

Andrzej Maranda\*

## METODY BADAŃ WRAŻLIWOŚCI MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH NA BODŹCE ZEWNĘTRZNE W ASPEKCIE PRZEPISÓW ADR ORAZ NORM POLSKICH I EUROPEJSKICH

---

### 1. Wstęp

Materiały wybuchowe uważane są za substancje metastabilne. Można w nich zainicjować egzotermiczną przemianę poprzez oddziaływanie szeregu inicjujących bodźców zewnętrznych. Minimalna ilość energii dostarczona do próbki (ładunku) materiału wybuchowego, która wywołuje wybuchową przemianę, nazywa się *impulsem inicjującym* lub *bodźcem inicjującym*. Impulsy inicjujące mogą być bardzo zróżnicowane, na przykład detonację jodku azotu ( $\text{NI}_3$ ) można wywołać wskutek potarcia ptasim piórkiem, a do zainicjowania detonacji w azotanie(V) amonu konieczne są pobudzacze o masie kilkuset gramów, wykonane z wysokoenergetycznego materiału wybuchowego.

Energia może być dostarczona do materiału wybuchowego w postaci bardzo różnych bodźców [1, 2]:

- mechanicznych (tarcie, uderzenie, nakłucie, przestrzelenie pociskiem, przeciążenie przy wystrzale);
- cieplnych (płomień, ogrzewanie);
- wybuchowych (bezpośrednia detonacja ładunku innego MW, fala uderzeniowa);
- typu elektromagnetycznego (strumień elektronów, promień laserowy, promieniowanie rentgenowskie);
- elektrycznych (iskra elektryczna).

Materiały wybuchowe mają zróżnicowaną wrażliwość na poszczególne bodźce. O zainicjowaniu w nich procesu detonacji decyduje nie tylko ilość dostarczonej energii, ale również rodzaj bodźca, wskutek oddziaływania którego została wygenerowana. Doskonałym przykładem obrazującym to zjawisko jest azydek ołowiu. Wybucho pod wpływem niewiel-

---

\* Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

kich bodźców mechanicznych: tarcia —  $0,1 \pm 1$  N, i uderzenia —  $2,5 \pm 4$  Nm, a jest mało wrażliwy na płomień i ogrzewanie (temperatura zapłonu  $320 \pm 360^\circ\text{C}$ ) [3].

Wynika z tego, że zakwalifikowanie danego górniczego materiału wybuchowego do grupy substancji mało lub wysoko wrażliwych wymaga przeprowadzenia szeregu badań, które zostaną scharakteryzowane poniżej.

W gospodarce światowej, a szczególnie europejskiej, dąży się do unifikacji wszelkiego typu przepisów. Dyrektywy Unii Europejskiej wprowadzają przepisy, które obejmują wszystkich jej członków. Również w dziedzinie górniczych materiałów wybuchowych konieczna jest dalsza harmonizacja stosowanych metod badawczych. Ujednolicenie metod eksperymentalnych pozwoliłoby między innymi na bezpośrednie porównywanie wyników badań uzyskiwanych w różnych ośrodkach naukowych.

W pracy przedstawiono przegląd niektórych metod badawczych dotyczących wrażliwości materiałów wybuchowych na bodźce zewnętrzne. Wybrano ten zakres badań, ponieważ wyniki niektórych testów mogą mieć również bardzo istotne znaczenie ze względu na zagrożenie terrorystyczne. W tym celu wykorzystano między innymi propozycje metod badawczych opisanych w kolejnych edycjach *Recommendation on the Transport of Dangerous Goods. Manual of Tests and Criteria* oraz normy polskie i europejskie.

## 2. Badanie wrażliwości MW na bodźce mechaniczne

Podczas produkcji i użytkowania MW może on podlegać różnorodnym oddziaływaniom mechanicznym. Bardzo często nie jest to bodziec prosty, towarzyszą mu inne bodźce. Na przykład uważa się, że podczas uderzenia i nakłucia zawsze występuje zjawisko tarcia. Wrażliwość MW na uderzenie według teorii Bowden'a i Yoffe'a [4] związane jest z formowaniem się *gorących punktów*. Są to mikroobszary, których temperatura jest znacznie wyższa niż średnia temperatura próbki. Powstają one w wyniku następujących procesów lub ich kombinacji, w których jeden z nich może dominować [5]:

- nagrzewanie ośrodka przy redukcji porów powodowane lepkością lub lepkością odkształcanego materiału w pobliżu porów lub tworzenie się mikrostrumieni w procesie deformowania powierzchni porów i oddziaływania ich na MW;
- tarcie między kryształami i ziarnami materiału wybuchowego;
- lokalne nagrzewanie ośrodka poprzez uderzeniowe komprimowanie pęcherzyków gazowych;
- oddziaływanie fal uderzeniowych w okolicy wtrąceń o dużej impedancji falowej;
- wewnętrzne tarcie na powierzchniach poślizgu kryształu;
- powstawanie strumieni materii podczas zderzania się ziaren i kryształów MW.

**Wrażliwość MW na uderzenie** wyznacza się, stosując młoty wolnospadowe, zwane kafarami. Najbardziej popularny jest młot wolnospadowy wg BAM (BAM Fallhammer). Stosowane są również inne urządzenia, jak np. aparaty uderzeniowe: wg Bureau of Explosives, Bureau of Mines, Picantinny Arsenal, Rottera i zmodyfikowany typ 12 czy 30-kilogra-

mowy młot wolnospadowy [6]. Niewielka (czasami znormalizowana) próbka MW umieszczana jest pomiędzy dwoma stalowymi wałeczkami. Na górny wałeczek ze znanej wysokości spada młot o określonej masie. Wynik pomiaru „+” lub „-” określa się wizualnie (dym, ślad produktów rozkładu na wałeczkach) lub słuchowo (trzask). Zmieniając wysokość, z jakiej spada młot, wyznacza się górną (minimalna wysokość, przy której uzyskano 100% wybuchów) i dolną (maksymalna wysokość, przy której wystąpił tylko jeden wybuch) granicę wybuchowości, górną granicę niewrażliwości (maksymalna wysokość, przy której nie wystąpił żaden wybuch) oraz czasami wysokość, przy której stwierdzono 50% wybuchów. Problematyka wrażliwości na uderzenie została ujęta w polskiej [7] oraz europejskiej [8] normie, która obecnie jest wprowadzana jako polska norma zharmonizowana [9]. Wyznacza się w niej wrażliwość na uderzenie rozumianą jako najmniejszą energię uderzenia, przy której uzyskuje się jedną reakcję w co najmniej sześciu próbach.

**Wrażliwość na tarcie** bada się, umieszczając próbkę badanego MW pomiędzy elementami trącymi wykonanymi zazwyczaj z materiału ceramicznego. Zmieniając siłę docisku trących powierzchni poprzez zmianę masy zawieszonego ciężarka i długości ramienia, na której jest zawieszony, uzyskujemy różne siły tarcia. Wyniki pomiarów określa się analogicznie jak w przypadku pomiaru wrażliwości na uderzenie. Badania są prowadzone z wykorzystaniem aparatu tarcowego wg BAM (aparat Petersa) lub urządzenia obrotowego. Podczas prób wg BAM wyznacza się obciążenie graniczne. Jest ono definiowane jako najniższe obciążenie, przy którym uzyskiwany jest wynik „+” w przynajmniej jednej na co najmniej sześć prób. Zagadnienie badań wrażliwości MW na tarcie zostało podjęte w normie polskiej [10] oraz projekcie normy europejskiej [11], gdzie stosowany jest aparat Petersa.

W tabeli 1 przedstawiono wrażliwości na uderzenie i tarcie kruszących indywidualnych materiałów wybuchowych oraz wybranych górniczych MW.

TABELA 1

**Wrażliwość materiałów wybuchowych na uderzenie i tarcie**

| Materiał wybuchowy | Wrażliwość na    |            |
|--------------------|------------------|------------|
|                    | uderzenie, Nm    | tarcie, N  |
| Indywidualne MW    |                  |            |
| Nitrogliceryna     | 0,2 [3]          | > 353 [3]  |
| Nitroglukol        | 0,2 [3]          | > 353 [3]  |
| Pentryt (PETN)     | 3 [3]            | 60 [3]     |
| Tetryl             | 3 [3]            | 353 [3]    |
| Heksogen (RDX)     | 7,5 [3]          | 120 [3]    |
| Trotyl (TNT)       | 15 [3]           | > 353 [3]  |
| TATB*              | 50 [3]           | > 353 [3]  |
| NTO**              | 23,7 [2], 25 [9] | 360 [10]   |
| FOX-7***           | 24,9 [11]        | > 350 [11] |

TABELA 1 cd.

| Materiał wybuchowy | Wrażliwość na |            |
|--------------------|---------------|------------|
|                    | uderzenie, Nm | tarcie, N  |
| Górnice MW         |               |            |
| Amonit 63H         | 39,2 [15]     | > 353 [15] |
| Dynamit 19G5       | > 49 [15]     | 235 [15]   |
| Emulgit 42GP       | > 49 [15]     | > 353 [15] |
| Emulgit LWC        | > 49 [15]     | > 353 [15] |
| Karbonit 2H        | 19,6 [15]     | 246 [15]   |

\* 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzen,

\*\* 3-nitro-1,2,3-triazol-5-on,

\*\*\* 1,1-diamino-2,2-dinitroetylen.

**Wrażliwość na uderzenie (przestrzelenie) pociskiem** jest bardzo istotnym parametrem materiałów wybuchowych stosowanych szczególnie w wyrobach wojskowych. Wynika to z faktu, że na polu walki pociski i odłamki lecące z bardzo dużą prędkością mogą spowodować zainicjowanie procesu detonacji w ładunku materiału wybuchowego. Jednak obecnie, ze względu na coraz większe zagrożenie atakami terrorystycznymi, w tym aspekcie bada się również górnice materiały wybuchowe.

Zachowanie MW zależy od masy, kształtu i prędkości uderzającego elementu oraz kąta uderzenia. Stosowane są różne warunki pomiaru tego parametru. W pracy [16] w ładunek MW umieszczony w pojemniku z miękkiej stali uderzał pocisk o średnicy i długości 12,7 mm z prędkościami w zakresie 400÷2000 m/s. Po każdym eksperymencie określano stan MW i pojemnika według pięciostopniowej skali:

- 0 — brak reakcji w MW,
- 1 — w MW został zainicjowany krótkotrwały proces spalania,
- 2 — pojemnik nie uległ fragmentacji i spaliło się do 20% MW,
- 3 — pojemnik uległ fragmentacji na kilka części, a spaliło się powyżej 20% MW,
- 4 — pojemnik został rozerwany na dużą liczbę niewielkich fragmentów i nastąpiła detonacja MW.

Na podstawie uzyskanych wyników sporządza się graficzną zależność pomiędzy stopniem stanu MW i pojemnika a prędkością pocisku, która obrazuje wrażliwość MW na uderzenie (przestrzelenie) pociskiem.

Natomiast wg [6] próbki materiału wybuchowego należy umieścić w rurze stalowej o średnicy wewnętrznej  $45 \pm 4,5$  mm i grubości ścianek  $4 \pm 0,4$  mm oraz długości 200 mm, zamykanych obustronnie stalowymi nasadkami. Jako element obciążający stosowane są standardowe pociski 12,7 mm o masie 46 g, uderzające w ładunek MW z prędkością  $840 \pm 40$  m/s. Całkowita fragmentacja osłony ładunku MW określana jest jako wybuch lub detonacja („+”).

W pozostałych przypadkach rezultat eksperymentu uznaje się za negatywny. Wynik tego testu jest jednym z elementów możliwości zaklasyfikowania badanego materiału do grupy MW typu Extremely Insensitive Detonating Substance (EIDS). Wynik „-” uzyskano dla MW odlewanych HMX/inercyjne lepiszcze 86/16 i HMX/Al/energetyczne lepiszcze 51/19/14 oraz prasowanego TATB/Kel-F 95/5. Natomiast wynik „+” otrzymano dla MW odlewanych HMX/energetyczne lepiszcze 86/14 i RDX/TNT 60/40.

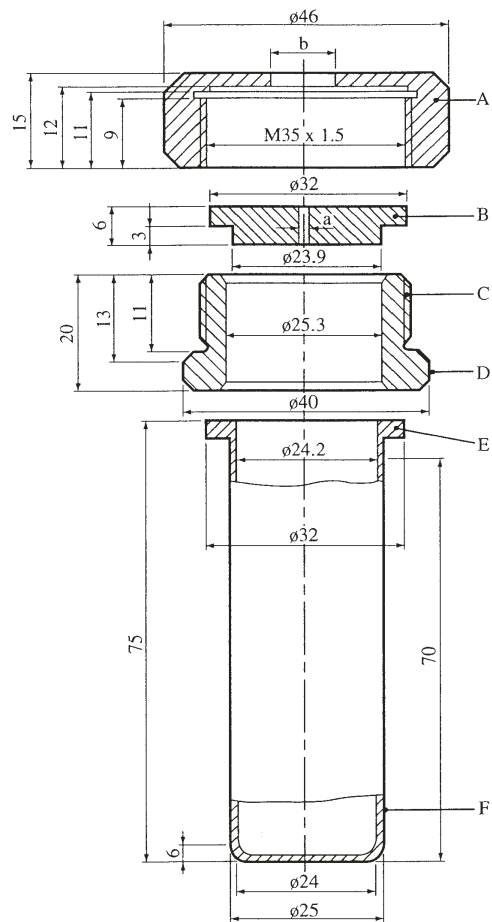
### 3. Badanie wrażliwości MW na bodźce cieplne

Wrażliwość materiału wybuchowego na bodźce cieplne charakteryzuje w bardzo dużym stopniu ich bezpieczeństwo podczas produkcji, magazynowania, transportu i stosowania. W materiałach wybuchowych jako substancjach termodynamicznie nietrwałych może rozwinąć się reakcja egzotermiczna. Jeżeli przebiega ona w zamkniętej objętości, ilość ciepła odprowadzanego do otoczenia może być mniejsza niż ciepło reakcji. Będzie to powodowało samoogrzewanie reagującego materiału i zwiększanie szybkości reakcji chemicznych. Zjawisko przejścia reakcji w niestacjonarne przyspieszanie spalania materiału wybuchowego otrzymało nazwę „wybuchu cieplnego”.

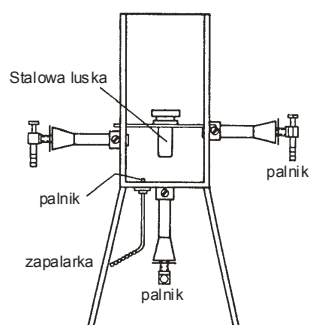
Badania wrażliwości na ogrzewanie mogą być bardzo zróżnicowane. Można je podzielić w aspekcie masy badanego ładunku MW, szybkości ogrzewania i sposobu dostarczania ciepła do próbki. Bardzo małe ilości (poniżej 1 g) materiałów wybuchowych używane są w nowoczesnych metodach analizy termicznej: różnicowej analizie termicznej, termogravimetrii i różnicowej kalorymetrii skaningowej, gdzie określa się między innymi temperaturę zapłonu MW. Większe ilości (od kilkunastu do dwudziestu kilku gramów) MW badane są w próbie Koenen’a, natomiast największe ilości MW stosuje się w testach np. typu *cook-off*, w których badania prowadzi się poprzez wolne (*slow cook-off test*) lub szybkie (*fast cook-off test*) podgrzewanie MW.

**Próba Koenena (Steel Sleeve Test).** Określa się w niej wrażliwość MW na intensywne podgrzewanie w częściowo zamkniętym pojemniku. Próbkę materiału wybuchowego umieszcza się w znormalizowanej łusce, na której kołnierz nakłada się gwintowaną tuleję z nasadzoną płytką z otworem i przymocowaną nakrętką. Znormalizowane wymiary poszczególnych elementów pojemnika na badany materiał wybuchowy przedstawiono na rysunku 1. Otwór w płytce wykonanej ze stali chromowej może mieć średnicę (a): 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 3,5; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18 i 20 mm. Natomiast średnica otworu w nakrętce jest uzależniona od średnicy otworu w płytce. Dla otworów w płytce o średnicy w zakresie 1÷8 mm wynosi 10 mm, a dla otworów w płytce o średnicy ponad 10 mm — 29 mm.

Pojemnik z MW jest ogrzewany w wyniku spalania propanu dostarczanego z butli i rozdzielanego na cztery palniki przy zużyciu gazu 3,2 dm<sup>3</sup>/min. Po zapaleniu palników mierzy się czas do wystąpienia pierwszej zauważalnej przemiany badanej substancji (np. zapłon lub bezpłomieniowy rozkład) oraz czas od momentu pierwszej zauważalnej przemiany do końca reakcji (np. wybuch lub koniec procesu palenia). Schemat układu do próby Koenena przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Wymiary poszczególnych elementów pojemnika na MW [6]



Rys. 2. Schemat układu do próby Koenena [5]

Po każdej próbie bada się pojemnik i jeżeli nastąpiła fragmentacja, zbiera się poszczególne jego części. Rozróżnia się następujące rodzaje deformacji pojemnika:

- O — pojemnik bez zmian;
- A — spód łuski rozdęty;
- B — spód i ściany łuski rozdęte;
- C — spód łuski rozerwany;
- D — ściana łuski rozerwana;
- E — pojemnik rozerwany na dwie części;
- F — pojemnik rozerwany na trzy lub więcej części, które mogą być wzajemnie dopasowane;
- G — łuska rozerwana na wiele, głównie małych części, a urządzenie zamykające nie zostało zniszczone;
- H — łuska rozerwana na wiele bardzo małych części, a urządzenie zamykające jest rozdęte lub również rozerwane na części.

Serię pomiarów rozpoczyna się od próby, w której stosuje się płytkę z otworem 20 mm. Jeżeli w tej próbie obserwuje się „wybuch” (deformacje F–H), oznaczanie wrażliwości kontynuuje się, stosując łuskę bez płytki i nakrętki, tylko z nagwintowanym pierścieniem — otwór 24 mm. Natomiast jeżeli w przypadku stosowania płytki z otworem 20 mm stwierdza się „brak wybuchu” (deformacje O–E), badania prowadzi się wg metody „górze – dół”, aż do stwierdzenia, przy jakiej największej średnicy (średnica graniczna) otworu w płytce w przynajmniej trzech próbach wystąpił jeden „wybuch”. Wyniki próby Koenena dla niektórych MW przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2  
Wyniki próby Koenena [3]

| Materiał<br>wybuchowy | Średnica graniczna,<br>mm | Czas do zapłonu,<br>s | Czas spalania,<br>s |
|-----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| Nitrogliceryna        | 24                        | 13                    | 0                   |
| Nitroglukol           | 24                        | 12                    | 10                  |
| Pentryt (PETN)        | 6                         | 7                     | 0                   |
| Tetryl                | 6                         | 12                    | 4                   |
| Heksogen (RDX)        | 8                         | 8                     | 5                   |
| Oktogen (HMX)         | 8                         | –                     | –                   |
| Trotyl (TNT)          | 5                         | 52                    | 29                  |
| Nitroguanidyna (NQ)   | 1 (brak reakcji)          | –                     | –                   |
| FOX-7                 | 6 [14]                    | –                     | –                   |

W Polsce metoda Koenena jest opisana w normie [17]. Ocenia się w niej zdolność górniczych MW do deflagracji, definiowanej jako „powolny rozkład materiałów wybuchowych przebiegający w zamkniętej przestrzeni z niewielką prędkością liniową i nie powodujący niszczenia otoczenia”. Uważa się, że badany MW jest zdolny do deflagracji, jeżeli średnica graniczna (przy której nastąpił jeden wybuch) przekracza podane niżej wartości:

- 3,5 mm w przypadku karbonitu i amonitu,
- 3,0 mm w przypadku metanitu,
- 2,5 mm w przypadku metanitu specjalnego.

**Wrażliwość MW na ogrzewanie (*Slow Cook-off Test, Sealed Vessel Test*) oraz wrażliwość MW na zewnętrzny płomień (*Bonfire Test, External Fire Test*).** W obydwu próbach ładunek MW umieszczany jest w stalowej rurze o średnicy  $45 \pm 4,5$  mm, grubości ścianki  $4 \pm 0,4$  mm i długości 200 mm [6]. Rura jest z obydwu końców zamykana stalowymi elementami, których wytrzymałość na rozzerwanie jest co najmniej taka sama jak podstawowej rury. W pierwszym przypadku (*slow cook-off test*), układ jest ogrzewany od temperatury  $40^{\circ}\text{C}$  do  $365^{\circ}\text{C}$ , ze stałą szybkością ogrzewania  $3,3^{\circ}\text{C/h}$ . Po zakończeniu próby układ jest badany i jeżeli wystąpił proces detonacji lub gwałtownej reakcji (rozszczelnienie jednego lub dwóch zamknięć i fragmentacja rury na więcej niż trzy kawałki), wówczas MW nie może być zaliczony do klasy EIDS.

Natomiast w drugim przypadku (*fast cook-off test*) układ badawczy jest szybko ogrzewany w otwartym naczyniu poprzez spalanie drewna opałowego lub ciekłego paliwa. Jeżeli następuje detonacja lub gwałtowna reakcja MW z rozrzutem fragmentów układu na odległość powyżej 15 m, to nie może być zaliczony do klasy EIDS.

W Polsce zostały opracowane dwie normy [18, 19], w których bada się wrażliwość górniczych MW na oddziaływanie podwyższonej temperatury. W polskiej normie [18] przedstawiony jest test polegający na obserwacji wzrokowej i słuchowej zachowania się próbki MW, umieszczonej w misie stalowej ogrzanej do czerwonego żaru płomieniem palnika gazowego. Celem próby jest stwierdzenie, w jakim czasie nastąpiło spalanie próbki i czy w czasie spalania pojawił się płomień, wydzielają się dymy, następuje zwęglanie badanego MW, nieznaczny efekt dźwiękowy lub detonacja. W normie określono, jakie MW porównawcze należy stosować dla poszczególnych podgrup MW.

Natomiast w polskiej normie [19] próbkę badanego MW zamkniętą w pudełku stalowym umieszcza się w ognisku z płonącego drewna. W trakcie spalania określa się, jak w poprzedniej normie czas procesu, jego charakter (wybuch, deflagracja, powolne spalanie) oraz między innymi deformację pudełka. Próba ta jest również prowadzona w celu stwierdzenia, czy w określonych warunkach może nastąpić wybuch testowanego MW, czy tylko względnie bezpieczny powolny proces.

Wrażliwość materiałów wybuchowych na bodźce cieplne jest bezpośrednio związana z ich stabilnością termiczną. Znane jest wiele metod określania stabilności termicznej MW, w przypadku prochów stosowane są na przykład następujące metody badawcze: Methyl Violet (czas zmiany zabarwienia papierka nasyczonego fioletem metylowym), Duth i Small Vessel (ubytek masy próbki), Surveillance (czas pojawienia się brunatnych tlenków azotu), Nato i Wodwich (ubytek stabilizatora), próba Bergmanna-Junka (ilość tlenków azotów generowanych podczas rozkładu próbki), próba Vieille’a (czas zmiany zabarwienia papierka



lakmusowego) i próba Abła (czas zmiany zabarwienia papierka jodoskrobiowego). Poszczególne metody różnią się zazwyczaj temperaturami i okresami, w jakich sezonowane są badane próbki. W polskiej normie [20] stabilność próbek MW określana jest metodą Abła, która polega na ogrzewaniu próbek MW w temperaturze podanej w normie przedmiotowej (najczęściej jest to 75°C). Określany jest czas, po upływie którego w badanej próbce pojawia się pierwsza różnica w zabarwieniu papierka w stosunku do „ślepej” próbki. Natomiast w normie europejskiej [21] oraz projekcie polskiej normy zharmonizowanej [22] próbki MW i wzorcowe są sezonowane w temperaturze  $75 \pm 2^\circ\text{C}$  i następuje pomiar ciśnienia w próbówce. Badanie jest prowadzone przez 48 godzin, jeżeli wcześniej nie wystąpią następujące zjawiska:

- efekt dźwiękowy lub płomień;
- uwolnienie się gazu i rozerwanie przepony bezpieczeństwa lub wzrost ciśnienia powyżej 60 kPa;
- samoogrzewanie badanej substancji.

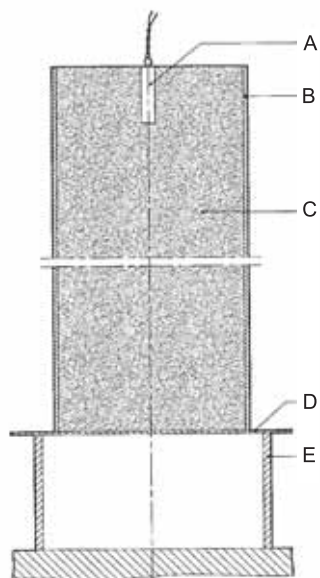
Główna różnica pomiędzy metodami badania stabilności termicznej a klasycznymi metodami określania wrażliwości na bodźce cieplne polega na tym, że w pierwszym przypadku proces dekompozycji próbki, w miarę możliwości nie jest prowadzony do końca. Wynika to z faktu, że podczas prób stosowane są względnie niskie temperatury. Aby umożliwić określanie zachowania się MW w wyższych temperaturach, przygotowywana jest aktualnie nowa norma europejska [23].

#### **4. Badanie wrażliwości MW na bodźce wybuchowe**

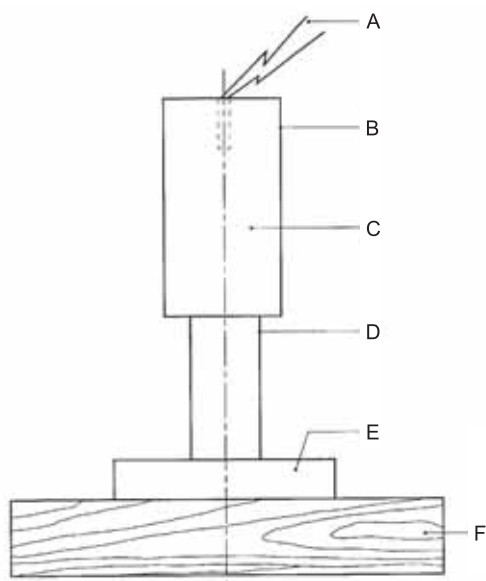
Detonacja ładunku MW może zainicjować wybuchowe reakcje w drugim ładunku. Czynniki, które to powodują, są gorące produkty i/lub fala uderzeniowa. W pierwszym przypadku w ładunku inicjowanego MW znajduje się zapalnik (spłonka), ewentualnie ładunek pośredni (pobudzacze), natomiast w drugim przypadku pomiędzy ładunkiem pobudzającym (donor) i pobudzonym (akceptor) znajduje się inercyjna przegroda, uniemożliwiająca oddziaływanie produktów wybuchu wygenerowanych w wyniku detonacji donora.

**Badania wrażliwości MW na zainicjowanie spłonką.** Badania możliwości zainicjowania ładunku pobudzanego poprzez równoległe oddziaływanie fali uderzeniowej i produktów wybuchu prowadzi się, stosując spłonki porównawcze, spłonki standardowe lub typoszeręgi pobudzaczy. Jedną z często stosowanych metod jest badanie wrażliwości MW na detonację standardowej spłonki [6]. Zestaw badawczy składa się z tekturowej rury o średnicy wewnętrznej 80 mm, grubości ścianki maksimum 1,5 mm i długości minimum 160 mm. W umieszczony w rurze materiał wybuchowy wkłada się współosiowo zapalnik. Pod rurą umieszcza się element odwzorowujący:

- stalową płytkę o grubości 1 mm umieszczoną na stalowym pierścieniu o średnicy wewnętrznej 100 mm, grubości ścianek 3,5 mm i wysokości 50 mm (rys. 3);
- ołowiany cylinder o średnicy 50,8 mm i wysokości 101,6 mm (rys. 4).



**Rys. 3.** Schemat układu a) do badania wrażliwości MW na spłonkę. Objaśnienia: A — zapalnik, B — rura tekturowa, C — badany MW, D — płytka odwzorująca, E — stalowy pierścień [6]



**Rys. 4.** Schemat układu b) do badania wrażliwości MW na spłonkę. Objaśnienia: A — zapalnik, B — rura tekturowa, C — badany MW, D — ołowiany cylinder, E — stalowa płyta, F — drewniany klocek [6]

Dla danego MW wykonuje się trzy pomiary. Materiał wybuchowy uważa się za „wrażliwy na spłonkę”, jeżeli przynajmniej w jednej z prób wystąpi całkowite przedziurawienie płytki odwzorowującej (wgłębienie, pęknięcie lub zgięcie płytki uznaje się za wynik negatywny) — układ a), lub zgniecenie cylindra o minimum 3,18 mm — układ b).

Również w polskiej normie [24] opisana jest metoda określania wrażliwości na inicjowanie spłonką, a w niedalekiej przyszłości będzie wprowadzona norma zharmonizowana, której europejska wersja jest aktualnie opracowywana przez Komitet Techniczny CEN/TC 321.

**Próba szczelinowa (Gap Test)** jest najczęściej stosowaną metodą badania wrażliwości MW na falę uderzeniową. Według **UN Gap Test** [6] ładunek materiału wybuchowego elaboruje się do stalowej rury o średnicy wewnętrznej  $48 \pm 2$  mm, grubości ścianki  $4,0 \pm 0,1$  mm i długości  $400 \pm 5$  mm. Pod ładunkiem MW umieszczona jest kolejno przegroda wykonana z tworzywa sztucznego i pobudzac o średnicy  $50 \pm 1$  mm, masie 160 g i gęstości  $1,60 \pm 0,05$  g/cm<sup>3</sup>. Pobudzac jest wykonany z prasowanego flegmatyzowanego heksogenu RDX/wosk 95/5 lub odlewanego pentolitu PETN/TNT 50/50. Kryterium wrażliwości jest stopień fragmentacji stalowej osłony ładunku MW.

Natomiast w pracy [25] zmieniano grubość pleksiglasowej przegrody, badając, przy jakiej maksymalnej grubości inercyjnej membrany następuje, i minimalnej — nie następuje inicjacja testowanego MW. Następnie, na podstawie wyznaczonej wcześniej eksperymentalnie zależności pomiędzy ciśnieniem na czole fali uderzeniowej a grubością przegrody, szacowano ciśnienia powodujące i nie powodujące zainicjowania badanych MW.

## 5. Podsumowanie

Zakres stosowania górniczych materiałów wybuchowych determinują dwa elementy: bezpieczeństwo i efektywność. W niniejszej pracy skoncentrowano się na jednym z nich — bezpieczeństwie — analizując metody badań wrażliwości materiałów wybuchowych na bodźce zewnętrzne przedstawiane w kolejnych edycjach *Recommendation on the Transport of Dangerous Goods. Manual of Tests and Criteria* oraz normach polskich i europejskich. Wykonana analiza literaturowa pokazała, że właściwie brak jest korelacji pomiędzy metodami badań prowadzonymi w celu właściwej klasyfikacji MW zgodnie z przepisami ADR oraz metodami proponowanymi w normach, które nie są obligatoryjne. W *Recommendation on the Transport of Dangerous Goods. Manual of Tests and Criteria* zazwyczaj przedstawianych jest wiele metod badawczych, których wybór zależy wyłącznie od eksperymentatora. Wynika to między innymi z „delikatności materii” — uzyskanie pozytywnych wyników badań nawet wieloma metodami nie daje nam pewności co do stopnia bezpieczeństwa transportu danej substancji. Najbardziej jaskrawym przykładem takiego podejścia jest sprawa klasyfikacji niektórych matryc materiałów wybuchowych emulsyjnych do klasy 5.1.

Aktualnie liczba norm polskich dotyczących zagadnień wrażliwości materiałów wybuchowych do użytku cywilnego jest znacznie większa niż norm europejskich. Normy europejskie są przygotowywane bardzo powoli i mimo to, podczas prac Komitetu Technicznego nr 12, kilkakrotnie stwierdzono w nich błędy. Również w niektórych przypadkach normy polskie wydają się bardziej dopracowane i uzasadnione merytorycznie, a Komitet Techniczny CEN/TC 321 mógłby się na nich wzorować.

W niedalekiej przyszłości należałoby ujednolicić metody badań proponowanych w *Recommendation on the Transport of Dangerous Goods. Manual of Tests and Criteria* oraz normach europejskich. Jednak ten postulat wydaje się nierealny, ponieważ w zespołach roboczych przygotowujących je przedstawiciele poszczególnych państw są zazwyczaj pracownikami konkurujących ze sobą ośrodków badawczych.

#### LITERATURA

- [1] Cudziło S., Maranda A., Nowaczewski J., Trębiński R., Trzciński W.A.: Wojskowe materiały wybuchowe. Seria Metalurgia, nr 13, Wyd. WMiMPCz, Częstochowa 2000
- [2] Maranda A., Nowaczewski J., Statuch J., Syczewski M., Zygmunt B.: Chemia stosowana. Materiały wybuchowe — teoria, technologia, zastosowanie. Wyd. WAT, Warszawa 1985
- [3] Köhler J., Meyer R.: Explosives, Fourth, revised and extended edition. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim 1993
- [4] Bowden F.P., Yoffe A.D.: Fast reaction in solids. Butterworths Scientific Publication, London 1958
- [5] Włodarczyk E.: Wstęp do mechaniki wybuchu. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 1994
- [6] Recommendation on the transport of dangerous goods. Manual of tests and criteria. Third revised edition, United Nations, New York and Geneva, 1999
- [7] PN-93/C-86010: Materiały wybuchowe. Oznaczanie wrażliwości na uderzenie metodą Kasta
- [8] EN-13631-4: Explosives for civil uses — High explosives. Part 4: Determination of sensitiveness to impact of explosives
- [9] prPN-EN 13631-4: Materiały wybuchowe do zastosowań cywilnych. Materiały wybuchowe kruszące. Część 4: Oznaczanie wrażliwości na uderzenie
- [10] PN-C-86019:1994: Materiały wybuchowe. Oznaczanie wrażliwości na tarcie
- [11] prEN-13631-3: Explosives for civil uses — High explosives. Part 3: Determination of sensitiveness to friction of explosives
- [12] Licht H.-H.: Performance and sensitivity of explosives, Propellants. Explosives. Pyrotechnics, 2000, 25, 126–132
- [13] Dudek K., Mareček P., Jalovy Z.: Some properties of cast TNAZ mixtures, Proc. 33rd International Annual Conference of ICT, Energetic Materials. Synthesis, Production and Application, Karlsruhe, June 25–28, 2002, 53-1–53-7
- [14] Östmark H., Bergman H., Bemm U., Goede P., Holmgren E., Johansson M., Langlet A., Latypov N.V., Pettersson A., Pettersson M.-J., Wingborg N.: 2,2-Dinitro-1,1-diamine (FOX-7) — Properties, analysis and scale-up, Proc. 32nd International Annual Conference of ICY, Energetic Materials. Ignition, Combustion and Detonation, Karlsruhe, July 3–6, 2001, 26-1–26-21
- [15] Wyniki badań Kopalni Doświadczalnej „Barbara” w Mikołowie (praca niepublikowana)
- [16] Barker M.A., Basset J.F., Connor J., Hubbard P.J.: Response of confined explosive charges to fragment impact, Proc. Eight Symposium (International) on Detonation, Albuquerque, 1985
- [17] PN-92/C-86006: Materiały wybuchowe. Oznaczanie deflagracyjności. Metoda ogrzewania w łusce stalowej.
- [18] PN-C-86039:1997: Materiały wybuchowe. Próba zachowania się przy zetknięciu z powierzchnią stali ogrzanej do czerwonego żaru
- [19] PN-92/C-86007: Materiały wybuchowe. Próba spalania w zamkniętym pudełku
- [20] PN-C-86013:1994: Materiały wybuchowe. Oznaczanie stałości. Próba Abła
- [21] EN-13631-2: Explosives for civil uses — High explosives. Part 2: Determination of thermal stability of explosives
- [22] prPN-EN 13631-2: Materiały wybuchowe do zastosowań cywilnych. Materiały wybuchowe kruszące. Część 2: Oznaczania stabilności termicznej materiałów wybuchowych
- [23] prEN-13631-7: Explosives for civil uses — High explosives. Part 7: Determination of safety and reliability at extreme temperatures
- [24] PN-C-86036:2000: Materiały wybuchowe. Oznaczanie wrażliwości na inicjowanie spalną
- [25] Lamy P., Leiber C.-O., Cumming A.S., Zimmer M.: Air Senior National Representative Long Term Technology Project on Sensitive High Explosives (IHEs). Studies of High Energy Insensitive High Explosives, Proc. Of 27th Annual Conference of ICT, Energetic Materials — Technology, Manufacturing and Processing, Karlsruhe, June 25–28, 1996

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.