

*Paweł Batko**

WPŁYW WYBRANYCH ELEMENTÓW TECHNIKI STRZELNICZEJ NA INTENSYWNOŚCI DRGAŃ GRUNTÓW**

1. Wprowadzenie

Drgania parasejsmiczne są w wielu kopalniach odkrywkowych największym problemem, w istotny sposób rzutującym na technikę wykonywania robót strzałowych. Stanowią przyczynę wprowadzania wielu ograniczeń, jednak możliwe jest również takie modyfikowanie techniki wykonywania strzelań, aby zmniejszać intensywność drgań. Pojęcie „technika wykonywania robót strzałowych” jest bardzo szerokie i obejmuje między innymi: metody robót strzałowych, parametry geometryczne rozmieszczenia ładunków, ilość powierzchni odsłoniętych, właściwości stosowanych środków strzałowych, wielkość ładunku na stopień opóźnienia i w całej serii, budowę i kształt ładunku, sposób i miejsce założenia inicjatora (inicjatorów), wielkość opóźnień i układ opóźnień w serii czy wreszcie ewentualne inne modyfikacje sposobu wykonania strzelania, np. okonturowanie bloku masywu skalnego urabianego strzelaniem. Liczba czynników wpływających na efekt strzelania jest więc duża, jednak znaczna ich część ma charakter opisowy, co utrudnia ich analizowanie i porównywanie.

W polskim i światowym górnictwie odkrywkowym podstawową metodą urabiania skał związanych jest strzelanie ładunkami w otworach. Z uwagi na rozpowszechnienie metody strzelania w literaturze i publikacjach omawiane są przede wszystkim różnorodne aspekty dotyczące projektowania oraz prognozowania lub oceny efektów strzelań ładunkami w otworach. Ważne miejsce wśród tych efektów strzelań zajmuje intensywność propagowanych drgań parasejsmicznych, gdyż w wielu przypadkach decyduje ona o ograniczaniu masy ładunków odpalanych w serii lub na stopień opóźnienia.

Na intensywność generowanych w czasie strzelania drgań parasejsmicznych istotny wpływ mają parametry geometryczne rozmieszczenia otworów, a wśród nich zabiór¹, od-

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Publikację opracowano w ramach badań statutowych nr 11.11.100.867 finansowanych przez KBN

¹ Zabiór definiowany jest jako najkrótsza odległość od środka ładunku do najbliższej powierzchni odsłoniętej, natomiast ze względów praktycznych zwykle stosowane jest pojęcie zabioru obliczeniowego z_o określonego jako pozioma odległość od osi otworu do dolnej krawędzi ociosu [11, 15].

ległość między otworami w szeregu, przewiert, nachylenie otworów, a także średnica otworów strzałowych. Nieco dokładniej wpływ wymienionych czynników omówiono w pracy [5].

Natomiast w niniejszym opracowaniu przedstawiony będzie pokrótce wynik pierwszego etapu badań i analiz dotyczących wpływu średnicy otworów oraz niektórych właściwości materiału wybuchowego na wielkość przestrzennego wektora prędkości drgań rejestrowanych na kilku stanowiskach pomiarowych. Zaprezentowany również zostanie pewien aspekt wpływu średnicy otworów strzałowych na tę prędkość drgań.

2. Wpływ średnicy otworu na intensywność drgań

Istotnym problemem w technice strzelniczej jest wybór właściwej średnicy otworu strzałowego. Na zagadnienie to zwraca się uwagę w wielu publikacjach. Dojcar [7] podaje, że dla skuteczności kontrolowanego strzelania istotny jest właściwy dobór średnicy otworu i średnicy ładunku. Egorov i Glozman [8] stwierdzają, że dla zmniejszenia szkodliwego oddziaływania strzelań przemysłowych, tak w odniesieniu do drgań parasejsmicznych, jak i fal uderzeniowych, trzeba stosować mniejsze średnice otworów. Również Onderka [14] w oparciu o wyniki pomiarów stwierdza, że średnica otworów ma wpływ na intensywność wstrząsu przy strzelaniu.

Analizując wpływ różnych czynników na intensywność drgań parasejsmicznych, Batko [2] wprowadził pojęcie tzw. gęstości energii G_e , definiowanej jako iloraz energii wyzwalanej w czasie detonacji przez powierzchnię boczną ładunku. Można ją obliczyć z zależności

$$G_e = \frac{Q \cdot Q_w}{F_b} \quad [\text{kJ} \cdot \text{dm}^{-2}] \quad (1)$$

Po przekształceniach i po podstawieniu $Q_w \cdot \gamma_o = K_e$ otrzymuje się zależność, w której nie występuje już wprost masa ładunku, nieznana przed zaprojektowaniem strzelania

$$G_e = \frac{K_e \cdot d}{4} \quad [\text{kJ} \cdot \text{dm}^{-2}] \quad (2)$$

Z zależności (2) wynika, że ze wzrostem średnicy otworów wzrasta też ilość energii ładunku MW, propagowanej przez jednostkę powierzchni kontaktu ładunku z calizną, co w efekcie powodować może zwiększanie intensywności drgań.

Biorąc za punkt wyjścia powyższe rozważania, w kopalniach rud miedzi Rudna i Lubin podjęto próbę zwiększenia intensywności drgań w strzelaniach urabiająco-odprężających poprzez zwiększenie gęstości energii propagowanej do górotworu w czasie detonacji ładunków w otworach o większych średnicach. Próba dała bardzo zadowalające rezultaty. Butra i in. [6] w swojej publikacji szczegółowo przedstawiają to rozwiązanie, a uzyskane wyniki zostały również zaprezentowane przez Jaśkiewicza i in. [9].

Zależność (1) może być również wykorzystana do przeanalizowania wpływu kształtu ładunku na intensywność drgań. Dla ładunku skupionego, który charakteryzuje się najmniejszą powierzchnią przekazywania energii w stosunku do jego objętości (masy), otrzymuje się najwyższe wartości parametru G_e , należy się więc spodziewać również najwyższej intensywności drgań przy stosowaniu ładunku skupionego o takiej samej masie jak ładunek wydłużony. Ponadto bardzo niekorzystny jest w takich przypadkach skład ziarnowy urobku, gdyż z jednej strony strefa miażdżenia ma duży zasięg, a równocześnie w znacznej części urabianego strzelaniem fragmentu masywu nie występuje współpraca ładunków i pokruszenie skały bywa niedostateczne. Z tych względów metody strzelania oparte o stosowanie ładunków skupionych² są coraz rzadziej stosowane.

3. Dobór MW do strzelania

Rodzaj MW powinien być odpowiednio dobrany do urabianej skały. W dotychczasowej praktyce MW dobierany był przede wszystkim w taki sposób, aby wykorzystanie jego energii na kruszenie skały było optymalne. W tym celu można skorzystać z warunku podobieństwa oporności falowych³ MW i skały [10, 12]

$$A_{MW} = \rho_{MW} \cdot D \quad \text{oraz} \quad A_S = \rho_S \cdot c_P \quad (3)$$

Jeżeli $A_{MW}/A_S \approx 1$, uważa się przyjęty do stosowania MW za odpowiedni dla danego strzelania, gdyż warunki przekazywania energii detonującego ładunku MW do ośrodka skalnego są wtedy optymalne (por. [10 i 1]). Dodać trzeba, że przy projektowaniu strzelania powinno się uwzględniać prędkość detonacji zmierzoną w otworze strzałowym, a nie wyznaczoną w warunkach laboratoryjnych. Pomiary prędkości detonacji w otworach strzałowych mają jeszcze i ten poznawczy aspekt, że mogą pozwolić na empiryczne określenie średnicy granicznej, powyżej której warunki detonacji materiału są optymalne. Odpalenie w warunkach laboratoryjnych ładunków o większych średnicach i masach napotyka na barierę zbyt dużej intensywności szkodliwych oddziaływań, zwłaszcza akustycznych i powietrznych fal uderzeniowych [3]. Z tych względów pomiary laboratoryjne dla takich ładunków są rzadko wykonywane, a więc i danych pomiarowych o średnicach granicznych MW praktycznie brak.

Problem doboru MW w aspekcie wpływu jego parametrów na intensywność drgań nie był dotychczas uwzględniany zarówno w praktyce projektowania strzelań, jak i w literaturze. Jest to tym bardziej intrygujące, że jak podają Batko i in. [4], zakres zmienności niektórych właściwości dostępnych MW wynosi przykładowo:

- dla prędkości detonacji $1080 \div 7744 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
- dla ciepła wybuchu $818 \div 6044 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$,
- dla koncentracji energii $654 \div 7257 \text{ kJ} \cdot \text{dm}^{-3}$,
- dla ciśnienia wybuchu $338 \div 8720 \text{ MPa}$.

² Głównie strzelania komorowe i ładunkami w otworach z poszerzonym dnem.

³ Wielkość ta nosi również nazwę gęstości akustycznej lub impedancji.

Przy tak dużej zmienności trudno utrzymywać, że przy prognozowaniu intensywności drgań powodowanych detonacją ładunku MW wystarczy uwzględnić jedynie jego masę, tak jak to jest stosowane dotychczas.

4. Badanie wpływu właściwości strzelniczych MW na intensywność drgań

Badania wpływu właściwości strzelniczych MW na efekt sejsmiczny strzelania prowadzono dotychczas rzadko. Były to w dodatku na ogół badania wycinkowe lub porównawcze, z zastosowaniem dwóch lub kilku MW.

Dlatego wykonano serie strzelań i pomiarów w wyrobiskach dwóch kopalń odkrywkowych, w czasie których w szerokim zakresie zmieniano parametry detonowanych materiałów wybuchowych. Opis tych badań przedstawiono w pracy [5], a część uzyskanych rezultatów przytoczono poniżej.

Na intensywność drgań ma równoczesny wpływ wiele czynników, z których znaczna część ma wpływ trudny do jednoznacznego liczbowego określenia. Z tego względu postanowiono przeprowadzić badania kopalniane w takich warunkach, aby wyeliminować lub ograniczyć oddziaływanie czynników innych niż badane. W tym celu założono między innymi:

- prowadzenie strzelania ładunkami o jednakowej masie;
- detonowanie ładunków o tak dobranej masie i głębokości założenia, aby działały jako kamufletowe — co powinno zapewnić maksymalną intensywność drgań przy zminimalizowaniu strat energii na przemieszczanie urobku i wzbudzenie powietrznej fali uderzeniowej;
- zastosowanie w badaniach możliwie wielu materiałów wybuchowych o właściwościach maksymalnie zróżnicowanych;
- mierzenie prędkości drgań na kilku stanowiskach tak rozmieszczonych, aby dla rejestrowanych drgań ograniczyć wpływ anizotropii właściwości ośrodka przenoszącego te drgania;
- utrzymanie dla poszczególnych stanowisk jednakowych lub zbliżonych odległości pomiarowych, co powinno umożliwić przeprowadzenie oddzielnej analizy dla każdego ze stanowisk (z pominięciem w tej analizie odległości przenoszenia drgań).

Większości tych założeń nie mogły spełnić strzelania technologiczne, które podlegają dodatkowym ograniczeniom przepisów górniczych. Ponadto, biorąc pod uwagę częstotliwość strzelań technologicznych nawet w kopalniach o dużym wydobyciu oraz wymaganą liczebność oraz krotkość pomiarów, w warunkach kopalnianych można było wykonać jedynie strzelania poligonowe.

Omawiana seria strzelań została przeprowadzona w złożu wapieni dewońskich „Kowala”, położonym w gminie Sitkówka-Nowiny. Strzelania badawcze i pomiary wykonywano na górnym poziomie złożowym. Poziom, na którym przeprowadzono strzelania badawcze, był w czasie tych strzelań suchy, w żadnym z otworów nie stwierdzono nawet śladów wody. Ot-

wory miały średnicę 105 mm i głębokość 6 m. Otwory strzałowe rozmieszczano względem siebie w takich odległościach, aby strefy spękań nie zachodziły na siebie. Tak więc, pomijając spękania występujące wcześniej w masywie skalnym, każdy ładunek detonowany był w ośrodku nienaruszonym wcześniejszą detonacją ładunku w sąsiednim otworze. Ładunki w otworach detonowano pojedynczo, w takiej kolejności, aby po każdym odstrzale drgania przemieszczały się w kierunku czujników w ośrodku nienaruszonym, posiadającym jedynie naturalnie występujące w złożu niejednorodności struktury.

W prowadzonych badaniach stosowano MW, z których część mogła być inicjowana wprost zapalnikiem elektrycznym, natomiast niektóre wymagały silniejszego inicjatora. Dlatego zdecydowano się zastosować we wszystkich przypadkach jednakowy, silniejszy inicjator, w postaci pobudzaczy wybuchowych (detonatorów) trotylowych T-50 o masie 50 g.

We wszystkich seriach mierzono w otworach strzałowych prędkość detonacji ładunków, który to parametr uznano za charakteryzujący przebieg procesu detonacji w ładunkach MW.

Parametrami najistotniej wpływającymi na mierzony w danym miejscu efekt sejsmiczny strzelania są: odległość od źródła zaburzeń (miejsca detonacji ładunku MW) do miejsca rejestracji, właściwości ośrodka skalnego przenoszącego drgania, masa detonowanego ładunku oraz — jak założono — właściwości strzelnicze stosowanego materiału wybuchowego. W prowadzonych badaniach właściwości ośrodka przenoszącego drgania reprezentowane były przez prędkość przebiegu podłużnych fal sprężystych c_p . Określano ją jako wielkość średnią dla drogi przebiegu drgań, od detonowanego ładunku do czujnika pomiarowego. Parametr ten uwzględniano w dalszych etapach analizy wyników pomiarów.

Czujniki pomiarowe rozmieszczano w odległościach od 29,5 m do 180,7 m od otworów strzałowych. Odległość od miejsca strzelania (od poszczególnych otworów strzałowych) do pierwszego czujnika była w przybliżeniu stała i wynosiła od 29,5 m do 31 m (zmienność w stosunku do średniej odległości od $-1,75\%$ do $+3,24\%$). Również odległości do drugiego i trzeciego stanowiska pomiarowego zmieniały się w niewielkich granicach (odpowiednio od $-5,26\%$ do $+4,95\%$ oraz od $-4,48\%$ do $+2,27\%$). Z uwagi na większą zmienność odległości dla stanowiska czwartego, podzielono uzyskane dla tego stanowiska obserwacje na dwa podzbiory: pierwszy, dla zakresu odległości $147,5 \div 163$ m (zmienność od $-4,92\%$ do $+6,69\%$), i drugi dla zakresu odległości $165,5 \div 180,7$ m (zmienność od $-4,22\%$ do $+4,58\%$).

W analizie zależności zarejestrowanych prędkości drgań parasejsmicznych od właściwości detonowanych MW te ostatnie były reprezentowane między innymi przez:

- ciepło wybuchu Q_w , $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- koncentrację energii wybuchu K_e , $\text{kJ} \cdot \text{dm}^{-3}$;
- gęstość energii G_e liczoną z zależności (2), $\text{kJ} \cdot \text{dm}^{-2}$;
- rzeczywistą (zmierzoną) prędkość detonacji D_r , $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;
- ciśnienie wybuchu P_w , GPa;
- energię właściwą produktów wybuchu E_w , $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- objętość właściwą produktów wybuchu V_g , $\text{dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

Sposób określania poszczególnych właściwości MW został dokładniej opisany w pracy [5]. Przeanalizowano wyniki rejestracji dla 16 zastosowanych w badaniach MW.

Zakres zmienności poszczególnych właściwości stosowanych MW oraz zarejestrowanych prędkości drgań przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

**Zakres zmienności poszczególnych parametrów
w badaniach wykonanych w złożu Kowala wg [5]**

Lp.	Parametr (symbol)	Jednostka	Zakres zmienności parametrów i wyników			
			Stanowisko 1	Stanowisko 2	Stanowisko 3	Stanowisko 4
1	Q_w	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	620÷5952			
2	K_e	$\text{kJ} \cdot \text{dm}^{-3}$	682÷5833			
3	G_e	$\text{kJ} \cdot \text{dm}^{-2}$	179÷1531			
4	D_r	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1350÷5360			
5	P_w	GPa	0,65÷5,345			
6	E_w	$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	168÷1162			
7	V_g	$\text{dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	474÷977			
8	r	m	29,5÷31,0	51,0÷56,5	75,0÷80,8	147,5÷180,7
9	c_p	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	2308÷5455	3368÷6000	4000÷5407	4671÷5815
10	v_{xy}	$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	8,51÷51,58	3,19÷34,83	3,12÷18,63	0,21÷1,51
11	f_d	Hz	27,1÷123,8	34,4÷91,2	30,6÷68,3	17,7÷60,8
12	Liczba analizowanych obserwacji		42	41	39	42

Drgania rejestrowano aparaturą ABEM Terraloc Mk3, wyposażoną w trójskładowe czujniki typu L28B 4,5 Hz. Zastosowany do pomiarów zapis cyfrowy na 12 kanałach pozwalał na równoczesne rejestrowanie sygnałów z czterech czujników trójskładowych (cztery stanowiska). Częstotliwość próbkowania przebiegów wynosiła 1000 Hz lub więcej, a więc spełniony był warunek określony w pracy Otnesa i Enochsona (1972) co najmniej pięciokrotnie wyższej częstotliwości próbkowania w stosunku do najwyższej częstotliwości w widmie obserwowanego przebiegu. Częstotliwość próbkowania przekraczała więc znacznie częstotliwość Nyquista, czyli częstotliwość nakładania się pasm.

5. Analiza wyników pomiarów

Analizując uzyskane wyniki pomiarów, szukano zależności prędkości drgań, zarejestrowanych na poszczególnych stanowiskach pomiarowych, od poszczególnych analizowanych parametrów detonowanych MW, jako funkcje jednej zmiennej: $v = f(m)$. Dla opracowania statystycznego wyników pomiarów wykorzystano program STATGRAPHICS v. 2.1 wraz z jego modulem dodatkowym o nazwie Advanced Regression. Program ten pozwalał na

określanie parametrów i charakterystyk, rozkładu dla analizowanych zależności. Obliczenia wykonano dla dziesięciu różnych postaci funkcji. Wyniki obliczeń dla funkcji najlepiej opisujących analizowane zależności zestawiono w tabeli 2.

Do oceny otrzymanych zależności regresyjnych stosowano kwadrat współczynnika korelacji R^2 , który (po pomnożeniu przez 100) jest procentem objaśniania zmienności zmiennej zależnej poprzez zmienność użytych zmiennych niezależnych. W tabeli nie podawano błędów standardowych estymacji, ponieważ celem analizy była ocena możliwości opisu zjawiska rozpatrywanymi modelami, a nie ich bezpośrednie zastosowanie.

Analizując zestawione w tabeli 2 wyniki obliczeń, można stwierdzić, że dla zbadanych postaci funkcji z jedną zmienną niezależną uzyskano następujące rezultaty:

- Dla prawie wszystkich parametrów materiałów wybuchowych (z wyjątkiem objętości gazów V_g) i dla wszystkich stanowisk pomiarowych istnieją zależności $v_{xyz} = f(m)$ na poziomie istotności $\alpha \leq 0,01$ ⁵.
- Objętość gazów V_g ma znikomy wpływ na intensywność drgań⁶.
- W większości przypadków dla stanowisk 1 i 3 otrzymano niższe współczynniki korelacji niż dla stanowisk 2 i 4⁷ (dla stanowisk 2 i 4 wartości R^2 są wyższe nawet o ponad 13%). Może to mieć związek z odległością pomiarową r oraz długością fal, określoną w oparciu o prędkości c_p i dominujące częstotliwości drgań dla składowych v_x (mających w większości przypadków największą wartość spośród wszystkich trzech składowych). Gdyby dodatkowe pomiary i dokładniejsza analiza problemu potwierdziły sugestię o istnieniu takiego związku, konieczne będzie skorygowanie dotychczasowych poglądów odnośnie zmian intensywności drgań z odległością, zwłaszcza dla mniejszych odległości.
- Podzielenie obserwacji z czwartego stanowiska (o dużej zmienności odległości) na dwa podzbiory spowodowało bardzo znaczący wzrost współczynnika R^2 , szczególnie dla podzbioru „a” (odległości pomiarowe 147,5 m do 163 m)⁸.

Przeprowadzone w dalszej analizie wyników pomiarów obliczenia dla zależności uwzględniających oprócz właściwości stosowanego MW także odległość r i prędkość przebiegu podłużnych fal sprężystych c_p wykazały, że:

- zmiany parametrów energetycznych MW (Q_w , K_e , G_e) miały większy wpływ na prędkość drgań niż zmiany prędkości c_p ;
- zmiany pozostałych parametrów MW (z wyjątkiem V_g) wpływały na intensywność drgań w nieco mniejszym stopniu niż zmiana prędkości c_p .

Trzeba jednak zaznaczyć, że dla innych serii strzelań prowadzonych w złożu zawodniowym wpływ prędkości fal sprężystych c_p na prędkość drgań był nieistotny.

⁵ Por. wartości w kolumnach 3, 5, 7, 9, 10 z podanymi w ostatnim wierszu tabeli 2 wartościami $R^2_{kryt.}$.

⁶ Por. wartości R^2 dla V_g z podanymi w ostatnim wierszu tabeli wartościami $R^2_{kryt.}$.

⁷ Por. wartości w kolumnach 3 i 7 z wartościami w kolumnach 5 i 9.

⁸ Por. wartości w kolumnach 10.

TABELA 2
Zależności przestrzennego wektora prędkości drgań $v_{xyz} = f(m)$
— seria strzelań w złożu „Kowala”, rejestracje na poszczególnych stanowiskach pomiarowych

Parametr, m	Stanowisko 1		Stanowisko 2		Stanowisko 3		Stanowisko 4		
	Zależność	$R^2_{max}, \%$	Zależność	$R^2_{max}, \%$	Zależność	$R^2_{max}, \%$	Zależność	$R^2_{max}, \%$	$R^2_{max}, \%$ dla podzb. „a” $R^2_{max}, \%$ dla podzb. „b”
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q_w	$v_{xy} = \frac{1}{0,0411 + \frac{31,6}{Q_w}}$	25,92	$v_{xy} = \frac{1}{0,0727 + \frac{102}{Q_w}}$	39,14	$v_{xy} = \frac{1}{0,106 + \frac{96,5}{Q_w}}$	27,91	$v_{xy} = \frac{1}{1,50 + \frac{1100}{Q_w}}$	25,58	67,06 38,26
K_e	$v_{zxy} = \frac{1}{0,0900 - 92 \cdot 10^{-7} \cdot K_e}$	27,51	$v_{xy} = \frac{1}{0,0736 + \frac{119}{K_e}}$	37,50	$v_{zxy} = \frac{1}{0,110 + \frac{103}{K_e}}$	22,58	$v_{xy} = \frac{1}{1,49 + \frac{1350}{K_e}}$	27,07	64,04 41,52
G_e	$v_{zxy} = \frac{1}{0,0877 - 335 \cdot 10^{-7} \cdot G_e}$	29,96	$v_{xy} = \frac{1}{0,0736 + \frac{28,4}{G_e}}$	37,96	$v_{zxy} = \frac{1}{0,105 + \frac{27,7}{G_e}}$	28,86	$v_{xy} = \frac{1}{1,52 + \frac{296}{G_e}}$	23,34	61,86 35,75
D_r	$v_{xy} = \frac{1}{0,0272 + \frac{85,1}{D_r}}$	27,22	$v_{xy} = \frac{1}{0,0439 + \frac{225}{D_r}}$	27,53	$v_{xy} = \frac{1}{0,0609 + \frac{269}{D_r}}$	31,50	$v_{xy} = \frac{1}{1,05 + \frac{2860}{D_r}}$	25,18	46,08 42,90
P_w	$v_{zxy} = \frac{1}{0,0396 + \frac{0,0295}{P_w}}$	28,07	$v_{xy} = \frac{1}{0,0753 + \frac{0,0810}{P_w}}$	30,48	$v_{xy} = \frac{1}{0,104 + \frac{0,0858}{P_w}}$	27,63	$v_{xy} = \frac{1}{1,59 + \frac{0,746}{P_w}}$	14,73	45,45 21,37
E_w	$v_{xy} = \frac{1}{0,0394 + \frac{8,14}{E_w}}$	26,17	$v_{xy} = \frac{1}{0,0702 + \frac{24,7}{E_w}}$	34,76	$v_{xy} = \frac{1}{0,101 + \frac{24,2}{E_w}}$	26,71	$v_{xy} = \frac{1}{1,51 + \frac{248}{E_w}}$	19,87	59,17 27,49
V_g	$v_{zxy} = \frac{1}{0,0325 - \frac{15,3}{V_g}}$	4,10 ²	$v_{xy} = \frac{1}{0,193 - 0,000105 \cdot V_g}$	5,79 ²	$v_{xy} = 12,5 - \frac{2770}{V_g}$	5,17 ²	–	0,57	15,64 3,97
$R^2_{kryt} (\alpha = 0,01)$		*	*	15,13	*	15,86	*	14,77	

Uwagi:
1 Do podzbioru „a” zaliczono odrzucały w otworach odległych o 147,5÷163 m od czwartego stanowiska pomiarowego (20 obserwacji), a do podzbioru „b” odrzucały w otworach odległych o 165,5÷180,7 m od tegoż stanowiska (22 odrzucały).
2 Z uwagi na bardzo małą wartość współczynnika korelacji podana obok dla najlepszej zależności postać funkcji $v_{zxy} = f(V_g)$ ma znaczenie jedynie orientacyjne, porządkowe.

6. Wnioski

1. Wyniki badań i obliczeń wykazały istotny wpływ większości badanych parametrów MW na przestrzenny wektor prędkości drgań.
2. Dla zastosowanych w badaniach odległości pomiarowych i dla warunków wykonanych badań wpływ prędkości fal podłużnych c_p w ośrodku przenoszącym drgania na mierzoną prędkość drgań był mniejszy niż wpływ właściwości energetycznych stosowanego MW (Q_w , K_e , G_e) oraz porównywalny lub nieznacznie większy dla pozostałych analizowanych parametrów MW (z wyjątkiem V_g).
3. Średnica otworów strzałowych, reprezentowana w analizie poprzez parametr G_e , ma również istotny wpływ na intensywność drgań parasejsmicznych.
4. Wyniki obliczeń otrzymane dla przedstawionego etapu badań mogą być przydatne w przypadku, gdy zmieniają się jedynie właściwości stosowanego materiału wybuchowego, natomiast wszystkie inne parametry (i lokalizacja) strzelania pozostają bez zmian.
5. Dla pełniejszego wyjaśnienia wpływu właściwości stosowanego MW na intensywność drgań konieczne są dalsze badania przeprowadzane w różnych złożach i dla strzelań technologicznych z zastosowaniem materiałów o zróżnicowanych charakterystykach. Badania takie są kontynuowane, a ich dotychczasowe wyniki są obiecujące.

LITERATURA

- [1] Azarkovič A.E., Šujfer M.I.: Ocenka odnositel'noj vzryvnoj éffektivnosti različných vzryvčatych veščestv v massivach porod. F-TPRPI, nr 2, 1997, 47–51
- [2] Batko P.: O wpływie niektórych czynników na efekt sejsmiczny strzelania. Materiały konferencyjne nt. Materiały wybuchowe i technika strzelnicza. Aktualny stan i perspektywy rozwoju. Gliwice–Kraków, 24–25 czerwca 1993
- [3] Batko P.: Badanie wpływu własności strzelniczych materiałów wybuchowych na efekt sejsmiczny strzelania. Praca w ramach badań własnych nr 10.100.47. Sprawozdanie z badań wykonanych w 1993 roku. Kraków 1994
- [4] Batko P. i in.: Technika strzelnicza. Tom 1. Środki strzałowe i sprzęt strzałowy dopuszczone do stosowania w górnictwie. UWND AGH, Kraków 1998
- [5] Batko P.: Wpływ właściwości strzelniczych materiału wybuchowego na efekt sejsmiczny strzelania. Seria: Studia, Rozprawy, Monografie nr 105, IGSMiE PAN, Kraków 2002
- [6] Butra J., Mrozek K., Sonnenberg M.: Sposób prowokowania wstrząsów wysokoenergetycznych skoncentrowanym ładunkiem MW umieszczonym w naprężonej caliznie, równocześnie ze strzelaniem urabiającym. XIX Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, Kraków 1996
- [7] Dojcar O.: Design methods for controlled blasting. Trans. Inst. Mining Metall. Sec. A, t. 105, nr 9–12, 1996, 166–172
- [8] Egorov M.G., Glozman L.M.: Issledovanie sejsmičeskogo dejstvija npromyšlennych vzryvov na zdanija i sooruzenijsa. Probl. mech. gorn. porod: Tr. 11 Ros. konf. po mech. gorn. porod RusRock-97, Sankt Peterburg 9–11 sent. 1997, SPb., 1997, 131–137
- [9] Jaśkiewicz K. i in.: Sposób zwiększenia skuteczności odprężania górotworu wraz z oceną strzelań przodkowych w kopalniach rud miedzi. Rudy Metale, nr 12, 1998, 691–695
- [10] Mosinec V.N.: Drobjaščee i sejsmičeskoe dejstvie vzryva v gornych porodach. Moskva, Nedra 1976
- [11] Onderka Z.: Technika strzelnicza w górnictwie odkrywkowym. Skrypt uczelniany AGH nr 1241. Kraków 1992
- [12] Onderka Z., Ślęzak J.: Strzelanie długimi otworami — kierunki postępu. Materiały konferencyjne nt. Technika strzelnicza w górnictwie — perspektywy rozwoju. Jaszowiec '96. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN 1996, 233–245

- [13] *Onderka Z. i in.*: Szkodliwe oddziaływanie robót strzelniczych na otoczenie. Katedra Górnictwa Odkrywkowego AGH. Kraków 1998 (praca niepublikowana)
- [14] *Onderka Z.*: Problemy urabiania skał za pomocą materiałów wybuchowych. Materiały konferencyjne nt. Technika strzelnicza w górnictwie — problemy urabiania skał. Jaszowiec '98. Wyd. Instytutu GSMiE PAN 1998, 169–185
- [15] *Samujłło J.S.*: Roboty strzelnicze w górnictwie odkrywkowym. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1968

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.