

## **ANALIZA METOD BADANIA I OCENY FIZYKOCHEMICZNEJ KOMPATYBILNOŚCI INICJUJĄCYCH MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH**

*Wykonano analizę w zakresie metod badania i oceny fizykochemicznej kompatybilności (zgodności materiałowej wyrażanej przede wszystkim poprzez reaktywność chemiczną) grupy wybuchowych substancji inicjujących stosowanych w inicjatorach działania środków bojowych obejmujących amunicję strzelecką, artyleryjską i raketową będącą na wyposażeniu Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej. Inicjatorami tymi są splotki zapalające i pobudzające oraz zapłonniki i zapalniki zaelaborowane zazwyczaj, takimi inicjującymi materiałami wybuchowymi, jak piorunian rtęci, azydek ołowiu, trójnitrorezorcynian ołowiu i tetrazen. Analizy tej dokonano na podstawie dostępnych źródeł naukowo-technicznych, ze szczególnym uwzględnieniem wojskowej dokumentacji normalizacyjnej NATO i USA.*

### **1. Wstęp**

W drugiej połowie XX. w. bardzo popularnymi, już klasycznymi, metodami stosowanymi do badania fizykochemicznej kompatybilności inicjujących materiałów wybuchowych, były: metody manometryczne, w tym metoda próżniowa (VST), za pomocą której mierzono ilość (objętość) gazowych produktów rozkładu inicjujących materiałów wybuchowych, wydzielonych w wyniku termicznego rozkładu tych materiałów, w temperaturze 100 °C lub 120 °C w ciągu 40 h lub 48 h ogrzewania, metoda pomiaru ubytku masy inicjujących materiałów wybuchowych w temperaturze 75 °C lub 100 °C po 48 h lub 96 h ogrzewania (termostatowania), różnicowa analiza termiczna (DTA), często z jednoczesnym pomiarem termogravimetrycznym (TGA), zazwyczaj mierząca temperaturę początku rozkładu badanego materiału oraz bezkontaktowe metody oceny korozji metali spowodowanej przez gazowe, lotne produkty reakcji inicjującego materiału wybuchowego znajdującego się w sąsiedztwie metalu, zazwyczaj miedzi.

Aktualnie metody manometryczne, w tym metoda VST i pomiaru ubytku masy nie zawsze są zalecane do stosowania w zakresie badania fizykochemicznej kompatybilności dowolnych inicjujących materiałów wybuchowych w świetle normalizacyjnej dokumentacji NATO [1-3], ze względu na nie zawsze pełną adekwatność mierzonych parametrów, jakimi są: objętości gazowych produktów reakcji rozkładu i proporcjonalny w pewnym stopniu do tej objętości ubytek masy materiału, w odniesieniu do pomiaru i oceny kompatybilności materiałowej. Ograniczone zastosowanie powyższych parametrów wynika z tego, iż często ilość gazowych produktów powstających podczas ogrzewania inicjujących materiałów wybuchowych, a zatem ubytek ich masy nie zawsze odpowiada rzeczywistemu rozkładowi tych materiałów. Ponadto, ilość wydzielonych substancji gazowych i odpowiadające im ubytki masy bywają

tak znikome w przyjętych warunkach przyspieszonego starzenia dla pewnych inicjujących t. zw. „małogazowych” albo „bezgazowych” materiałów wybuchowych, że pomiary tych parametrów wykonywane są ze stosunkowo dużym błędem. Zamiast ww. metod, normalizacyjna literatura NATO [1-3] zaleca w zakresie badania zgodności materiałowej stosowanie metody DSC, przy czym w przypadku azydku ołowiu i srebra – dodatkowo jest zalecana analiza chemiczna z wykorzystaniem metody miareczkowej przed oraz po ich przyspieszonym starzeniu w temperaturze 60 °C przez 672 h (28 dni) w atmosferze o stałej wilgotności względnej wynoszącej 95 % [3].

Na podstawie przeprowadzonej analizy metod badania i oceny kompatybilności materiałowej, wypracowano oraz wyciągnięto wnioski w zakresie przydatności określonych metod analizy termicznej i chemicznej inicjujących materiałów wybuchowych ze szczególnym uwzględnieniem możliwości implementacji badawczych metod NATO w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej.

## **2. Metody manometryczne, w tym gazomiernicze oraz metody pomiaru ubytku masy w zakresie badania fizykochemicznej zgodności inicjujących materiałów wybuchowych**

Według standaryzacyjnych dokumentów marynarki wojennej USA [4], dopuszczalna granica objętości wydzielonych w temperaturze 100 °C po 48 h ogrzewania, gazowych produktów rozkładu inicjującego materiału wybuchowego lub jego mieszaniny z materiałem kontaktowym albo sąsiednim, zmieszanych w stosunku masowym (1/1), wynosi 2,0 ml w przeliczeniu na 1 g badanej próbki materiałowej. Ponadto, zastrzega się, że podczas termicznego rozkładu w ww. warunkach termostatowania nie powinny powstawać wrażliwe substancje wybuchowe.

Według chińskiego źródła literaturowego [5] powołującego się na dane amerykańskie, dopuszczalna górna granica objętości gazowych produktów rozkładu, na podstawie której inicjujący materiał wybuchowy jest zakwalifikowany jako stały fizykochemicznie, w wyniku jego starzenia w ww. warunkach VST, wynosi 1,0 ml w przeliczeniu na 1 g jego masy.

Według danych marynarki wojennej USA [4] dopuszczalna granica rozkładu inicjującego materiału wybuchowego lub jego mieszaniny z materiałem kontaktowym (1/1) powinna wynosić 0,1 % początkowej masy badanej próbki w wyniku ogrzewania w temperaturze 100 °C przez 48 h. Wydaje się, iż wielkość ta jest zbyt niska, biorąc pod uwagę, że dopuszczalny ubytek masy dla kruszących materiałów wybuchowych, bardzo wytrzymałych termicznie, w warunkach termostatowania w 75 °C przez 48 h według polskiej normy PN-V-04011-21 [6] wynosi 0,3 %. Potwierdzeniem niniejszego przypuszczenia może być propozycja dopuszczalnej granicy rozkładu przyjęta dla rosyjskich przemysłowych materiałów wybuchowych, do których zaliczono piorunian rtęci, azydek ołowiu i trójnitrozorcynian ołowiu, wynosząca 1 % masy początkowej materiału wybuchowego, mierzona za pomocą technik manometrycznych, podana w pozycji literaturowej [7] dotyczącej przemysłowych materiałów wybuchowych. Inne, współczesne rosyjskie źródło informacji [8] na temat badania termicznej stałości przemysłowych materiałów wybuchowych zaleca stosowanie manometrycznych metod oceny tej stałości, mierzących nie tylko ilość gazowych produktów rozkładu materiałów wybuchowych, lecz przede wszystkim szybkość (dynamikę) wzrostu ilości tych produktów w funkcji czasu ogrzewania. Powyżej prezentowana filozofia pomiaru i oceny stałości materiałów wybuchowych w Rosji jest kontynuacją wcześniej rozwijanych w byłym Związku Radzieckim metod manometrycznych polegających na pomiarze ciśnienia za pomocą czujników membranowych i/lub objętości gazowych produktów pochodzących z rozkładu materiału wybuchowego o ustalonej masie (do 1 g), ogrzewanego w ustalonej

temperaturze z zakresu 70-200 °C w atmosferze powietrza, w funkcji czasu ogrzewania wynoszącego maksymalnie 14 h. Według tych metod stałość materiału wybuchowego jest określana na podstawie przebiegu (zmian, w tym wartości maksymalnej) ciśnienia i/lub objętości gazowych produktów rozkładu, otrzymanego podczas ogrzewania materiału wybuchowego lub na podstawie czasu, po jakim gazowe produkty rozkładu osiągnęły określoną wartość ciśnienia i/lub objętości.

Poniżej zostanie dokonana analiza zastosowania metod manometrycznych, w tym głównie metod VST w zakresie badania zgodności inicjujących materiałów wybuchowych ze szczególnym uwzględnieniem kryteriów oceny tej zgodności. Według jednej z opcji grupy byłych norm RWPG [9] badanie zgodności materiałów wybuchowych (obejmujących inicjujące materiały wybuchowe) polegało na porównaniu objętości (ciśnienia) gazowych produktów rozkładu wydzielonych z mieszaniny materiału wybuchowego i materiału kontaktowego, zmieszanych w stosunku masowym (0,5g/0.5g), ogrzewanej przez co najmniej 14 h w atmosferze powietrza, w ustalonej temperaturze wynoszącej co najmniej 90 °C oraz porównaniu objętości (ciśnienia) gazowych produktów rozkładu wydzielonych z oddzielnie (indywidualnie) ogrzewanych w identycznych warunkach próbek materiału wybuchowego oraz materiału kontaktowego o masie 0.5 g każda. Badane materiały wybuchowe i kontaktowe były uważane za zgodne chemicznie, gdy objętość (ciśnienie) gazowych produktów rozkładu wydzielonych z mieszaniny materiału wybuchowego i kontaktowego, była nie większa niż o 20% od objętości (ciśnienia) gazowych produktów rozkładu wydzielonych z tychże indywidualnie ogrzewanych materiałów.

Na podstawie chińskich danych literaturowych [5] powołujących się przede wszystkim na dane amerykańskie, zgodność materiałową inicjujących materiałów wybuchowych z materiałami kontaktowymi można ocenić za pomocą metod VST, ogrzewając próbki inicjujących materiałów wybuchowych w obecności materiału kontaktowego/sąsiadującego i bez udziału materiału kontaktowego/sąsiadującego, w temperaturze 100 °C lub 120 °C przez 40 h lub 48 h, wykorzystując tzw. „współczynnik reaktywności” (R) określany za pomocą wzoru:

$$R = C - (A + B)$$

gdzie:

- A - objętość gazowych produktów rozkładu wydzielona z 2,5 g inicjującego materiału wybuchowego, ml;
- B - objętość gazowych produktów rozkładu wydzielona z 2,5 g materiału kontaktowego albo sąsiadującego z inicjującym materiałem wybuchowym , ml;
- C- objętość gazowych produktów rozkładu wydzielona z mieszaniny 2,5 g inicjującego materiału wybuchowego oraz 2,5 g materiału kontaktowego albo sąsiadującego z inicjującym materiałem wybuchowym, ml.

Kryteria oceny zgodności materiałowej wynikają z zakresów wartości współczynnika reaktywności (R), podanych w Tabeli 1.

Tabela 1. Ocena zgodności inicjujących materiałów wybuchowych z materiałem kontaktowym albo sąsiadującym z inicjującym materiałem wybuchowym, badana za pomocą metody VST, w zależności od wartości współczynnika reaktywności (R).

Zakres zmian współczynnika reaktywności (R) [ml]	Ocena zgodności inicjującego materiału wybuchowego z materiałem kontaktowym albo sąsiadującym z inicjującym materiałem wybuchowym
<0 – 0,3>	Całkowita zgodność materiałowa
(0,3 – 0,5>	Niepewna zgodność materiałowa
> 0,5	Niezgodność materiałowa

Według normy GJB772.A-97 podanej w chińskiej pozycji literaturowej [5], do badania zgodności materiałowej należy zastosować masę próbki inicjującego materiału wybuchowego wynoszącą 0,01 g, zaś masa materiału kontaktowego powinna być 100 razy większa, co lepiej odpowiada rzeczywistym proporcjom masowym występującym w elementach amunicji, takich jak spłonki, zapłoniki i zapalniki. Ponadto, zachowanie takiej proporcji materiałowej między inicjującym materiałem wybuchowym a materiałem kontaktowym (zazwyczaj konstrukcyjnym) podnosi poziom bezpieczeństwa podczas badań ze względu na użycie bardzo małej ilości inicjującego materiału wybuchowego.

Na podstawie normy GJB737.13-94 podanej za chińską pozycją literaturową [5], dotyczącej wykorzystania metody VST w wersji czujników tensometrycznych, czyli PVST (Pressure Vacuum Stability Test), masy inicjujących materiałów wybuchowych i materiałów kontaktowych powinny być jednakowe i mieścić się w zakresie 0,2-0,5 g, czyli dobór wielkości mas badanych substancji za pomocą VST jest zgodny z wymaganiami podanymi w STANAG-u 4556 [10] oraz zbiorze norm wojskowych marynarki wojennej USA [4], zaś ocena zgodności materiałowej powinna być wykonana na podstawie wartości współczynnika reaktywności (R), według Tabeli 2.

Tabela 2. Ocena zgodności inicjujących materiałów wybuchowych z materiałem kontaktowym albo sąsiadującym z inicjującym materiałem wybuchowym, badana za pomocą metody VST, w zależności od wartości współczynnika reaktywności (R).

Zakres zmian współczynnika reaktywności (R) [ml]	Ocena zgodności inicjującego materiału wybuchowego z materiałem kontaktowym albo sąsiadującym z inicjującym materiałem wybuchowym
<0 – 0,6>	Całkowita zgodność materiałowa
(0,6 – 1,0>	Niepewna zgodność materiałowa
> 1,0	Niezgodność materiałowa

Z porównania kryteriów oceny fizykochemicznej zgodności inicjujących materiałów wybuchowych z materiałami kontaktowymi albo sąsiadującymi, podanych w Tabeli 1 i 2 wynika, że kryteria zgodności podane w Tabeli 2 są w przybliżeniu dwukrotnie łagodniejsze niż kryteria przedstawione w Tabeli 1.

Z kolei zbiór norm chińskich, dotyczący badania inicjujących materiałów wybuchowych za pomocą techniki VST i chromatografii gazowej, p.t. „Chemistry and Technics of The Primary Explosives” (autor: Lao Yunliang), wydany przez Beijing Institute of Technology Press, str. 37-41, 1997 (cytowany w pozycji literaturowej [5]), podaje inny niż ww. wzór na współczynnik reaktywności a także inne kryteria oceny zgodności między inicjującymi materiałami wybuchowymi a materiałami kontaktowymi albo sąsiadującymi, podanymi poniżej w Tabeli 3. Inny wzór na współczynnik reaktywności (R1) ma postać:

$$R1 = C/(A + B)$$

gdzie:

- A - objętość gazowych produktów rozkładu wydzielona z 2,5 g inicjującego materiału wybuchowego, ml;
- B - objętość gazowych produktów rozkładu wydzielona z 2,5 g materiału kontaktowego albo sąsiadującego z inicjującym materiałem wybuchowym, ml;
- C- objętość gazowych produktów rozkładu wydzielona z mieszaniny 2,5 g inicjującego materiału wybuchowego oraz 2,5 g materiału kontaktowego albo sąsiadującego z inicjującym materiałem wybuchowym, ml.

Tabela 3. Ocena zgodności inicjujących materiałów wybuchowych z materiałem kontaktowym albo sąsiadującym, mierzona za pomocą metody VST, w zależności od wartości współczynnika reaktywności (R1).

Zakres zmian współczynnika reaktywności (R1) [ml]	Ocena zgodności inicjującego materiału wybuchowego z materiałem kontaktowym albo sąsiadującym z inicjującym materiałem wybuchowym
< 1,5	Całkowita zgodność materiałowa
1,5 – 3,0	Niepewna zgodność materiałowa
> 3,0	Niezgodność materiałowa

### 3. Metody analizy termicznej DTA, TGA i DSC w aspekcie badania fizykochemicznej zgodności inicjujących materiałów wybuchowych

Metody analizy termicznej DTA, TGA i DSC są przydatne do badania oraz oceny kompatybilności inicjujących materiałów wybuchowych, ze względu na czułość pomiaru podstawowych parametrów przemian cieplnych (włącznie ze zmianami masowymi) badanych substancji. W ramach tych przemian szczególnie należy wziąć pod uwagę przemiany fazowe, takie jak topnienie, parowanie, sublimacja, w tym przemiany powodujące zmiany struktury krystalicznej, zwłaszcza w zakresie temperatur eksploatacji badanych materiałów oraz ich rozkład termiczny, włącznie z temperaturą wyfuknięcia (zapłonu) i/lub wybuchu. Na przykład w byłej polskiej normie branżowej BN-76/6091-41 [11] dotyczącej badania stałości termicznej materiałów wybuchowych (a zatem również inicjujących materiałów wybuchowych) za pomocą metody DTA, podano, iż parametrem charakteryzującym niniejszą stałość jest temperatura początku termicznego rozkładu materiału wybuchowego, określana na podstawie punktu krzywej DTA, od którego rozpoczyna się szybkość wzrostu temperatury badanej próbki wynosząca co najmniej 3 °C/min względem linii bazowej termogramu DTA. Bardzo bogatym i wartościowym źródłem informacji w ww. zakresie jest normalizacyjna dokumentacja NATO [3, 12]. Przydatność metod DTA, TGA i DSC w odniesieniu do badania stałości i zgodności materiałowej przemysłowych materiałów wybuchowych potwierdzają najnowsze rosyjskie źródła literaturowe [8].

W ramach standaryzacyjnych badań i oceny stałości inicjujących materiałów wybuchowych, metody DTA, TGA i DSC powinny umożliwić charakterystykę termiczną tych materiałów [1, 2, 12] uwzględniając ww. zjawiska fizykochemiczne towarzyszące przemianom cieplnym i/lub masowym zachodzącym w badanych substancjach lub ich otoczeniu. Jeśli chodzi o ustalenie oraz istnienie kryteriów oceny fizykochemicznej inicjujących materiałów wybuchowych w ramach dokumentacji normalizacyjnej NATO, znacznie korzystniejsza

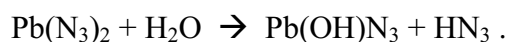
sytuacja występuje w przypadku oceny kompatybilności niż stałości tej grupy materiałów wybuchowych. STANAG 4147 [3] zaleca dla inicjujących materiałów wybuchowych stosowanie metody DSC wraz z kryteriami oceny zgodności, polegającej na określeniu przesunięcia temperatury rozkładu pików DSC mieszaniny - materiał wybuchowy / materiał kontaktowy (sąsiadujący) w stronę temperatur niższych albo wyższych względem temperatur rozkładu pików DSC oddzielnie badanych substancji tworzących niniejszą mieszaninę. Gdy temperatura rozkładu ww. mieszaniny jest większa względem temperatury rozkładu jej każdego, pojedynczo ogrzewanego składnika albo jest niższa do 4 °C względem temperatury rozkładu każdego materiału składowego tworzącego mieszaninę, to oba materiały tworzące mieszaninę (układ materiałowy) są zgodne w sensie fizykochemicznym. Gdy temperatura rozkładu mieszaniny jest niższa od temperatury rozkładu jej każdego materiału składowego indywidualnie ogrzewanego, w zakresie od 4 °C do 20 °C, to zgodność materiałowa jest niepewna, gdy zaś temperatura rozkładu mieszaniny jest mniejsza o ponad 20 °C od temperatury rozkładu jej każdego, oddzielnie ogrzewanego materiału, to materiały te są niezgodne fizykochemicznie.

Analogiczny sposób pomiaru i oceny zgodności fizykochemicznej inicjujących materiałów wybuchowych z materiałem kontaktowym za pomocą DTA podany jest w chińskich materiałach konferencyjnych [5] powołujących się na pracę p.t. „Explosive heat analysis” (autor: Chu Shijing, Wyd. Beijing Science Press, 1994, 123-140; 257-262). Według niniejszej pracy przesunięcie pików DTA mieszaniny (układu materiałów) w stronę niższych temperatur względem pików DTA inicjującego materiału wybuchowego, odpowiednio do 2 °C, od 3 °C do 5 °C, od 6 °C do 15 °C lub powyżej 15 °C, oznacza, że badane materiały odpowiednio są zgodne, wykazują pewną reaktywność, są niezgodne albo są niebezpiecznie niezgodne. Z porównania kryteriów ocen kompatybilności materiałowej za pomocą technik DSC i DTA wynika, że bardziej ostre kryteria podane są w literaturowych źródłach chińskich niż w dokumentacji standaryzacyjnej NATO.

#### **4. Metody badania fizykochemicznej zgodności inicjujących materiałów wybuchowych w silnie wilgotnym środowisku powodującym korozję**

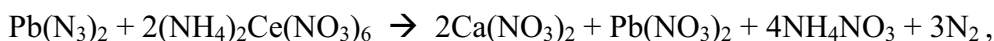
Niniejsze metody badania i oceny zgodności materiałowej ograniczają się w praktyce do badania reaktywności azydki ołowiu i srebra względem materiału sąsiadującego, w środowisku silnie wilgotnym [3, 13-16].

W ramach metody NATO [3] porównywany jest zakres ich rozkładu, opisany zmianą zawartości procentowej wyjściowego inicjującego materiału wybuchowego w obecności materiału sąsiadującego oraz przy braku obecności materiału sąsiadującego, za każdym razem w środowisku wilgotnym (o wilgotności względnej wynoszącej 95 %), zachodzący w wyniku przyspieszonego starzenia (termostatowania) w temperaturze 60 °C w ciągu 672 h (28 dni). Podczas niniejszego starzenia azydki ulegają hydrolizie, w wyniku czego powstaje kwas ortowodorowy a także zachodzi redukcja aktywnego azydki i ustala się stan równowagi fizykochemicznej. Powyższe zjawiska opisuje następująca reakcja chemiczna (na przykładzie azydki ołowiu):



Materiał niekompatybilny chemicznie z azydkiem, obecność wilgoci, dwutlenku węgla, kwaśnych produktów a także zachodzenie reakcji, w wyniku której usuwany jest kwas ortowodorowy, może spowodować zmianę (przesunięcie) stanu równowagi niniejszej reakcji, przyspieszając rozkład (powodując obniżenie zawartości) azydki. Pozostały po

przyspieszonym starzeniu azydek ołowiu reaguje z wzorcowym roztworem azotanu amonowego ceru (IV) w myśl reakcji:



pozostawiając niewielki nadmiar azotanu amonowego ceru (IV), który jest miareczkowany 0,05 molowym siarczanem amonowym żelaza (II) w przeciwnym kierunku reakcji. Końcowy punkt miareczkowania zostaje zarejestrowany. Procentowa zawartość pozostałego po starzeniu azydku jest obliczana za pomocą odpowiednich wzorów podanych w STANAG-u 4147 [3]. Aby uznać azydek ołowiu za zgodny chemicznie z materiałem sąsiadującym, zawartość procentowa azydku po starzeniu z materiałem sąsiadującym powinna być mniejsza nie więcej niż 3 % w porównaniu z zawartością pozostałego po starzeniu azydku w tych samych warunkach bez obecności materiału sąsiadującego. W badanym na kompatybilność układzie materiałowym masa azydku wynosi 0,05 g, zaś materiału sąsiadującego 10 g, czyli stosunek masy inicjującego materiału wybuchowego do materiału konstrukcyjnego wynosi 1/200.

Destrukcyjny wpływ wielu substancji lotnych, par i wilgoci, znajdujących się w środowisku otaczającym inicjujące materiały wybuchowe i metale spowodował powstanie i rozwój „niekontaktowych” metod badania zgodności inicjujących materiałów wybuchowych, zwłaszcza w aspekcie korozji metali [13-16]. Badania te polegają na przechowywaniu określonych, małych ilości inicjujących materiałów wybuchowych w wilgotnej atmosferze, w sąsiedztwie metalu. W Wielkiej Brytanii stosuje się badanie na korozję, polegające na umieszczeniu czystego paska miedzi, spełniającego rolę detektora (materiału wskaźnikowego), nad mieszaniną wilgotnego azydku ołowiu i materiału sąsiadującego. Obecność lotnych, gazowych związków chemicznych powoduje przyspieszony rozkład chemiczny azydku, przyspieszając tym samym i zwiększając stopień skorodowania paska miedzi. W chińskiej pozycji literaturowej – GJB772A-97.504.1 p.t. “Compatibility – corrupt metal”, podanej za źródłem literaturowym [5], opisana jest następująca ocena zakresu oraz intensywności procesu korozji. Gdy korozja nie występuje, powierzchnia metalu wskaźnikowego (odniesienia) jest jasna i czysta. Gdy pojawia się korozja, powierzchnia metalu odniesienia staje się ciemniejsza i zaczynają powstawać ogniska korozji w postaci plamek. Gdy korozja osiągnie stan zaawansowany, na dużej powierzchni metalu występuje rdza oraz wiele jej ognisk w postaci plam i wżerów.

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy metod badań i oceny fizykochemicznej stałości oraz zgodności przedstawionej grupy inicjujących materiałów wybuchowych, reprezentatywnej w odniesieniu do środków bojowych stosowanych w Siłach Zbrojnych RP, obejmującej piorunian rtęci, azydek ołowiu, trójnitrorezorcynian ołowiu i tetrazen, można wyciągnąć następujące wnioski.

1. Najmniej odpornymi na działanie wilgoci inicjującymi materiałami wybuchowymi, ulegającymi dosyć łatwo hydrolizie jest azydek ołowiu i tetrazen.
2. Najbardziej uniwersalną i przydatną techniką badania stałości oraz zgodności inicjujących materiałów wybuchowych jest DSC, zalecana do tego typu badań w ramach standardowych metod NATO.

3. Na etapie przygotowywania próbek materiałowych, do badań na stałość i kompatybilność należy zachować powtarzalność w zakresie utrzymywania określonego poziomu wilgotności środowiska (otoczenia) próbki jak i zawartości wilgoci w samej próbce materiałowej.
4. W zakresie badań zgodności fizykochemicznej należy dobierać stosunki mas, postać i konfiguracje (rozlokowanie, rozmieszczenie) badanych materiałów najbardziej odzwierciedlające relacje wielkości fizykochemicznych i geometrycznych, (zwłaszcza dotyczące odległości i powierzchni), występujące w rzeczywistych układach materiałowych elementów amunicji, dążąc przy tym ze względów bezpieczeństwa do stosowania jak najmniejszych ilości materiałów wybuchowych.
5. W badaniach zgodności materiałowej ciał stałych należy brać pod uwagę ich „niekontaktowe” konfiguracje materiałowe przewidujące oddziaływania fizykochemiczne lotnych, gazowych substancji tworzących środowisko fizykochemiczne, występujące między badanymi materiałami.

## Literatura

- [1] Standardization Agreement (STANAG) 4170, Principles and methodology for the qualification of explosive materials for military use, Edition 2, 2001;
- [2] Allied Ordnance Publication (AOP) 7, Manual of data requirements and tests for the qualification of explosive materials for military use, Edition 2, 2002;
- [3] Standardization Agreement (STANAG) 4147, Chemical compatibility of ammunition components with explosives (non nuclear application), Edition 2, 2001;
- [4] USA NAVORD (Navy Ordnance) OD 44811 Volume 1, Safety and performance tests for qualification of explosives, Commander, Naval Ordnance Systems Command, 1 January 1972;
- [5] Proceedings of The 2005 International Autumn Seminar on Propellants and Pyrotechnics, Theory and Practice of Energetic Materials, vol. 6, Science Press China, Science Press USA, 2005, pp. 327-332;
- [6] Polska Norma PN-V-04011-21; Kruszące materiały wybuchowe o przeznaczeniu wojskowym. Metody badań. Oznaczanie stabilności.;Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 1998;
- [7] L.W. Dubnov, N.S. Bakharevich, A.I. Romanov, Promyslennoe vzryvczatyje veschestva, Idatelstvo NEDRA, Moskva 1973, Rosja, p. 98;
- [8] Dane otrzymane z strony internetowej o adresie: [www.nikristall.ru](http://www.nikristall.ru) Federalnovo Gosudarstvennogo Unitarnogo Predprijatija “Gosudarstvennogo Nauczno-Issledovatel'skogo Instituta KRISTALL”, Dzierżyńsk, Rosja 2006;
- [9] Gosudarstvennyj Standard (GOST) SSSR No. B 84-744-73;
- [10] Standardization Agreement (STANAG) 4556, Explosives. Vacuum Stability Test, Edition 1, 1999;
- [11] Norma Branżowa BN-76/6091-41; Materiały wybuchowe. Oznaczanie stałości za pomocą różnicowej analizy termicznej.; Warszawa, 1976;
- [12] Standardization Agreement (STANAG) 4515, Explosives. Thermal characterization by Differential Thermal Analysis, Differential Scanning Calorimetry and Thermogravimetric Analysis, Edition 1, 2002;
- [13] Proceedings of the 2nd International Symposium on Chemical Problems connected with the Stability of Explosives, Editor: J. Hansson, Sundbyberg, Sweden, 1971, 334-338;



- [14] Proceedings of the 3rd International Symposium on Chemical Problems connected with the Stability of Explosives, Editor: J. Hansson, Sundbyberg, Sweden, 1973, 1-5;
- [15] Proceedings of the 4th International Symposium on Chemical Problems connected with the Stability of Explosives, Editor: J. Hansson, Sundbyberg, Sweden, 1975, 371;
- [16] T. Urbański, Chemia i technologia materiałów wybuchowych, vol. 3, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej, Warszawa, 1955, 122-124.

*Niniejszy artykuł powstał podczas realizacji pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2006-2008 w ramach Projektu Badawczego Nr 0 T00C 030 30 p.t. „Badanie i modelowanie fizykochemicznych procesów starzeniowych zachodzących w precyzyjnych urządzeniach do inicjowania działania środków bojowych” przyznanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*