

Metodyka badań urządzeń samodziiałowych elaborowanych górnictwymi materiałami wybuchowymi

Testing of IED filled with mining explosives

Andrzej Maranda¹⁾, Przemysław Jakusz²⁾, Bogdan Jakusz²⁾

- 1) Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, Wydział Nowych Technologii i Chemii, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49, Polska
- 2) „Jakusz” Systemy Zabezpieczeń Bankowych Bogdan Jakusz, ul. Przemysłowa 40, 83-400 Kościerzyna, Polska

Streszczenie: Możliwość występowania aktów terroru bombowego zdeterminowała pojawienie się różnych metod ochrony przed skutkami wybuchu oraz opracowanie nowoczesnych metod wykrywania materiałów wybuchowych. Niniejsza praca przedstawia metodyki oceny skuteczności rażenia urządzeń „samodziiałowych” wypełnionych górnictwymi materiałami wybuchowymi. Wyniki badań otrzymanych w oparciu o prezentowane procedury pozwalają nie tylko na określenie energii wybuchu i powstałych odłamków, ale pokazują sposób fragmentacji i rozkład wielkości odłamków. Omówione parametry mogą być pomocne w prowadzeniu śledztwa powybuchowego oraz identyfikacji urządzeń wybuchowych użytych do celów przestępczych.

Abstract: Different protection systems against blast effects as well as up-to-date methods of detection of explosives have appeared because of ability to occurrence of terrorist acts of bombing. In this work methods of assessment of efficiency of improvised explosive devices filled with commercial explosives for mining works has been presented. Results of presented methods allow to determine explosion energy and energy of fragments, a kind of fragmentation and size-distribution of fragments. Parameters presented in this work can be useful during bombing investigation and for identification of explosive devices that were used for criminal purposes.

Słowa kluczowe: terroryzm, górnictwowe materiały wybuchowe, metody badań

Keywords: terrorism, mining explosives, test methods

1. Wprowadzenie

Śledztwa prowadzone w kierunku wykrycia sprawców aktów terrorystycznych polegają między innymi na identyfikacji zastosowanego urządzenia oraz typu materiału wybuchowego (MW). Ocena skutków wybuchu może prowadzić do identyfikacji urządzenia, które oddziaływało na otoczenie poprzez rażenie odłamkami oraz powietrzną falę podmuchową (PFP). Informacją podstawową jest intensywność generowanej powietrznej fali podmuchowej oddziaływującej zarówno na organizm człowieka, jak i na obiekty budowlane. Dla niewielkich ładunków, w wyniku których generowane PFP będą oddziaływały w niewielkich odległościach od ładunku wyznacznikami będą obrażenia u ludzi charakteryzujące się uszkodzeniem błony bębenkowej. Według danych literaturowych wartość ta wynosi ok. 10 kPa [1]. Została wprowadzona w rozporządzeniu [2] jako obowiązująca w odniesieniu do pojazdów przeznaczonych do przewożenia uzbrojonych ładunków materiałów wybuchowych w jednostkach policji.

W przypadku obiektów budowlanych wielkościami charakterystycznymi są uszkodzenia oszklenia występujące już przy wartościach rzędu (3 ÷ 4) kPa. W oparciu o empiryczne równanie Sadowskiego oraz znane wartości uzyskane z informacji o obrażeniach u ludzi, możemy wyliczyć orientacyjny ekwiwalent trotylowy. Równanie to było wyznaczane w oparciu o ciepło wybuchu i możliwe jest wyznaczanie mas zdetonowanych ładunków z równania

$$\Delta p = 0.84 * \lambda^{-1} + 2.7 * \lambda^{-2} + 7.0 * \lambda^{-3} \quad [kPa], \quad \lambda = \frac{R}{\sqrt[3]{G}} \quad (1)$$

gdzie: R – odległość [m], G – równoważnik masy trotylu [kg]

Zdolność niszcząca zdetonowanego ładunku MW w metalowej obudowie jest bezpośrednio związana z energią kinetyczną odłamków. W literaturze przyjmuje się, że dla organizmu człowieka niebezpieczne są odłamki o energii 17 J (dla odłamków tępych) i 11 J (dla odłamków ostrych). Wyznacznikiem energii odłamków są podobnie jak w przypadku PFP obrażenia u ludzi oraz powstałe przebicia różnych elementów np. blach karoseryjnych (rys. 1).



Rys. 1. Przebicie blachy karoserii przez odłamki uformowane w wyniku detonacji dynamitu 20G5H umieszczonego w 2-calowej mufie stalowej

Detonując te same wzorcowe ładunki elaborowane różnymi materiałami wybuchowymi można ocenić wielkość generowanych zagrożeń. Analiza odłamków może dawać wiele różnych informacji zarówno o rodzaju materiału, z jakiego wykonana była skorupa ładunku jak i o jej wielkości oraz masy MW. W literaturze wartości te (wielkość, masa) są przedmiotem analiz i opisów. W pracy [3] przedstawiono równanie określające ilość odłamków w zależności od budowy pocisku, masy i parametrów materiału wybuchowego oraz właściwości mechanicznych materiału skorupy.

$$N = \beta \frac{\omega}{d} * \frac{\sigma}{RrA} * \frac{\chi^2 + 0,5}{\chi^2 - 1} \quad (2)$$

gdzie: N – liczba odłamków; β - współczynnik zależny od właściwości materiału wybuchowego (np.: dla kwasu pikrynowego $\beta = 50$, dla TNT $\beta = 46$, dla amonalu $\beta = 40$, a dla amatołu $\beta = 30$); ω – masa ładunku MW [kg], d – kaliber pocisku; σ – granica sprężystości, [kgxmm⁻²]; R_r – granica wytrzymałości na rozciąganie, [kgxmm⁻²]; A – wydłużenie [%]; χ – współczynnik zależny od konstrukcji pocisku (dla pocisków ze współczynnikami napełniania 7 %, 10 % i 15%, równy odpowiednio 1,8, 1,5 i 1,4).

Na podstawie wzoru (2) można wyliczyć prognozowaną ilość odłamków generowanych przez zdetonowany przedmiot wybuchowy. W oparciu o tzw. „fuzję danych” brakujące wartości mogą być uzupełnione na podstawie dodatkowej analizy chemicznej materiału wybuchowego, ilości materiału, wielkości PFP - na tej podstawie możemy przewidzieć pozostałe niewiadome użyte we wzorze (2). Sumowanie wyników pozwala na bardzo precyzyjny opis detonowanego ładunku, dzięki któremu można określić charakter zagrożenia stwarzanych przez dany Improwizowany Przedmiot Wybuchowy (IED).

Posiadanie opisu ładunku pozwala również na łatwiejsze prowadzenie śledztwa i typowanie profilu przestępcy tzn. określenie jakimi środkami dysponuje i jaki jest poziom wiedzy terrorysty w zakresie budowy urządzeń samodiałowych. Pełny opis charakteru oddziaływania ładunku jest niezbędny również w postępowaniu

sądowym mającym na celu określenie rozmiarów zagrożenia.

Poniżej przedstawiono metodykę, która może być wykorzystana do stworzenia baz danych umożliwiających szybką analizę i uzyskanie opisu urządzenia wykorzystanego w akcie terroru.

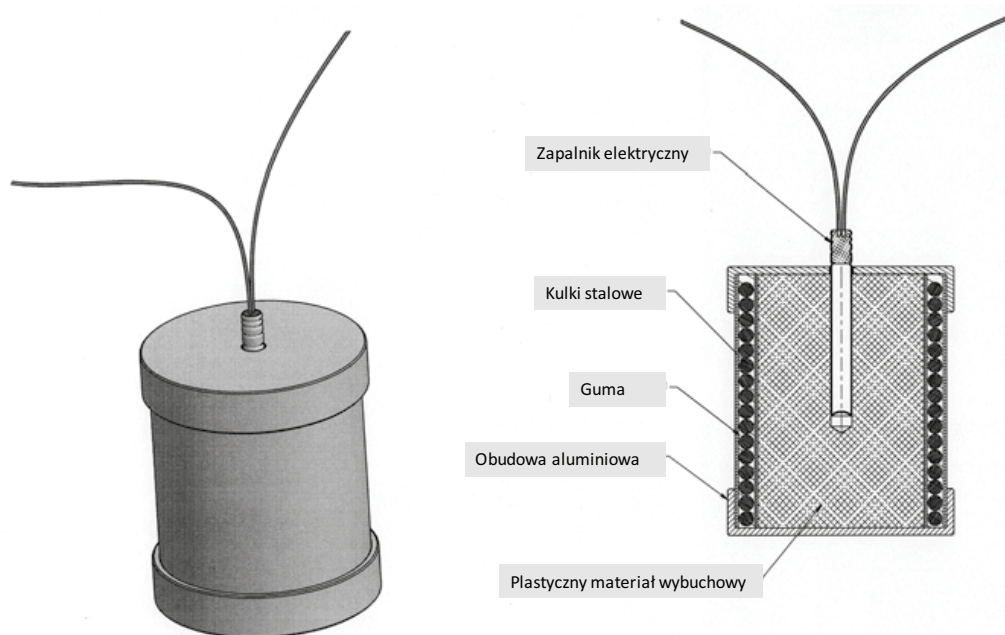
2. Część eksperymentalna

2.1. Badanie prędkości odłamków

Do badań prędkości odłamków korzystano z modelu miny AP (ang. *Anti Personal*) opisanego w procedurze badawczej [4]. Według założeń opisanych w procedurze ładunek powinien spełniać następujące wymagania:

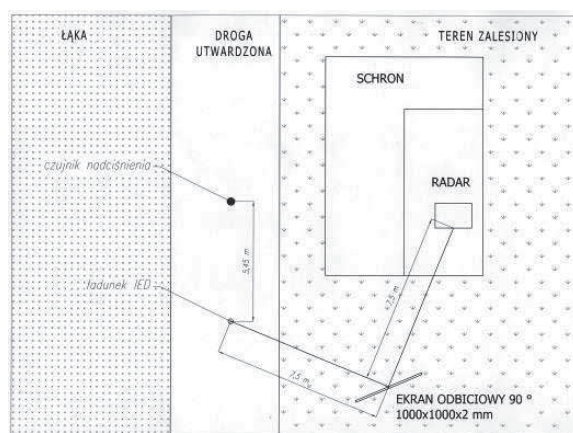
- masa materiału wybuchowego 300 g;
- rodzaj materiału wybuchowego wysokoenergetyczny (np. kompozycja B, C4);
- kształt ładunku walec;
- odłamki pojedyncze kule (0,4 g) z hartowanej stali;
- prędkość odłamka $(1150 \div 1200) \text{ m s}^{-1}$;
- liczba odłamków minimum 750 sztuk.

W testowanym ładunku (rys. 2) jako wzorec użyto materiału wybuchowego SEMTEX 1A o zawartości 86% pentrytu. Gęstość ładowania wynosiła ok. $1,5 \text{ g cm}^{-3}$. Zarejestrowane prędkości miały poziom minimum 1150 m s^{-1} , a więc spełniały kryteria założone w procedurze.



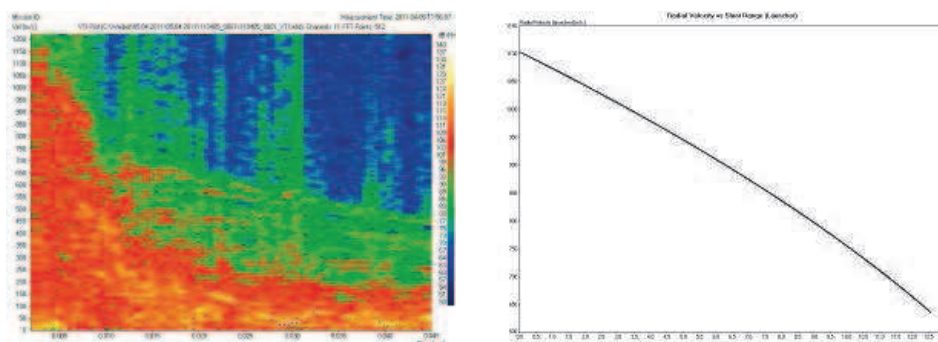
Rys. 2. Model improwizowanego przedmiotu wybuchowego

Do rejestracji odłamków stosowano radar Dopplera model SL-520P. W związku z możliwością uszkodzenia radaru ustawionego bezpośrednio na obiekt, zastosowano układ ze zwierciadłem wykonanym z blachy aluminiowej o wymiarach $(1000 \times 1000 \times 2) \text{ mm}$ załamującej wiązkę promieni pod kątem 90° , a sam radar umieszczono w korytarzu bunkra. Zwierciadło usytuowano w odległości 7,5 m, zarówno od badanego obiektu jak i od urządzenia nadawczo-odbiorczego radaru. Zaproponowany układ umożliwia pomiar jedynie tych odłamków, które lecą prostopadłe do zwierciadła, co pozwala na pomiar prędkości odłamków bez konieczności korygowania ich prędkości wynikającej z przemieszczania kątownego (rys. 3).



Rys. 3. Stanowisko pomiaru prędkości odłamków z użyciem radaru SL-520P

W testach, w celu określenia prędkości odłamków generowanych w wyniku detonacji MW badano różne rodzaje ładunków zaelaborowanych górnictwymi materiałami wybuchowymi. Ze względu na różnorodność gęstości używanych materiałów wybuchowych masa i prędkość detonacji nie mogą być wykorzystane jako parametr mający bezpośredni wpływ na prędkość odłamków w analizowanym materiale. Za zasadne kryterium można uznać koncentrację energii wyrażoną w kJ dm^{-3} . Wyniki zarejestrowanych wartości z radaru Dopplera przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wykresy zarejestrowanych wartości z radaru Dopplera

2.2. Pomiar intensywności powietrznej fali podmuchowej

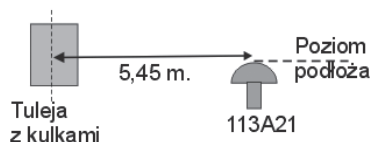
Do pomiaru intensywności powietrznej fali podmuchowej wykorzystano zestaw pomiarowy składający się z elementów o charakterystykach przedstawionych w tabeli 1.

Tab. 1. Elementy zestawu pomiarowego

Lp.	Nazwa	Typ	Uwagi
1	Karta oscyloskopowa	DSO-2904	Nr DSO-2904
2	Kondycjoner	PA-3000	Nr PA-3000/2005/10/19 Nr PA-3000/2006/10/24
3	Zapalarka	TZK 100	Nr 045/86
4	Laptop	Maxdata	Nr 105582
5	Kable pomiarowe	RG 58	50 mb
6	Czujnik fali nadciśnienia	113A21 nr 15170	3,74 mV/kPa - kanał 1

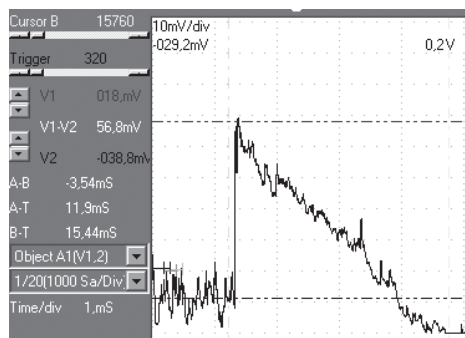
Przedstawiony w tabeli 1 układ pomiarowy zbudowano umieszczając czujnik do pomiaru fali nadciśnienia na powierzchni gruntu (rys. 5). Sposób ułożenia czujnika został podyktowany tym, że podobnie jak w przypadku radaru istniała możliwość uszkodzenia go swobodnie rozlatującymi się odłamkami. Z analizy pracy [5] wynika jednoznacznie, że intensywność powietrznej fali podmuchowej jest większa dla ładunków detonowanych na

powierzchni gruntu. Dlatego w eksperymentach zastosowano układ badawczy, w którym ładunek umieszczano zawsze na tej samej wysokości nad powierzchnią gruntu. Wielkości zmierzonych wartości mogą zostać skorygowane poprzez zdetonowanie wzorcowego ładunku np. 0,5 kg TNT i skorelowanie otrzymanej wartości z wielkościami otrzymanymi z obliczeń wykonanych w oparciu o równanie Sadowskiego (1).

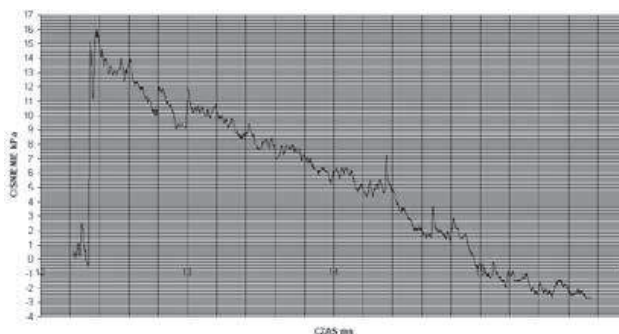


Rys. 5. Usytuowanie czujnika

Zarejestrowany impuls napięciowy przez czujnik jest przetwarzany w karcie oscyloskopowej i obrazowany w rejestratorze danych. Dzięki możliwości eksportu zarejestrowanych wartości do programu EXCEL można w dowolny sposób obrabiać otrzymane wyniki analizując zarówno wartość maksymalną zarejestrowanego „piku” jak i obliczyć wartość tzw. impulsu całkowitego.



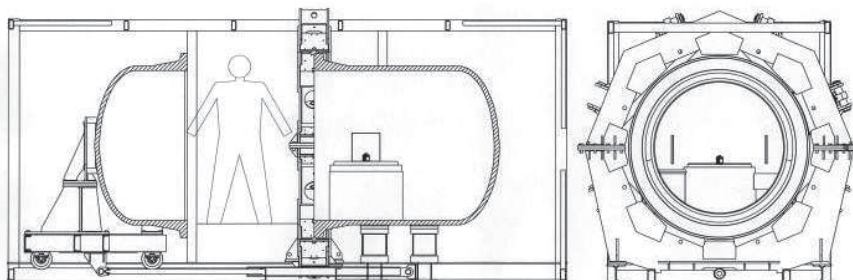
Rys. 6. Widok zarejestrowanej PFU w programie do obsługi karty oscyloskopowej DSC 2904



Rys. 7. Wykres sporządzony w programie Microsoft EXCEL z danych uzyskanych z programu DSC 2904

2.3. Badania w komorze detonacyjnej – zdolność do perforacji stalowych elementów kontrolnych i analiza sitowa odłamków

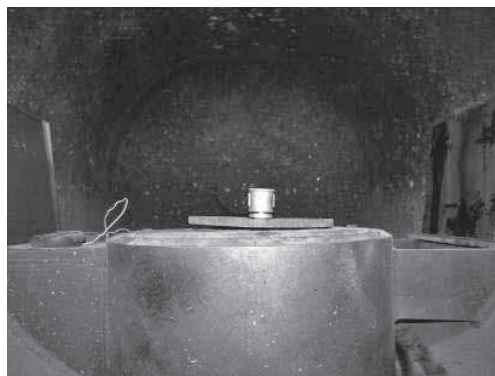
Sposób postępowania na miejscu zdarzenia uwarunkowany jest możliwościami interpretacji znalezionych materiałów dowodowych. Im większa ilość śladów tym większe prawdopodobieństwo określenia charakteru i budowy ładunku który zdetonował. Opisywane w literaturze [6] sposoby identyfikacji ograniczają się jedynie do rozróżnienia typów odłamków na pochodzące z fragmentacji wymuszonej, kulkowe, pochodzące z granatów RGO oraz fragmentacji przypadkowej mającej miejsce w ładunkach rurowych elaborowanych górnictwami wybuchowymi. W tej samej literaturze przytacza się również ilość i charakter generowanych odłamków dla urządzenia wybuchowego o masie skorupy 1 kg. Nie określa się charakteru i oddziaływania sparametryzowanego poprzez żadną procedurę lub metodykę. W ramach niniejszej pracy badania prowadzono w komorze detonacyjnej (rys. 8).



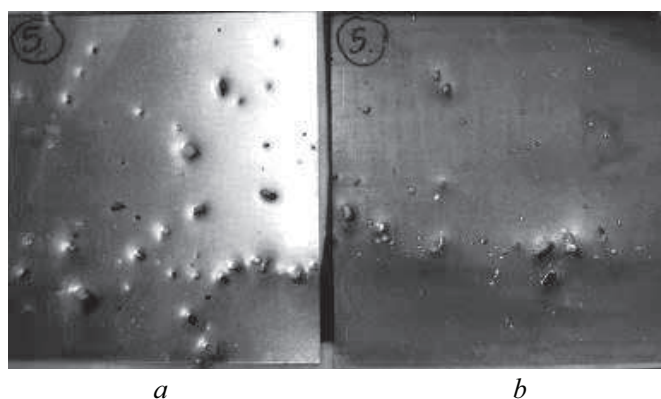
Rys. 8. Stanowisko badawcze - komora detonacyjna KWU-2

Materiał wybuchowy Ergodyn 22E umieszczano w 2-calowej mufie hydraulicznej zamykanej korkiem (rys. 9). Podczas eksperymentów określono następujące parametry:

- zdolność do przebicia z odległości 500 mm blach wykonanych z gatunku stali S255, (500 x 500) mm o grubościach odpowiednio 1 mm, 2 mm oraz 4 mm (rys. 10);
- stopień fragmentacji mufy hydraulicznej.



Rys. 9. Położenie ładunku w komorze detonacyjnej KWU-2



Rys. 10. Efekty przebicia blach stalowych odłamkami uformowanymi w wyniku detonacji ładunku IED zawierającego 280 g Ergodynu 22E umieszczonego w mufie hydraulicznej, grubość blachy: a) 2 mm, b) 4 mm

Otrzymane wyniki pokazują ilość przebić oraz charakter tj. kształt i wielkość penetrujących odłamków. Wykorzystując szczelność komory po detonacji zebrano uformowane odłamki i poddano je analizie sitowej. Zebrany materiał został przesiany przez kaskadę sit (rys. 11) o wymiarach (500 x 250) mm i charakterystykach oczek przedstawionych w tabeli 2.



Rys. 11. Kaskada sit o różnej wielkości oczek

Tab. 2. Zakres frakcji pozostającej na danym sicie

Numer sita	I	II	III	IV	V	VI	VII
Zakres frakcji [mm]	>12	10 ÷ 12	8 ÷ 10	5 ÷ 8	3 ÷ 5	2 ÷ 3	< 2

W wyniku przeprowadzonej analizy sitowej wykonano następujące czynności:

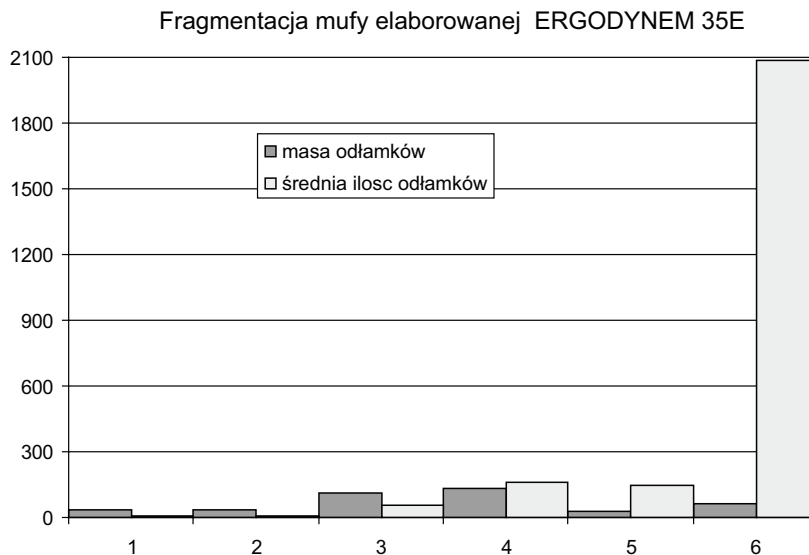
- określono masę danej frakcji;
- pobrano 10 przypadkowych odłamków i zważono;
- wyznaczono średnią masę odłamka w danej frakcji;
- określono średnią ilość odłamków występujących w danej frakcji (masę danej frakcji podzielono przez średnią masę odłamka).

Otrzymane wartości przedstawiono w tabeli 3 oraz na rys. 12.

Zestawienie kilku takich tabel pozwala na określenie charakteru rozkładu granulometrycznego odłamków powstałych w wyniku detonacji ładunków IED. Wartości te można przeliczyć na udział procentowy co pozwoli na wykonanie analizy porównawczej z materiałem pobranym na miejscu zdarzenia tj. detonacji ładunku IED.

Tab. 3. Wyniki analizy sitowej

Masa MW [g]	Masa mufy [g]	Parametr	Numer sita						
			1	2	3	4	5	6	7
272	838	Masa całości [g]	37,4	35,5	114,9	133,1	28,8	62,5	173
		Średnia masa odłamka [g]	7,48	3,55	1,97	0,82	0,2	0,03	-
		Średnia ilość odłamków [szt.]	5	10	58,3	162,3	144,0	2083,3	-

**Rys. 12.** Wyniki analizy sitowej przedstawione w formie wykresu kolumnowego

3. Wnioski

Dzięki zastosowaniu radaru Dopplera wyznaczenie parametrów początkowych tj. energii kinetycznej standartowych odłamków pozwala na określenie charakteru zagrożeń ładunków IED – możliwego promienia działania śmiertelnego oraz tzw. promienia występowania odłamków o energii większej niż 11 J, tj. odłamków raniących. Również wyniki pomiarów intensywności powietrznej fali podmuchowej może pozwolić na wyznaczenie energii wybuchu.

Przeprowadzone eksperymenty w komorze detonacyjnej pokazują charakter fragmentacji i energie odłamków

generowanych w wyniku wybuchu urządzenia samodiałowego. W oparciu o zebrany materiał dowodowy istnieje możliwość określenia rodzaju urządzenia oraz typu materiału wybuchowego. Zastosowanie fuzji danych uzyskanych na miejscu zdarzenia np. poprzez wykonanie analizy sitowej gleby w pobliżu miejsca detonacji pozwala na zebranie i określenie procentowego udziału danej frakcji odłamków. Wyznaczenie wielkości przebiegów i zniszczeń dokonanych przez powietrzną falę podmuchową może być podstawą do określenia rodzaju MW, którym zostało zaelaborowane urządzenie IED. Detonowanie urządzeń wybuchowych w komorach umożliwia zbieranie materiałów dowodowych i ich dalszą analizę statystyczną.

Prezentowane metodyki są jedynie wskazówkami do dalszych prac badawczych, których wyniki powinny umożliwić opracowanie bazy danych o odłamkach i charakterze ich działania. Pozwoli to w przyszłości na łatwiejszą i szybszą identyfikację urządzeń wybuchowych oraz stanowić będzie uzupełnienie wykonywanych analiz chemicznych.

Literatura

- [1] Pągowski W., Buczkowski D., Subocz B., *Uwarunkowania bezpiecznych lokalizacji magazynów materiałów wybuchowych*. Problemy Techniki Uzbrojenia 2001, 80, 5.
- [2] Rozporządzenie Ministrów: Spraw Wewnętrznych i Administracji, Obrony Narodowej, Finansów oraz Sprawiedliwości z dnia 24 listopada 2004 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów specjalnych i pojazdów używanych do celów specjalnych Policji, Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Agencji Wywiadu, Straży Granicznej, kontroli skarbowej, Służby Celnej, Służby Więziennej i Straży pożarnej (Dz. U. Nr 262, poz. 2615).
- [3] Trietiałow G., *Amunicja artyleryjska*. Wyd. MON, Warszawa 1954.
- [4] Procedura badawcza AEP-55. *Procedury określania poziomów bezpieczeństwa dla użytkowników pojazdów logistycznych i lekkich opancerzonych na wypadek zagrożenia wybuchem granatu i miny*.
- [5] *Физика взрыва*. Изд. ФИЗМАТЛИТ, Москва 2002.
- [6] Baran T., Policha A., *Zeszyty metodyczne. Badania fizykochemiczne. Wybuch i jego skutki. Badania materiałów i urządzeń wybuchowych*. Wyd. Centralnego Laboratorium Kryminalistycznego, Warszawa 2004.