

## **Analiza próbek powybuchowych dla potrzeb wymiaru sprawiedliwości – modelowe eksperymenty polowe** **Analysis of post-explosion samples for forensic purposes – model field experiments**

***Rafał Borusiewicz, Grzegorz Zadora, Janina Zięba-Palus***

*Instytut Ekspertyz Sądowych, ul. Westerplatte 9, 31-315 Kraków*

*Autor do korespondencji: rborusiewicz@ies.krakow.pl*

**Streszczenie:** *Celem badań było określenie powtarzalności wyników detonacji, zarówno pod względem ilości materiału pozostałego wybuchowego, jak i jego rozmieszczenia. Przeprowadzono modelowe eksperymenty na poligonie, polegające na detonacji ładunków pięciu różnych materiałów wybuchowych: TNT, RDX, PETN, dynamitu i materiału plastycznego, zawierającego RDX i TNT (kompozycja B). Każdy z eksperymentów (detonacja ładunku określonego materiału) powtórzono 3 razy. Eksperymenty prowadzono w kontrolowanych i powtarzalnych warunkach.*

*Aby w sposób powtarzalny uzyskać próbki powybuchowe, w określonej odległości od detonowanych ładunków ustawiano arkusze ocynkowanej blachy. Po detonacji pobierano próbki, przecierając powierzchnię blach watą bawełnianą zwilżoną acetonem. Następnie próbki ekstrahowano dwiema porcjami metanolu, z użyciem łaźni ultradźwiękowej. Uzyskane ekstrakty łączono, zatężano przez odparowanie rozpuszczalnika, oczyszczano z cząstek stałych przez wirowanie i analizowano przy pomocy chromatografu cieczowego z detektorem typu DAD (HPLC-DAD).*

*Chociaż eksperymenty powtarzano w taki sam sposób (na tyle na ile to możliwe w warunkach polowych) dla żadnego z pięciu badanych materiałów wybuchowych nie uzyskano powtarzalnych wyników, co można wytłumaczyć różnicami w efektywności detonacji, które najwyraźniej mogą wystąpić nawet dla pozornie identycznych ładunków.*

*Nie zaobserwowano również spodziewanej zależności pomiędzy odległością od ładunku a ilością materiału w próbkach pobranych po wybuchu. Można to wytłumaczyć tym, że cząsteczki nieprzereagowanego materiału wybuchowego podczas wybuchu nie są rozpraszane równomiernie.*

**Abstract:** *The aim of research was to check the repeatability of explosion both for amount and distribution of explosives residues. The model field experiments were conducted. Charges of five different explosives: TNT, RDX, PETN, dynamite, and Composition B were detonated. Each experiment (detonation of the charge of each specific explosive) was repeated three times. The experiments were conducted under controlled conditions, exceeding those of research published so far.*

*For each experiments three witness plates (sheets of galvanized steel) situated in a different distance from the charge were used, to collect post-blast residues in a reproducible way. Samples were collected by systematic swabbing of the surface of the plates by acetone moistened cotton swabs. Swabs were extracted with two portions of methanol, using ultrasonic bath. Extracts were combined, concentrated by solvent evaporation, cleaned by centrifugation, and analysed using HPLC-DAD.*

*Although each of the experiments were conducted in a repeatable and uniform fashion (as much as possible in field conditions), the results proved to be unrepeatable for each of the five explosives tested. This lack of reproducibility may be explained by differences in the efficiency of a detonation which can, apparently, occur even for seemingly identical charges.*

*Also, the intuitively expected relationship between distance from the charge and the amount of post-blast residues was not observed. This may be explained by the fact that during detonation particles of unreacted explosives are not uniformly dispersed in all directions.*

**Słowa kluczowe:** *chemia sądowa; materiały wybuchowe, próbki powybuchowe, HPLC*

**Keywords:** *forensic analysis; explosives; post-blast residues; HPLC*

## 1. Wstęp

Wykrycie śladów materiałów wybuchowych w próbkach pobranych z miejsca wybuchu pozwala na stwierdzenie, że zdarzenie było najprawdopodobniej związane z użyciem takich materiałów i nie było spowodowane innymi przyczynami, takimi jak defekt urządzeń wysokociśnieniowych czy przypadkowe utworzenie i inicjacja mieszaniny typu paliwo-powietrze. Informacja o rodzaju użytego środka wybuchowego pozwala również na ustalenie możliwych źródeł jego pochodzenia i dzięki temu wytypowanie sprawcy.

Informacje dotyczące sposobów przygotowania próbek różnego rodzaju materiałów do analizy chromatograficznej oraz parametrów analizy są dostępne w literaturze fachowej [1]. Z analizą pozostałości powybuchowych wiążą się jednak problemy, których rozwiązanie wymaga dalszych badań. Należą do nich reprezentatywne pobieranie próbek powybuchowych i interpretacja wyników analiz. Wybuch jest złożonym zjawiskiem, na przebieg którego mogą mieć wpływ rodzaj materiału wybuchowego, wielkość i kształt ładunku, pozycja detonatora a nawet warunki pogodowe. Aby lepiej zrozumieć te zależności przeprowadzono eksperymenty polowe [2-11]. By pobrać próbki powybuchowe w sposób powtarzalny i uniknąć zanieczyszczeń pochodzących z wcześniejszych detonacji stosowano różne podejścia: detonacja ładunków zawieszonych nad świeżym śniegiem lub lodem [4-7], brezent lub metalowe tace rozłożone na ziemi [5,7,8], lub płyty (ang. „witness plates”) ustawione pionowo, prostopadle do kierunku rozchodzenia się fali uderzeniowej [2,3,9-11]. Co zaskakujące, w żadnym z badań nie udało się uzyskać powtarzalnych wyników, tj. po każdej z detonacji takich samych ładunków, w takim samym układzie eksperymentalnym, w próbkach powybuchowych wykrywano różne ilości nieprzereagowanego materiału wybuchowego [4-8]. Różnice były bardzo duże, nawet o kilka rzędów wielkości [4-6]. Co więcej, oczekiwana zależność pomiędzy ilością materiału w próbkach i odległością od ładunku (im dalej tym mniej) nie została potwierdzona przez dane eksperymentalne [2-5,7]. Również inna spodziewana zależność, tj. pomiędzy wielkością ładunku i ilością nieprzereagowanego materiału w próbkach powybuchowych, nie znalazła potwierdzenia w danych eksperymentalnych [4,7].

Brak powtarzalności wyników eksperymentów polegających na detonacji ładunków wybuchowych jest najczęściej tłumaczony tym, że ilość nieprzereagowanego materiału zależy od efektywności detonacji. Mogą na nią wpłynąć nawet małe, przypadkowe zmiany we właściwościach środka wybuchowego, w kształcie ładunku albo we właściwościach bądź pozycji detonatora [2]. W ten sam sposób można wytłumaczyć brak zależności pomiędzy wielkością ładunku i ilością nieprzereagowanego materiału. Po wybuchu większego ładunku może pozostać mniej materiału niż po wybuchu mniejszego, jeśli detonacja większego była bardziej efektywna.

Brak zależności pomiędzy odległością od ładunku i ilością materiału wybuchowego w próbkach wynika najprawdopodobniej z trudności w pobraniu reprezentatywnych próbek. Cząstki nieprzereagowanego materiału rozpraszane przez wybuch są zróżnicowane pod względem wielkości i kształtu. Cięższe cząstki mogą przebyć większą odległość niż lżejsze. Jeśli przez przypadek jako próbka zostanie pobrany materiał zawierający taką cząstkę, uzyskany wynik może być zawyżony w stosunku do ilości średniej dla danej odległości [2,4,5,8]. Innym czynnikiem który może wpłynąć na kierunek rozprzestrzeniania się pozostałości powybuchowych jest wiatr. Wpływ wiatru został wyraźnie potwierdzony przez wyniki eksperymentów, polegających na detonacji nad warstwą śniegu. Kształt obszarów, na których po wybuchu pozostawały na śniegu ślady sadzy nigdy nie był kolisty, lecz zawsze zniekształcony przez wiatr [4-6].

Jak widać jest wiele czynników mogących wpływać na ilość i rozmieszczenie pozostałości powybuchowych. Opublikowane do tej pory wyniki badań wskazują, że wybuch jest zjawiskiem cechującym się dużą zmiennością, zarówno co do ilości, jak i rozmieszczenia pozostałości powybuchowych. Niemniej wnioski te mogą budzić wątpliwości, ponieważ opierają się na ograniczonych danych – przeprowadzono jedynie pojedyncze eksperymenty lub też układ eksperymentalny nie był dokładnie taki sam dla kolejnych powtórzeń (stosowano ładunki różnej wielkości i kształtu, występowały różnice w umiejscowieniu detonatora i obecności bądź braku detonatorów pośrednich). Dodatkowo badania zwykle dotyczyły tylko jednego rodzaju materiału wybuchowego.

Celem prezentowanych badań było wyjaśnienie wspomnianych wątpliwości poprzez przeprowadzenie eksperymentów polowych bardziej rozległych i w bardziej kontrolowanych warunkach niż dotychczas publikowane badania.

## 2. Materiały i metody

### 2.1. Materiały i aparatura

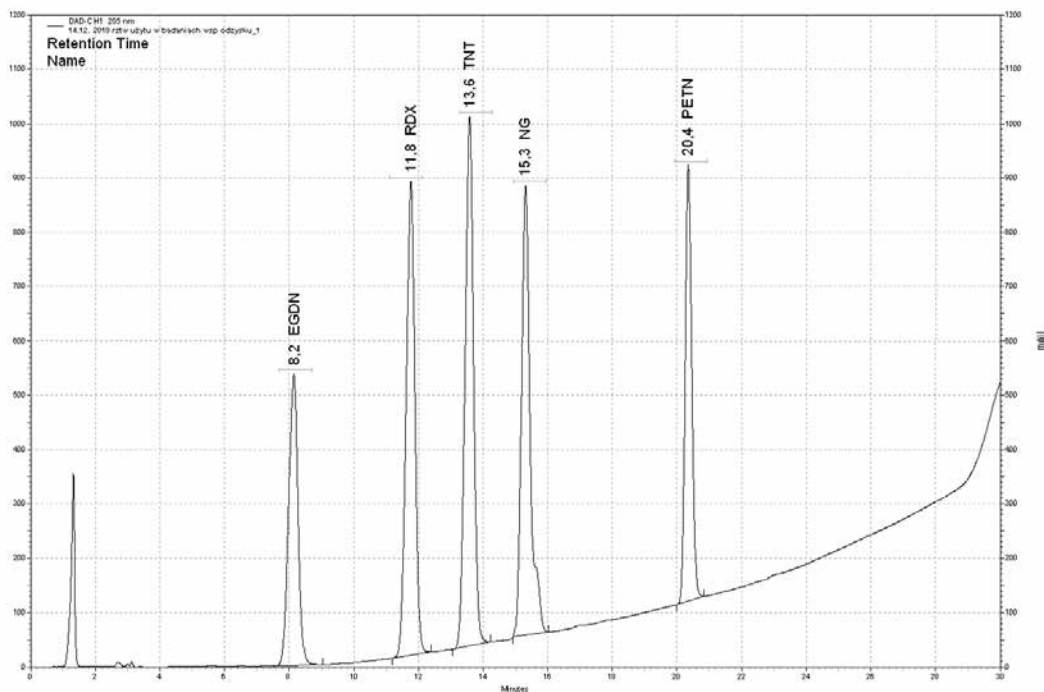
Jednakowe ładunki środków wybuchowych detonowano trzy razy w takim samym układzie eksperymentalnym. Płyty z których pobierano próbki powybuchowe umiejscowiono blisko detonowanych ładunków, by ograniczyć wpływ wiatru. Eksperymenty (trzy detonacje takich samych ładunków w takim samym układzie eksperymentalnym) przeprowadzono dla pięciu materiałów wybuchowych: TNT, RDX, PETN, dynamitu i kompozycji B.

Ekstrakty z próbek powybuchowych analizowano z użyciem chromatografu cieczowego z detektorem DAD (LaChrom Elite, VWR-Hitachi, Radnor, Pennsylvania, USA) wyposażonego w kolumnę z fazą CN (LiChroCART 250-4; LiChrospher® 100 CN 5 µm, Merck, Darmstadt, Germany). Pojemność pełni dozowniczey wynosiła 20 µl. Stosowano elucję gradientową mieszaniną wody, metanolu i acetonitrylu (wszystkie rozpuszczalniki czystości gradientowej firmy Merck). Przepływ fazy mobilnej wynosił 1 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>. Każda analiza trwała 30 min. Kalibrację i analizy ilościowe prowadzono dla długości fali 205 nm. Sygnały analityczne, jako powierzchnie pików w jednostkach umownych, mierzono z użyciem oprogramowania EZChrom Elite 3.1.7, firmy Scientific Software Inc. Program elucji przedstawiono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Program elucji gradientowej dla analizy HPLC-DAD

Czas [min]	Metanol [%]	Woda [%]	Acetonitryl [%]
5	5	75	20
25	65	15	20
26	80	0	20
30	80	0	20

Przykładowy chromatogram uzyskany dla mieszaniny wzorcowej analizowanych związków przedstawia rysunek 1.



**Rys. 1.** Przykładowy chromatogram uzyskany dla mieszaniny wzorcowej badanych związków

## 2.2. Kalibracja

Celem oznaczenia badanych związków w ekstraktach przeprowadzono kalibrację zewnętrzną. Dla każdego z pięciu poziomów kalibracyjnych przeprowadzono po cztery analizy. Stężenia analitów w zastosowanych mieszaninach wzorcowych przedstawiono w tabeli 2.

**Tab. 2.** Stężenia analitów w mieszaninach wzorcowych użytych do kalibracji.

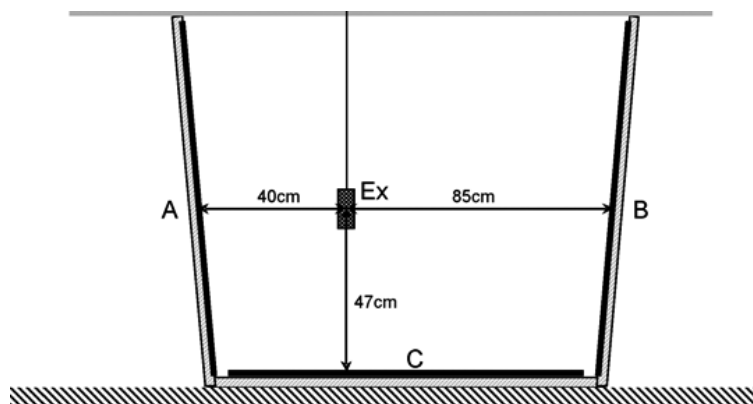
EGDN [mg ml <sup>-1</sup> ]	NG [mg ml <sup>-1</sup> ]	RDX [mg ml <sup>-1</sup> ]	TNT [mg ml <sup>-1</sup> ]	PETN [mg ml <sup>-1</sup> ]
0,0465	0,0465	0,0461	0,0471	0,0466
0,0326	0,0326	0,0323	0,0330	0,0326
0,0233	0,0233	0,0231	0,0236	0,0233
0,0140	0,0140	0,0138	0,0141	0,0140
0,0046	0,0046	0,0046	0,0047	0,0047

## 2.3. Sposób ekstrakcji próbek

Próbki z eksperymentów polowych (wymazy na wacie bawełnianej) ekstrahowano dwiema porcjami metanolu w następujący sposób: próbkę umieszczano w zlewce i dodawano metanol w takiej ilości by ją przykryć. Zlewkę umieszczano w łaźni ultradźwiękowej (Sonic-2, firmy Polsonic, Polska) na 10 minut. Ekstrakt oddzielano i przenoszono do drugiej zlewki, a do próbki dodawano kolejną porcję metanolu i umieszczano ponownie w łaźni ultradźwiękowej na 10 minut. Uzyskane ekstrakty łączono i zatężano przez odparowanie rozpuszczalnika z użyciem łaźni wodnej (MLL 147 firmy AJL Electronic, Polska) do objętości nieco mniejszej niż 5 cm<sup>3</sup>. Ekstrakt przenoszono do cylindra miarowego i dodawano metanolu, tak by całkowita objętość wynosiła dokładnie 5 cm<sup>3</sup>. Po wymieszaniu pobierano 1,5 cm<sup>3</sup>, przenoszono do mikropróbówki i oczyszczano z cząstek stałych przez ich odwirowanie (wirówka 5415D firmy Eppendorf). Każdy z uzyskanych w ten sposób, czystych ekstraktów analizowano trzy razy.

## 2.4 Eksperymenty na poligonie, pobieranie próbek i analiza

Eksperymenty na poligonie polegały na detonacji ładunków umieszczonych w określonej odległości od trzech płyt, z których później pobierano próbki. Płyty składały się z prostokątnych arkuszy ocynkowanej blachy (100 cm x 90 cm x 0,5 mm), umieszczonych na odpowiednich wspornikach. Układ eksperymentalny przedstawiono schematycznie na **rys. 2**. Każdy z ładunków składał się z materiału wybuchowego zawiniętego w folię aluminiową, z umieszczonym centralnie detonatorem elektrycznym. Każdy ładunek zawinięto w czysty, biały, bawełniany ręcznik (30 cm x 60 cm) i zawieszono pomiędzy dwiema płytami (**rys. 2**, płyty A i B), umieszczonymi w odległości 40 cm i 85 cm i ponad trzecią płytą (płyta C) odległą od ładunku o 47 cm.



**Rys. 2.** Schemat układu eksperymentalnego. A, B, C – płyty z których pobierano próbki powybuchowe; Ex – ładunek materiału wybuchowego.

W każdym z eksperymentów stosowano nowe, nieużywane arkusze blachy. Po wybuchu zabezpieczano do badań pozostałości ręcznika, reprezentującego materiał, który przed wybuchem był w bezpośrednim kontakcie z ładunkiem. Z płyt pobierano próbki przez przetarcie całej ich powierzchni watą bawełnianą, zwilżoną acetonem. Pobrane w ten sposób próbki pakowano szczelnie i po przewiezieniu do laboratorium poddawano ekstrakcji i analizie.

Przeprowadzono trzy serie eksperymentów. W ramach każdej z serii detonowano ładunki pięciu różnych materiałów wybuchowych: 50 g TNT (prasowany), 50 g dynamitu (zawierającego EGDN i NG), 10 g PETN (w postaci 8 kawałków lontu detonującego, po 10 cm każdy, zawierającego 12 g PETN na 100cm), 10 g RDX (czysty, krystaliczny) i 10 g materiału plastycznego kompozycja B (59,5% RDX, 39,5% TNT, 1% воск). Materiały wybuchowe obecne na pozostałości ręcznika oraz na wymazach pobranych z blach ekstrahowano metanolem, zgodnie z procedurą opisaną w punkcie 2.3. Każdy z uzyskanych ekstraktów analizowano trzykrotnie, w sposób opisany w punkcie 2.1 i wyznaczono stężenia w oparciu o równania krzywych kalibracyjnych (tabela 3).

**Tab. 3.** Parametry krzywych kalibracyjnych opisanych równaniem  $y = ax + b$

Analityt	a	b	Błąd std. a	Błąd std. b	r*
EGDN	$1,95 \cdot 10^8$	$-1,07 \cdot 10^5$	$\pm 3,04 \cdot 10^5$	$\pm 8,58 \cdot 10^4$	0,998
RDX	$2,62 \cdot 10^8$	$-8,17 \cdot 10^4$	$\pm 3,95 \cdot 10^5$	$\pm 1,10 \cdot 10^5$	0,998
TNT	$2,74 \cdot 10^8$	$-1,17 \cdot 10^5$	$\pm 5,62 \cdot 10^5$	$\pm 1,61 \cdot 10^5$	0,996
NG	$1,79 \cdot 10^8$	$-5,26 \cdot 10^4$	$\pm 2,91 \cdot 10^5$	$\pm 8,20 \cdot 10^4$	0,998
PETN	$1,71 \cdot 10^8$	$-5,33 \cdot 10^4$	$\pm 2,89 \cdot 10^5$	$\pm 8,16 \cdot 10^4$	0,997

\* r – współczynnik korelacji Pearsona

Jeśli wynik pierwszej analizy wskazywał, że stężenie danego środka wybuchowego znajduje się poza zakresem kalibracji, ekstrakt odpowiednio rozcieńczano i analizowano trzykrotnie. Na podstawie informacji o stężeniu obliczano całkowitą zawartość środków w ekstrakcie w mg. Dla wyników trzech analiz każdego z ekstraktów obliczono średnią zawartość ( $\bar{x}$ ) oraz błąd standardowy średniej (SEM).

### 3. Wyniki i wnioski

#### 3.1. Kalibracja

Parametry równań krzywych kalibracyjnych ( $y = ax + b$ ) przedstawiono w tabeli 3. Wartość współczynnika korelacji Pearsona (r) dla każdego z pięciu oznaczanych związków jest wyższa niż 0,995 co świadczy, że w zakresie kalibracji zależność stężenia i sygnału jest liniowa.

#### 3.2. Wyniki eksperymentów polowych

Wyniki eksperymentów polowych przedstawiono w tabeli 4. Chociaż uczyniono każde powtórzenie eksperymentu przeprowadzono w dokładnie takich samych warunkach, uzyskane wyniki nie były powtarzalne, np dla detonacji dynamitu i płyty umieszczonej w odległości 40 cm, ilość EGDN w ekstraktach wyniosła 19,6 mg, 4,5 mg i 1,5 mg. Te wyniki są zgodne z wynikami uzyskanymi przez innych badaczy [4-8] i potwierdzają tezę, że nawet niewielkie i przypadkowe zmiany w kształcie ładunku oraz właściwościach i umiejscowieniu detonatora mogą wpłynąć na efektywność detonacji, a przez to na ilość nieprzereagowanego materiału pozostałego po wybuchu.

**Tab. 4.** Średnie wartości zawartości materiałów wybuchowych w analizowanych ekstraktach

Odległość [cm]	Eksperyment 1	Eksperyment 2	Eksperyment 3
<b>EGDN z dynamitu</b>			
średnia zawartość w ekstrakcie ± SEM <sup>a</sup> [mg]			
0	14,1 ± 0,8	0,74 ± 0,03	1,50 ± 0,02
40	19,62 ± 0,08	4,52 ± 0,07	1,535 ± 0,02
47	5,69 ± 0,05	5,91 ± 0,09	1,72 ± 0,02
85	4,95 ± 0,02	3,16 ± 0,02	0,579 ± 0,003
<b>NG z dynamitu</b>			
średnia zawartość w ekstrakcie ± SEM [mg]			
0	130 ± 7	8,9 ± 0,1	7,77 ± 0,02
40	175 ± 1	11,3 ± 0,2	5,18 ± 0,08
47	147 ± 1,5	16,1 ± 0,3	7,2 ± 0,1
85	122 ± 1	13,66 ± 0,06	2,56 ± 0,02
<b>PETN</b>			
średnia zawartość w ekstrakcie ± SEM [mg]			
0	0,60 ± 0,01	0,219 ± 0,010	n.w. <sup>b</sup>
40	0,436 ± 0,008	n.w.	0,103 ± 0,002
47	0,1389 ± 0,0005	n.w.	0,197 ± 0,002
85	0,227 ± 0,002	n.w.	0,137 ± 0,001
<b>RDX</b>			
średnia zawartość w ekstrakcie ± SEM [mg]			
0	0,728 ± 0,002	0,72 ± 0,02	1,47 ± 0,02
40	0,5864 ± 0,0004	1,47 ± 0,05	1,78 ± 0,04
47	2,03 ± 0,02	2,37 ± 0,03	1,09 ± 0,02
85	0,94 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,192 ± 0,002
<b>TNT</b>			
średnia zawartość w ekstrakcie ± SEM [mg]			
0	17,8 ± 0,2	188 ± 4	35,6 ± 0,5
40	n.w.	9,0 ± 0,2	22,1 ± 0,1
47	n.w.	2,3 ± 0,1	7,68 ± 0,04
85	0,058 ± 0,001	0,141 ± 0,001	7,2 ± 0,1
<b>RDX z kompozycji B</b>			
średnia zawartość w ekstrakcie ± SEM [mg]			
0	9,33 ± 0,08	n.w.	0,0615 ± 0,0006
40	8,75 ± 0,04	n.w.	0,1007 ± 0,0008
47	10,1 ± 0,2	n.w.	0,060 ± 0,001
85	7,381 ± 0,005	0,0562 ± 0,0004	0,328 ± 0,003
<b>TNT z kompozycji B</b>			
średnia zawartość w ekstrakcie ± SEM [mg]			
0	15,8 ± 0,2	n.w.	0,106 ± 0,002
40	17,25 ± 0,08	n.w.	0,0151 ± 0,0001
47	5,49 ± 0,10	n.w.	n.w.
85	1,469 ± 0,003	n.w.	n.w.

<sup>a</sup> SEM – błąd standardowy średniej.

<sup>b</sup> n.w. – nie wykryto.

Celem określenia czy istnieje zależność pomiędzy odległością od ładunku i ilością materiału w próbkach powybuchowych, dla wyników każdego z eksperymentów przeprowadzono analizę wariancji (ANOVA) [20]. Analiza ANOVA wykazała, że dla każdego z eksperymentów wyniki uzyskane dla danej odległości nie wykazują różnic istotnych statystycznie. Jednocześnie wykazano statystycznie istotne różnice dla wyników uzyskanych dla różnych odległości w ramach konkretnej detonacji. Niemniej jednak nie zaobserwowano oczekiwanej

zależności pomiędzy odległością a ilością ujawnionego nieprzereagowanego materiału wybuchowego, tj. nie wykazano by zwiększenie odległości od detonowanego ładunku skutkowało zmniejszeniem ilości nieprzereagowanego materiału w próbce powybuchowej. Ten wynik jest zgodny z wynikami uzyskiwanymi przez innych badaczy [2-5,7]. Może to wynikać z jednego z dwóch bądź obydwu zjawisk:

- 1) większe cząstki nieprzereagowanego materiału z powierzchni ładunku mogą, na skutek przypadku zostać wyrzucone przez wybuch w kierunku bardziej oddalanej płyty, wpływając w ten sposób na wynik analizy;
- 2) detonator nigdy nie jest umieszczony dokładnie w centrum ładunku, a sam ładunek nie jest sferyczny. Ponieważ umiejscowienie detonatora wpływa na kierunek rozprzestrzeniania się gazów powybuchowych [2], rozproszenie cząstek nieprzereagowanego materiału nie jest jednakowe we wszystkich kierunkach i większa ich ilość może trafić na bardziej odległą płytę.

#### 4. Podsumowanie

Przeprowadzone eksperymenty polowe były bardziej rozległe niż badania dotychczas publikowane. Z każdego z pięciu badanych materiałów wybuchowych wykonano po trzy ładunki i zdetonowano je w takim samym układzie eksperymentalnym. Dla każdego z eksperymentów w taki sam sposób pobierano, przygotowywano i analizowano próbki powybuchowe. Pomimo to wyniki okazały się niepowtarzalne - dla każdego z pięciu materiałów, po każdej trzech detonacji takich samych ładunków wykryto różne ilości nieprzereagowanego materiału. Ten brak powtarzalności można wytłumaczyć różnicami w efektywności detonacji, które najwyraźniej mogą wystąpić nawet dla pozornie jednakowych ładunków. Nie zaobserwowano również zależności pomiędzy odległością miejsca pobierania próbki od ładunku a ilością nieprzereagowanego materiału, co można wytłumaczyć faktem, że podczas wybuchu cząstki nieprzereagowanego materiału nie są rozpraszane równomiernie we wszystkich kierunkach. Uzyskane wyniki potwierdziły, że wybuch jest procesem cechującym się dużą zmiennością, zarówno co do całkowitej ilości nieprzereagowanego materiału jak i co do jego rozproszenia.

#### Podziękowania:

Autorzy pragną podziękować dr Ryszardowi Morawie z Katedry Górnictwa Odkrywkowego, Akademii Górniczo – Hutniczej w Krakowie, za pomoc w przeprowadzeniu eksperymentów związanych z detonacją ładunków wybuchowych.

Zaprezentowane badania były finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu N204-O/0020/32 i przez Instytut Ekspertyz Sądowych w ramach projektu V/K/2007-10.

#### Literatura

- [1] Borusiewicz R., *A Review of Methods of Preparing Samples For Chromatographic Analysis for the Presence of Organic Explosive Substances*. Problems of Forensic Sciences, 2007, 69, 5-29.
- [2] Kolla P., Sprunkel A., *Identification of dynamite Explosives in Post Explosion Residues*. Journal of Forensic Sciences, 1995, 40, 406-411.
- [3] Thompson R.Q., Fetterolf D.D., Miller M.L., Mothershead II R.F., *Aqueous recovery from cotton swabs of organic explosives residue followed by solid phase extraction*. Journal of Forensic Sciences, 1999, 44(4), 795-804.
- [4] Jenkins T.F., Walsh M.E., Miyares P.H., Hewitt A.D., Collins N.H., Ranney T.A., *Use of snow-covered ranges to estimate explosives residues from high-order detonations of army munitions*. Thermochemica Acta, 2002, 384, 173-185.
- [5] Taylor S., Hewitt A., Lever J., Hayes C., Perovich L., Thorne P., Daghljan C., *TNT particle size distributions from detonated 155-mm howitzer rounds*. Chemosphere, 2004, 55, 357-367.
- [6] Hewitt A.D., Jenkins T.F., Walsh M.E., Walsh R., Taylor S., *RDX and TNT residues from live-fire and blow-in-place detonations*. Chemosphere, 2005, 61, 888-894.
- [7] Pennington J.C., Brochu S., Walsh M.R., Hewitt A.D., *Residues resulting from blow-in-place of specific*

- munitions*. Chapter 5. In *Distribution and fate of energetics on DoD test and training ranges: Final Report*. ERDC TR-06-13. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. Vicksburg, 2006, pp 103-119. <<http://el.erd.c.usace.army.mil/elpubs/pdf/tr06-13.pdf>> (accessed 23.25.2013).
- [8] Taylor S., Campbell E., Perovich L., Lever J., Pennington J., *Characteristics of Composition B particles from blow-in-place detonations*. *Chemosphere*, 2006, 65, 1405-1413.
- [9] Hutchinson J.P., Evenhuis C.J., Johns C., Kazarian A.A., Breadmore M.C., Macka M., Hilder E.F., Guijt R.M., Dicoski G.W., Haddad P.R., *Identification of inorganic improvised explosive devices by analysis of post-blast residues using portable capillary electrophoresis instrumentation and indirect photometric detection with a light-emitting diode*. *Analytical Chemistry*, 2007, 79, 7005-7013.
- [10] Hutchinson J.P., Johns C., Breadmore M.C., Hilder E.F., Guijt R.M., Lennard C., Dicoski G., Haddad P.R., *Identification of inorganic ions in post-blast explosive residues using portable CE instrumentation and capacitively coupled contactless conductivity detection*. *Electrophoresis*, 2008, 29, 4593-4602.
- [11] Johns C., Shellie R.A., Potter O.G., O'Reilly J.W., Hutchinson J.P., Guijt R.M., Breadmore M.C., Hilder E.F., *Identification of homemade inorganic explosives by ion chromatographic analysis of post-blast residues*. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1182, 205-214.
- [12] Hilmi A., Luong J.H.T., Nguyen S., *Determination of explosives in soil and ground water by liquid chromatography - amperometric detection*. *Journal of Chromatography A*, 1998, 844, 97-110.
- [13] Bowerbank C.R., Smith P.A., Fetterolf D.D., Lee M.L., *Solvating gas chromatography with chemiluminescence detection of nitroglycerine and other explosives*. *Journal of Chromatography A*, 2000, 902, 413-419.
- [14] Wiliford C.W., Bricka R.M., *Extraction of TNT from aggregate soil fractions*. *Journal of Hazardous Materials*, 1999, 66, 1-13.
- [15] Calderara S., Gardbas D., Martinez F., *Solid phase micro extraction coupled with on-column GC/ECD for the post-blast analysis of organic explosives*. *Forensic Science International*, 2003, 137, 6-12.
- [16] Groom C.A., Beaudet S., Halasz A., Paquet L., Hawari J., *Detection of the cyclic nitramine explosives hexahydro-1,3,5-trinitro-1,3,5-triazine (RDX) and octahydro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazine (HMX) and their degradation products in soil environments*. *Journal of Chromatography A*, 2001, 909, 53-60.
- [17] Boopathy R., Manning J., Kulpa C.F., *Biotransformation of explosives by anaerobic consortia in liquid culture and in soil slurry*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1998, 41, 67-74.
- [18] Halasz A., Groom C., Zhou E., Paquet L., Beaulieu C., Deshamps S., Corriveau A., Thiboutot S., Ampleman G., Dubois C., Hawari J., *Detection of explosives and their degradation products in soil environments*. *Journal of Chromatography A*, 2002, 963, 411-418.
- [19] Taylor J.R., *An Introduction to Error Analysis. The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. second ed., University Science Books, Sausalito, California, 1997.
- [20] Sokal R.R., Rohlf F.J., *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. third ed., W. H. Freeman and Company, New York, 2000.