^6$	91	115	124	126	42	58	62	64	26	34	37	38
$5 \times 10^6$	140	170	192	192	64	87	97	96	40	52	58	58

Z powyższej tabeli można odczytać, jak zmieniać się będzie wraz z postępem eksploatacji zasięg  $R$  niszczącego oddziaływania wstrząsu sejsmicznego od epicentrum zlokalizowanego w obszarze o jednakowym potencjale energii sejsmicznej. Dla tej samej prognozowanej energii sejsmicznej wstrząsu wzrost intensywności eksploatacji wyrażony średnim dobowym postępem frontu ścianowego powoduje zwiększenie zasięgu niszczącego oddziaływania wstrząsu sejsmicznego dla każdego z przyjętych przedziałów możliwości pojawienia się skutków wstrząsu w wyrobisku. Wzrost możliwości pojawienia się skutków wstrząsu w wyrobisku z 20% do 80% jest równoznaczny ze zmniejszeniem się zasięgu niszczącego oddziaływania wstrząsu sejsmicznego. Innymi słowy, im bliżej wyrobiska górniczego zlokalizowane będą ogniska wstrząsu o tej samej energii, tym ich niszczące oddziaływanie będzie bardziej prawdopodobne.

Ogniska wstrząsów sejsmicznych mogą być zlokalizowane w dowolnym punkcie obszaru o tym samym potencjale energii sejsmicznej. Postęp eksploatacji ma wpływ na energię, jaka jest gromadzona w warstwach stropowych na wybiegu ściany, a zatem na zasięg niszczącego oddziaływania wstrząsu sejsmicznego o ognisku zlokalizowanym w tym obszarze.

Jak wynika z powyższego, właściwe dobranie intensywności eksploatacji będzie miało wpływ także na zasięg niszczącego oddziaływania wstrząsu sejsmicznego.

#### 4. Wnioski

- 1) Źródłem zjawisk sejsmicznych towarzyszących prowadzonej eksploatacji górniczej są warstwy wstrząsogenne naruszane tą eksploatacją, w których ogniska wstrząsów zlokalizowane są w obszarach o największym poziomie zakumulowanej w tych warstwach energii sprężystej.
- 2) Analiza zbioru tąpnięć z lat 1990–2006, polegająca na porównaniu dla poszczególnych zdarzeń wartości parametru PPV wykazała, że w przedziale wartości PPV od 50 do 1000 mm/s około 20% tąpnięć wystąpiło dla prędkości PPV do 100 mm/s, natomiast dla PPV do 300 mm/s odnotowano około 80% tąpnięć.
- 3) Dla wstrząsów o energii sejsmicznej poniżej  $5E5$  J przyjęcie do prognozy zasięgu  $R$  niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych wartości parametru PPV = 0,1 m/s jest wystarczające. Wzrost energii sejsmicznej powyżej  $5E5$  J wskazuje na potrzebę przyjęcia większych od 100 mm/s wartości parametru PPV.
- 4) Podwyższenie wartości PPV z 100 do 300 mm/s wskazuje na wzrost możliwości zniszczenia wyrobiska górniczego w następstwie wstrząsu sejsmicznego z 20 aż do około 80%.
- 5) Postęp eksploatacji ma wpływ na energię, jaka jest gromadzona w warstwach stropowych na wybiegu ściany, a zatem na zasięg niszczącej strefy wpływów dla zjawisk sejsmicznych. Właściwe dobranie intensywności eksploatacji w obszarach o wysokim potencjale zakumulowanej w nich energii jest profilaktyką tapaniową, która może spowodować obniżenie poziomu tego zagrożenia oraz możliwości zniszczenia wyrobiska górniczego.

#### LITERATURA

- [1] *Biliński A.*: Tapania w świetle mechaniki górotworu odprężonego. Zeszyty Naukowe AGH, nr 2, 1985
- [2] *Ciałkowski B., Mutke G.*: Wpływ podporności obudowy na zasięg i skutki tąpnięcia w wyrobisku korytarzowym. Prace Nauk. Inst. Geotechniki i Hydrotechniki PW, Nr 65. Seria Konferencje, 1994, s. 23–32
- [3] *Drzewiecki J.*: Zniszczenie wyrobiska w następstwie ruchu skał. Międzynarodowe Sympozjum Naukowo-Techniczne „Tapania 2002”. Wyd. GIG, 2002, s. 49–59
- [4] *Drzewiecki J.*: Wpływ postępu frontu ściany na dynamikę niszczenia górotworu karbońskiego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 860, Katowice, 2004
- [5] *Dubiński J., Mutke G.*: Characteristics of near-field peak velocity in the Upper Silesian Coal Mines. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Symp. On Rockbursts and Seismicity in Mines (eds. Gibowicz and Lasocki). A.A. Balkema, Rotterdam, 1997, s. 343–347
- [6] *Dubiński J., Wierzchowska Z.*: Metody obliczeń energii wstrząsów górotworu na Górnym Śląsku. Komunikat nr 591, Katowice, GIG, 1973
- [7] *Mutke G.*: Charakterystyka drgań wywołanych wstrząsami górnymi w odległościach bliskich źródła sejsmicznego w aspekcie oceny zagrożenia tapaniami. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 872, Katowice, GIG, 2007