

## ANALIZA PARAMETRÓW DETONACYJNYCH MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH EMULSYJNYCH (MWE) UCZULANYCH SZKLANYMI MIKROSFERAMI ZAWIERAJĄCYMI POWIETRZE

ANDRZEJ MARANDA  
EDWARD WŁODARCZYK  
JACEK SERAFINOWICZ

*Wojskowa Akademia Techniczna*

### 1. Wstęp

Emulsyjne materiały wybuchowe, ze względu na swoje zalety, są aktualnie przedmiotem zainteresowania wielu naukowych zespołów wyspecjalizowanych w dziedzinie nowoczesnych środków strzałowych. Przejawem tych zainteresowań jest rosnąca liczba zgłoszeń patentowych, przekraczająca aktualnie sto pozycji. Jednocześnie, coraz częściej zaczynają się pojawiać artykuły w czasopismach naukowych i referaty wygłaszane na konferencjach dotyczących MWE [1 - 6]. Jest rzeczą charakterystyczną, że ich autorzy są głównie przedstawicielami Krajów Dalekiego Wschodu — kolebki materiałów wybuchowych. Ze względu na niedostępność niektórych czasopism w naszym kraju, jak również barierę lingwistyczną, trudno jest definitywnie określić, jakie badania zostały już przeprowadzone i opisane.

Emulsyjne materiały wybuchowe pod względem składu chemicznego są saletrolami zawierającymi kilkanaście procent wody oraz dodatkowo (w niektórych przypadkach) kilka lub kilkanaście procent udziału masowego krzemionki w postaci baloników lub kapilar wypełnionych powietrzem. Stosunki masowe podstawowych składników mają decydujący wpływ na parametry detonacyjne MWE. Uzyskanie charakterystyk detonacyjnych MWE w funkcji zawartości głównych komponentów stwarza możliwość optymalizacji składu emulsji wybuchowych. Ponadto stanowią one etap prac mających na celu wniknięcie w procesy chemiczne i fizyczne zachodzące podczas wybuchowej przemiany MWE.

W pracy określono wpływ zawartości wody, oleju, mikrosfer szklanych wypełnionych powietrzem oraz utleniaczy na prędkość i średnicę krytyczną detonacji MWE. W zakończeniu przedstawiono wstępną, jakościową interpretację fizykochemiczną uzyskanych charakterystyk z uwzględnieniem roli głównych składników w procesie detonacji MWE.

## 2. Część doświadczalna

W celu scharakteryzowania materiału wybuchowego podaje się wartości jego parametrów detonacyjnych. W niniejszej pracy określono eksperymentalnie dwa podstawowe parametry MWE — prędkość detonacji i średnicę krytyczną.

Pomiar prędkości detonacji wykonano w ładunkach MWE, umieszczonych w rurach stalowych o średnicach 36/42 mm, za pomocą czujników zwarciovych z wykorzystaniem czterokanałowego mikrosekundomierza cyfrowego T-1510 o zdolności rozdzielczej 0,1  $\mu$ s. Średnicę krytyczną detonacji MWE określano wstępnie za pomocą ładunków stożkowych, a następnie w celu sprecyzowania wyników pomiaru — za pomocą ładunków cylindrycznych o skokowo zmiennej średnicy.

Do prób laboratoryjnych stosowano oprócz emulgatorów produkcji RFN dostępne krajowe surowce, których użycie przewiduje się do produkcji MWE na skalę półtechniczną, a w późniejszym czasie — przemysłową. Zawartość składników zmieniano w następujących przedziałach:

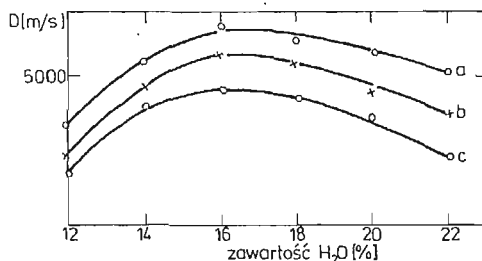
— azotan amonowy	36,3—67,9 % udziału masowego
— azotan sodowy	0—31,6 % udziału masowego
— woda	10,8—22,0 % udziału masowego
— olej maszynowy nr 8	3,9—10,3 % udziału masowego
— szklane mikrosfery (frakcja poniżej 0,125 mm, gęstość usypowa 0,36—0,38 g/cm <sup>3</sup> )	2,9—26,0 % udziału masowego

Do mieszaniny wybuchowej dodawano emulgatora w ilości 1,8% udziału masowego.

W dalszym ciągu rozważań wymieniając procentowy udział danego składnika w mieszaninie będziemy mieli na uwadze udział masowy.

Próbki do badań przygotowywano wg metod opisanych w pracy [7].

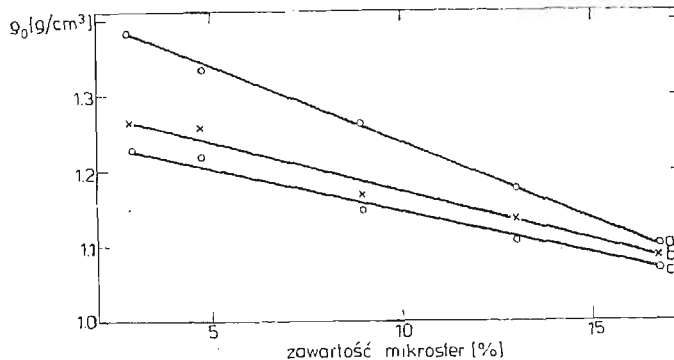
**2.1. Wpływ zawartości wody na prędkość detonacji MWE.** W pierwszej kolejności zbadano wpływ zawartości wody na prędkość detonacji. Jak już wspomniano, zawartość wody zmieniano w przedziale od 10,8 — 22%. Granice zawartości wody były zdeterminowane możliwościami powstawania emulsji wodno-olejowej (W-O). Eksperymenty przeprowadzono dla układów zawierających różne ilości szklanych mikrosfer. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 1. Krzywe *a*, *b* i *c* odpowiadają różnym zawartościom szklanych mikrosfer, a mianowicie *a* — 4,8%, *b* — 9,1% i *c* — 13%.



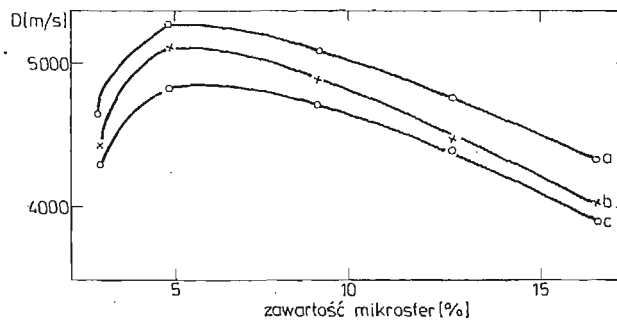
Rys. 1. Wpływ wody na prędkość detonacji MWE przy zawartości szklanych mikrosfer: *a* — 4,8%, *b* — 9,1%, *c* — 13,0% .

Z zamieszczonych wykresów wynika, że dodatek wody ma istotny wpływ na prędkość detonacji mieszanin. Ze wzrostem ilości wody początkowo dość szybko rośnie prędkość detonacji i po osiągnięciu maksymalnej wartości — następnie maleje. Ponadto z wykresów tych widać, że niezależnie od ilości zatopionych w mieszaninie szklanych mikrosfer, maksymalna wartość prędkości jej detonacji występuje przy zawartości wody około 16%. Wynika stąd praktyczny wniosek, że chcąc otrzymać MWE o określonej maksymalnej prędkości detonacji należy w składzie materiału zapewnić zawartość wody  $\sim 16\%$ . Początkowa gęstość mieszaniny wybuchowej wraz ze wzrostem zawartości wody od 10,8 — 22% nieznacznie maleje — średnio o około  $0,1 \text{ g/cm}^3$ .

**2.2. Wpływ ilości szklanych mikrosfer na prędkość detonacji i gęstość MWE.** Próby laboratoryjne prowadzono dla trzech serii układów zawierających 12, 16 i 22% wody. Ilość szklanych mikrosfer zmieniano w granicach od 2,9 do 16,7%. Wyniki eksperymentów przedstawiono na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Wpływ mikrosfer szklanych wypełnionych powietrzem na początkową gęstość MWE przy ilościach wody: a — 12%, b — 16%, c — 22%



Rys. 3. Wpływ mikrosfer szklanych wypełnionych powietrzem na prędkość detonacji MWE przy ilościach wody: a — 16%, b — 22%, c — 12%

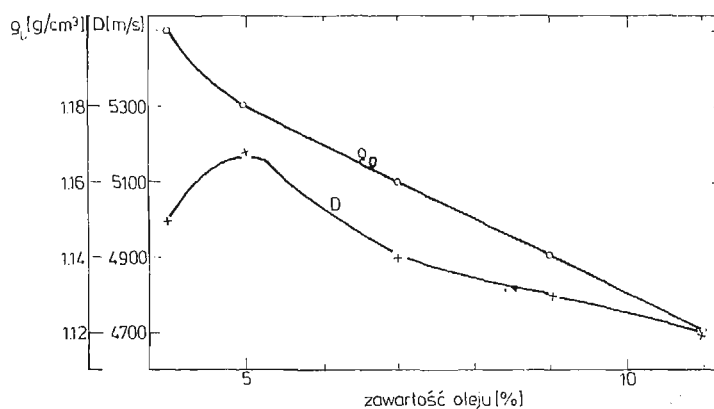
Zmiana gęstości początkowej MWE- $\rho_0$  w funkcji zawartości szklanych mikrosfer ma w przybliżeniu charakter prostoliniowy (rys. 2); jak należało oczekiwać — jest to funkcja malejąca.

Zawarte w mikrosferach powietrze w sposób istotny wpływa na prędkość detonacji MWE (rys. 3). Jak widać z wykresów zamieszczonych na rys. 3, wszystkie trzy krzywe

charakteryzujące związek  $D = f$  (% szklanych mikrosfer) mają podobny przebieg niezależnie od zawartości wody. Maksymalne wartości prędkości detonacji występują przy około 4,8% zawartości szklanych mikrosfer. Obserwuje się tutaj również (podobnie jak dla  $H_2O$ ) intensywne zmiany prędkości detonacji  $D$  w funkcji wzrostu zawartości szklanych mikrosfer. Zatem dla uzyskania maksymalnej prędkości detonacji, zawartość szklanych mikrosfer w mieszaninie nie może zbytnio różnić się od wartości optymalnej (4,8%).

**2.3. Wpływ zawartości oleju na prędkość detonacji MWE.** Zwiększenie zawartości oleju w mieszaninie (przy stałych stosunkach masowych pozostałych składników) zmniejsza lepkość układu. Jednocześnie bilans tlenowy mieszanin ze wzrostem zawartości oleju maleje i może przyjmować ujemne wartości. Na tej podstawie należało przypuszczać, że zmiana ilości oleju będzie oddziaływać bezpośrednio na wartość parametrów detonacyjnych MWE.

W celu wyjaśnienia wpływu ilości oleju zawartego w MWE na prędkość detonacji mieszanin przeprowadzono odpowiednie pomiary. Próby laboratoryjne prowadzono dla wybranego składu podstawowego, zawierającego stałe ilości wody (16%) i szklanych mikrosfer (9,1%). Wyniki badań przedstawiono na rys. 4.

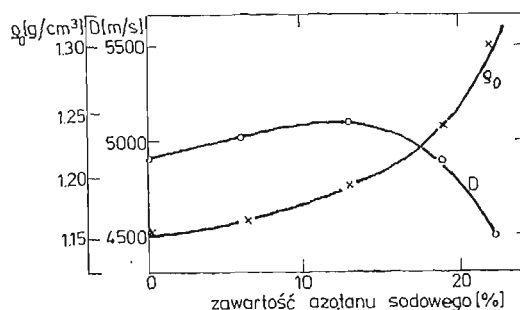


Rys. 4. Wpływ oleju na prędkość detonacji i gęstość początkową MWE zawierających stałe ilości wody (16%) i szklanych mikrosfer (9,1%)

Z przebiegu zmian prędkości detonacji pokazanych na rys. 4 widać wyraźnie, że zwiększenie ilości oleju w zakresie do około 5% powoduje istotne zwiększenie prędkości detonacji MWE. Po przekroczeniu tej wartości, prędkość detonacji monotonicznie maleje, aż do zawartości oleju około 12%, powyżej której detonacja zanika. MWE zawierające powyżej 12% oleju nie detonowały w warunkach przeprowadzonych doświadczeń (również przy inicjowaniu detonatorem HT-14). Charakter przebiegu krzywej  $D$  dowodzi, że w początkowej fazie przyrost ilości oleju w mieszaninie powoduje istotne zmiany wartości prędkości detonacji MWE.

Na rys. 4 przedstawiono także wpływ zawartości oleju na gęstość MWE. Jak widać, zależność  $\rho_0 = f$  (oleju) ma w przybliżeniu charakter prostoliniowy za wyjątkiem początkowego odcinka. Ze wzrostem ilości oleju do 12%, gęstość maleje od 1,2 g/cm<sup>3</sup> do 1,1 g/cm<sup>3</sup>.

2.4. Wpływ zmiany zawartości azotanu amonowego i azotanu sodowego na prędkość detonacji MWE oraz początkową jego gęstość. Ze względu na dużą różnicę w rozpuszczalności azotanu amonowego i sodowego w wodzie wzajemny stosunek tych utleniaczy w MWE decyduje o stopniu trudności otrzymywania emulsji W-O. Również należało przypuszczać, że odmienne bilanse tlenowe wymienionych saletr będą determinowały wartość parametrów detonacyjnych MWE. Eksperymenty przeprowadzono dla wytypowanych składów mieszanin o stałych zawartościach wody (16%) i szklanych mikrosfer (10%). Zawartość azotanu sodowego zmieniano w przedziale 0 - 31,6%. Górna granica zawartości saletry sodowej była uwarunkowana możliwościami powstawania emulsji W-O. Wyniki eksperymentów przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Wpływ azotanu sodowego na prędkość detonacji i gęstość początkową emulsyjnych materiałów wybuchowych zawierających stałe ilości wody (16%), oleju (4,3%) i szklanych mikrosfer (10%)

Z wyników badań przedstawionych na rys. 5 wynika, że zawartość azotanu sodowego ma istotny wpływ na gęstość początkową i prędkość detonacji MWE.

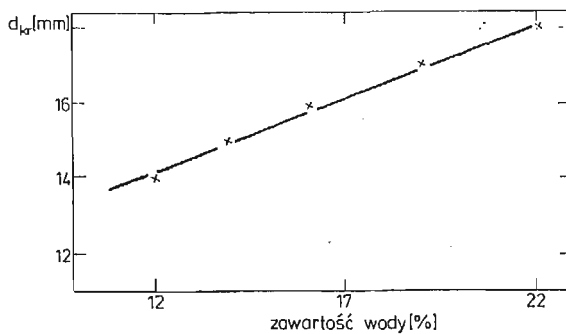
Ze wzrostem stężenia azotanu sodowego prędkość detonacji początkowo rośnie, a po osiągnięciu maksimum maleje aż do zaniku detonacji. Natomiast gęstość początkowa MWE monotonicznie rośnie.

2.5. Wpływ zawartości niektórych składników na średnicę krytyczną MWE. Materiały wybuchowe emulsyjne, jako specyficzna mieszanina saletroli i wody, nie posiadają w swoim składzie substancji wysokoenergetycznych (klasycznych materiałów wybuchowych). Dlatego o wartości parametrów detonacyjnych decyduje jakościowy i ilościowy skład mieszanin. W celu wyjaśnienia wpływu niektórych składników MWE na ich średnicę krytyczną detonacji przeprowadzono próby jej pomiaru w funkcji:

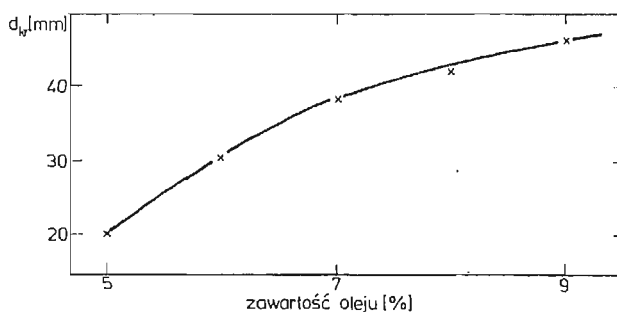
- ilości mikrosfer szklanych dla mieszanin o stałej zawartości wody (16%) i oleju (4,3%);
- ilości oleju dla mieszanin o stałej zawartości wody (16%) i szklanych mikrosfer (9,1%);
- ilości wody przy stałej zawartości oleju (4,1%) i szklanych mikrosfer (15%).

Wyniki badań laboratoryjnych przedstawiono na rys. 6-8.

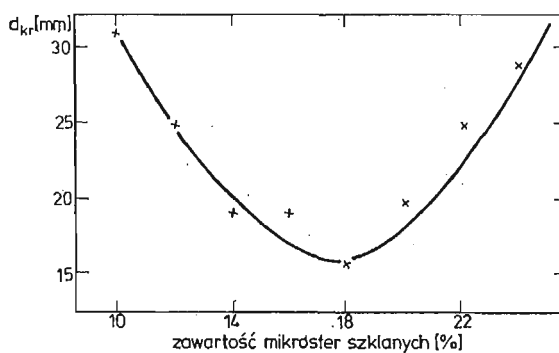
Z otrzymanych rezultatów widać, że średnice krytyczne detonacji MWE są stosunkowo małe, jak na materiały wybuchowe nie zawierające w swoim składzie wysokoenergetycznych składników. Dla badanych zawartości składników mieszczą się one w przedziale 14 - 46 mm. Charakter zmian średnic krytycznych detonacji jest zróżnicowany w funkcji zawartości poszczególnych składników. I tak z wykresów zamieszczonych na rys. 8, charakteryzujących wpływ zmiany ilości mikrosfer szklanych na średnicę krytyczną,



Rys. 6. Wpływ wody na średnicę krytyczną MWE zawierających stałe ilości oleju (4,1%) i szklanych mikrosfer (15%)



Rys. 7. Wpływ oleju na średnicę krytyczną MWE zawierających stałe ilości wody (16%) i szklanych mikrosfer (9,1%)



Rys. 8. Wpływ mikrosfer szklanych na średnicę krytyczną MWE zawierających stałe ilości wody (16%) i oleju (4,3%)

wynika, że funkcja  $d_{kr} = f$  (% szklanych mikrosfer) posiada minimum przy zawartości szklanych mikrosfer  $\sim 18\%$ . Natomiast zależności  $d_{kr} = f$  (% oleju) — rys. 7 i  $d_{kr} = f$  (% wody) — rys. 6 w badanych zakresach ilości oleju (5 - 9%) i wody (12 - 22%), mają charakter wzrastający.

### 3. Dyskusja uzyskanych wyników

Detonacja skondensowanych materiałów wybuchowych jest procesem skomplikowanym. O jej mechanizmie decydują reakcje chemiczne i zjawiska falowe. W przypadku materiałów emulsyjnych właściwa interpretacja procesów zachodzących podczas wybuchowych przemian jest bardzo utrudniona multifazowością wieloskładnikowego układu. Już samo sprecyzowanie ilości faz nastęrcza duże trudności. Z pewnością w MWE nie zawierających szklanych mikrosfer występują dwie podstawowe fazy: ciekła i gazowa, które są zasadniczymi elementami tekstury materiału. Natomiast nie można jednoznacznie stwierdzić, czy w takich MWE występuje faza stała.

Jak wykazały badania opisane w pracy [6], wielkość mikrokropelek emulsji zawarta jest w przedziale 0,2 - 2  $\mu\text{m}$ . Jeżeli zatem znajdują się w niej kryształy nieorganicznych utleniaczy, to mają one niewielkie rozmiary. Dlatego przy interpretacji uzyskanych wyników eksperymentalnych założono, że faza stała w postaci utleniaczy nie występuje.

Analiza uzyskanych rezultatów doświadczeń pozwala na wstępne, jakościowe określenie roli poszczególnych składników w wybuchowych procesach badanych mieszanin, co może być pomocne przy rozważaniach nad mechanizmem detonacji MWE.

Woda podobnie jak w przypadku materiałów wybuchowych zawieszinowych (MWZ) jest nieodłącznym składnikiem mieszanin emulsyjnych. Zwiększanie jej ilości w mieszaninie wybuchowej kosztem azotanu amonu powoduje zwiększanie odległości pomiędzy cząsteczkami utleniacza oraz, zgodnie z postulatem Arrheniusa i prawem granicznym dla przewodnictwa równoważnikowego, wzrost ilości zdysocjowanych cząstek utleniacza. Odległość pomiędzy cząsteczkami azotanu amonu determinuje możliwość i szybkość propagacji procesu wybuchowego rozkładu tego utleniacza. Im odległość ta jest większa, a pomiędzy cząsteczkami azotanu amonu znajdują się cząstki niezdolne do samodzielnej wybuchowej przemiany lub w trakcie ich pirolitycznej dekompozycji nie powstają produkty mogące wejść w egzotermiczną reakcję z produktami rozkładu utleniacza, tym bardziej utrudnione jest przenoszenie wybuchowych przemian z cząstki reagującej na nierozłożoną cząstkę azotanu amonu. Z drugiej strony wzrost ilości zdysocjowanych cząstek powoduje, że w układzie znajdują się elementy w większym stopniu przygotowane do dekompozycji, co ułatwia proces detonacji. Wynika stąd wniosek, że w badanej mieszaninie zachodzą dwa zjawiska przeciwstawnie oddziałujące na proces jej detonacji, czego fizycznym przejawem jest występowanie maksimum w zależności  $D = f(\% \text{ wody})$  — (rys. 1). Najbardziej optymalne warunki, w aspekcie opisanych zjawisk powstają w układach zawierających około 16% wody niezależnie od ilości szklanych mikrosfer. Natomiast poniżej oraz powyżej optymalnej zawartości wody oddziaływanie zjawisk negatywnych jest bardziej intensywne niż pozytywnych i występuje małenie prędkości detonacji.

Podstawowym komponentem wszystkich wykonanych mieszanin, nie zawierających w swoim składzie klasycznych materiałów wybuchowych jest utleniacz. Substancja ta podczas dekompozycji generuje wolny tlen, będący potencjalnym reagentem z atomami i cząsteczkami lub rodnikami o ujemnych bilansach tlenowych.

Najbardziej popularnym utleniaczem jest azotan amonu. W celu korekcji bilansu tlenowego MWE, dodaje się również innych nieorganicznych utleniaczy, na przykład saletrę

sodową lub wapniową. Wszystkie wymienione utleniacze są substancjami rozpuszczalnymi w wodzie i można założyć, że w MWE znajdują się w fazie ciekłej.

Azotan amonu jest jedynym komponentem MWE mającym właściwości wybuchowe. Pod wpływem odpowiednio intensywnej fali uderzeniowej może nastąpić jego egzotermiczny rozkład z wydzieleniem wolnego tlenu. Natomiast dekompozycja innych utleniaczy jest procesem endotermicznym. Wynika z tego, że wszystkie procesy wybuchowej przemiany MWE biorą swój początek w rozkładzie azotanu amonu. Następnie generując się w czasie tej reakcji ciepło powoduje rozkład pozostałych utleniaczy, a wydzielający się tlen reaguje z elementami cząsteczek paliwa. Egzotermiczna reakcja pomiędzy tlenem wydobywającym się z azotanu sodowego a paliwem jest możliwa w strefie reakcji fali detonacyjnej dzięki cząsteczkowemu a nawet jonowemu rozdrobnieniu tego utleniacza.

Tlen powstający podczas rozkładu saletry sodowej parcjalnie lub całkowicie uczestniczy w procesach wybuchowych w strefie reakcji chemicznej fali detonacyjnej. Fizyczną egzemplifikacją opisanych zjawisk jest maksimum występujące na zależności  $D = f$  (% azotanu sodowego) (patrz rys. 5). Występuje ono przy ujemnym bilansie tlenowym MWE. Jest to bezpośredni dowód na niepełne przereagowanie saletry sodowej w strefie reakcji fali detonacyjnej.

Drugim podstawowym składnikiem mieszanin wybuchowych nie zawierających wysokoenergetycznych MW jest paliwo (olej w MWE). W materiałach emulsyjnych spełnia ono podwójną rolę — chemiczną i fizyczną. Zwiększanie ilości oleju w mieszaninie ułatwia sporządzanie emulsji. Jednocześnie zmieniają się: bilans tlenowy mieszanin (rośnie ujemna jego wartość) oraz geometryczne wymiary mikrotekstury MWE.

Efektym wymienionych właściwości jest ekstremum na zależności  $D = f$  (% oleju), (rys. 4) oraz wzrost średnicy krytycznej detonacji (rys. 7) MWE wraz ze zwiększeniem ilości oleju powyżej 5%, która to ilość odpowiada zerowemu bilansowi tlenowemu mieszaniny. Można z tego wyciągnąć generalny wniosek, że przy odpowiednio zbilansowanym tlenowo MWE cały olej bierze udział w przemianach zachodzących w strefie reakcji chemicznej fali detonacyjnej.

Możliwość całkowitego przereagowania oleju wynika z tekstury MWE. Cząsteczki oleju tworząc fazę ciągłą emulsji wodnoolejowych formują cienkie filmy na powierzchni mikrokropek przesyconych roztworów utleniaczy. Rozwijają to potencjalną strefę współreagowania paliwa i utleniacza. Z tego względu szybsza jest dyfuzja reagentów w obszar reakcji decydujących o wartości prędkości i średnicy krytycznej detonacji.

Zwiększenie ilości oleju powyżej wartości stechiometrycznej powoduje szereg niekorzystnych zjawisk. Zwiększa się, jak już wcześniej wspomniano, odległość pomiędzy mikrokropekami zawierającymi utleniacz. Grubość pokrywającego je organicznego filmu rośnie, przez co utrudniona jest dyfuzja cząsteczek oleju w strefę reakcji. W układzie zaczyna brakować tlenu do pełnego utlenienia oleju. Nieutlenione cząsteczki oleju stają się balastem energetycznym. Ulegają endotermicznej pirolizie, przez co obniżają parametry fali detonacyjnej. Powoduje to wzrost średnicy krytycznej i malenie prędkości detonacji.

W procesie detonacji MWE fundamentalne znaczenie mają wypełnione powietrzem szklane mikrosfery. Dodatek tego składnika umożliwia inicjację i rozwój detonacji w tego typu MW. Mikrosfery szklane wypełnione powietrzem zmniejszają gęstość MWE i tworzą centra aktywne przyszłych reakcji chemicznych. W strukturze MWE tworzą one trój-



warstwowe mikroobszary, powstałe z pęcherzyków powietrza zamkniętych w szklanych bańkach otoczonych emulsją wodnoolejową. W czasie rozprzestrzeniania się fali uderzeniowej obszary te „zanurzają się” w pole ciśnienia i ulegają kompresji. Jeśli założyć, że proces kompresji pęcherzyków powietrza jest adiabatyczny, to wzrost temperatury powietrza zawartego w mikrosferze szklanej można oszacować według następującego wzoru [8]:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} = \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right)^{\gamma-1},$$

gdzie indeks „1” oznacza początkowe stany powietrza natomiast „2” końcowe.

W ten sposób formują się „gorące punkty”, które odgrywają decydującą rolę w procesie detonacji tego typu MWE [9]. Wzrost temperatury i ciśnienia w tych punktach powoduje efektywny i pełny rozwój oraz przebieg chemicznych reakcji, co z kolei istotnie wpływa na wartość prędkości detonacji. Natomiast w przypadku braku mikrosfer szklanych w MWE rozprzestrzeniająca się w emulsji fala uderzeniowa spręża ją i również ogrzewa. Powstała przy tym temperatura jest jednak zbyt niska, w porównaniu z temperaturą w pęcherzykach gazowych, aby móc spowodować rozwój reakcji chemicznych, które mogłyby podtrzymać stacjonarny przebieg wybuchowych procesów. W efekcie mieszaniny takie nie detonują.

Zwiększenie procentowego udziału mikrosfer szklanych w emulsji powoduje zwiększenie stopnia napowietrzenia MWE oraz wprowadzenie coraz większych ilości szkła a więc materiału inercyjnego. Jak wiadomo, zmniejszanie gęstości poniżej optymalnej powoduje malenie prędkości detonacji. Również ze wzrostem ilości dodatku inercyjnego w MW prędkość detonacji wybuchowych procesów maleje. Przedstawione powyżej rozważania całkowicie wyjaśniają występowanie ekstremum na zależności  $D = f(\% \text{ mikrosfer szklanych})$  (rys. 3.) Przy zawartości 5% szklanych mikrosfer, MWE posiada najbardziej optymalną strukturę w aspekcie szybkości przebiegów wybuchowych reakcji. Poniżej tej zawartości jest zbyt mała ilość gorących punktów, natomiast powyżej niewątpliwym wpływ ma obniżenie gęstości MWE i zwiększenie zawartości szkła (balastu).

Z przedstawionej interpretacji wynika rola poszczególnych składników w procesie detonacji MWE. Woda i olej są czynnikami teksturotwórczymi. Olej oprócz tego bierze również udział w reakcjach chemicznych. Jego podstawowym współreagentem jest tlen powstający podczas rozkładu azotanów amoniaku i dopełniający tlen wydzielający się w trakcie dekompozycji azotanów sodu. Mikrosfery szklane, a właściwie zawarte w nich powietrze są czynnikiem sensybilizującym, zapewniającym warunki na rozwój wybuchowych przemian.

#### 4. Wnioski końcowe

Rezultaty pomiarów parametrów detonacyjnych MWE pozwalają scharakteryzować ich właściwości. Stwarzają możliwość usytuowania MWE w odpowiedniej klasie MW oraz determinują zakres ich zastosowania. Wykazały również bezsprzeczną zaletę MWE, a mianowicie, możliwość regulowania ich parametrów detonacyjnych poprzez zmianę

zawartości poszczególnych składników. Dzięki temu można uzyskiwać materiały o zróżnicowanych parametrach detonacyjnych i różnych właściwościach reologicznych.

MWE charakteryzują się dobrymi właściwościami wybuchowymi (stosunkowo duża prędkość detonacji i mała średnica krytyczna). Można je usytuować, między górnictwami MW amono-saletrzanymi a dynamitami. MWE ze względu na budowę oraz uzyskane charakterystyki można zaliczyć do grupy materiałów wybuchowych zawieszinowych (MWZ). Należy jednak podkreślić, że MWE posiadają kilka zalet, które stawiają je ponad MWZ. Przede wszystkim MWE nie posiadając składnika wysokoenergetycznego, w analogicznym zakresie gęstości mają znacznie większe wartości prędkości detonacji od MWZ. Aby osiągnąć tego rzędu prędkość detonacji MWZ, muszą być one uczulane MW kruszącym i mają duże średnice krytyczne. Natomiast aby uzyskać MWZ, o niskiej średnicy krytycznej, należy go uczulić pyłem aluminiowym, który jest surowcem deficytowym.

Drugą istotną zaletą MWE jest brak wpływu ciśnienia hydrostatycznego na zdolność MWE do detonacji. MWZ uczulane pyłem aluminiowym są czułe na ciśnienie hydrostatyczne i zdarzały się przypadki zaniku zdolności detonacji w zawodnionych otworach strzałowych.

MWE mogą ze względu na swoje właściwości znaleźć zastosowanie w górnictwie odkrywkowym i podziemnym. MWE zawierające więcej niż 10% ilości mikrosfer szklanych detonują od zapalników elektrycznych i charakteryzują się małymi średnicami krytycznymi. Te cechy umożliwiają zastosowanie MWE do ładowania otworów małośrednicowych, a więc nadają się do stosowania w górnictwie podziemnym wydobywającym, np. rudy miedzi. MWE zawierające mniejsze niż 10% ilości mikrosfer szklanych można z powodzeniem stosować w górnictwie odkrywkowym. Do ich inicjowania wskazane jest stosować małe ładunki pośrednie. MWE o takim składzie, mają ogromną zaletę, gdyż ich gęstość i całkowita wodoodporność sprawiają, że nadają się do ładowania otworów zawodnionych.

Aby MWE można było wprowadzić do przemysłu górniczego należy dokonać jeszcze zamiany importowanego emulgatora na substytuty krajowe. Potencjalne możliwości takiej zamiany istnieją, gdyż przemysł chemiczny w Polsce produkuje takie związki. Wymagają one tylko bardziej szczegółowego przebadania emulgatora pod kątem wartości równowagi hydrofilowo-lipofilowej — HLB. W przyszłości MWE mogą stać się jednym z podstawowych środków strzałowych używanych w przemyśle górniczym.

#### Literatura

1. F. TAKEUCHI, K. YAMAMOTO, H. SAKAI, *Emulsion Type Explosives*, Kogyo Kayaku, 43, 5, 285, 1982.
2. BO TONG, *Emulsified Explosives*, Coal. Sci. Technol. 6, 21, 1983.
3. B. LIU, S. YANG, N. ZHUNG, *Study of CRH Explosive Emulsions*, Kuangye Gongcheng, 3, 3, 7, 1983.
4. V. KRISHNA MOHAN, J. E. FIELD, G. W. SWALLOWE, *High-Speed Photographic Studies of Impact of Thin Layers of Emulsion Explosives*, Prop. Expl. Pyr. 9, 77, 1984.
5. K. HATTORI, Y. FUKATSU, N. MORI, H. SAKAI, *Effect of Particle Size Microballons on Detonation Velocity and Sensitivity of Emulsion Explosives*, Proc. Symp. Explos. Pyrotech. 12th, 5, 3 - 5, 11, 1984.
6. G. KOBAYASHI, H. ITOH, K. YAMAMOTO, *Emulsion Particles Size and Initiating Sensitivity of Emulsion Explosives*, Kogyo Kayaku, 45, 3, 135, 1985.

7. *Sprawozdanie z badań laboratoryjnych zawieszinowego materiału wybuchowego do urabiania węgla. Część VI*, Warszawa 1985.
8. A. MARANDA, J. NOWACZEWSKI, E. WŁODARCZYK, B. ZYGMUNT, *Some Detonation Properties of Aluminium Dust Sensitized Slurry Explosives*, J. Techn. Phys. **20**, 3, 1979.
9. E. WŁODARCZYK, *Роль газовых пузырьков в инициировании детонации водонаполненных взрывчатых веществ*, Успехи Механики, 8, 2, 1985.

## Резюме

## АНАЛИЗ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ (ЭВВ) СЕНСИБИЛИЗИРОВАННЫХ СТЕКЛЯННЫМИ МИКРОСФЕРАМИ ЗАПОЛНЕННЫМИ ВОЗДУХОМ

В экспериментальной части работы определены скорость и критический диаметр детонации эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) в зависимости от содержания основных компонентов. В отдельных образцах изменялись количества азотнокислого аммония и азотнокислого натрия, масла, воды, а также стеклянных микробаллонов заполненных воздухом. На основе полученных результатов определена роль вышеупомянутых компонентов в процессе детонации ЭВВ. Полученные данные дают также возможность поместить ЭВВ в соответствующий класс горных взрывчатых веществ, а также представить перспективы их применения.

## Summary

## ANALYSIS OF THE DETONATION PARAMETERS OF EMULSION EXPLOSIVES (EM) DEPENDING ON GLASS MICROSPHERES FILLED WITH AIR

In the experimental part of the work reported here the velocity and the critical diameter were determined of the detonation of the emulsion explosives (EM) depending upon the content of the basic components. In the respective samples the quantity was being changed of ammonium- and sodium nitrate, oil, water, and of glass microspheres filled by air. On the strength of the results obtained the role was defined of the above components in the detonation process of EM. The data obtained also enabled placing EM in a suitable class of mining explosives and presenting the prospects of their applications.

*Praca wpłynęła do Redakcji dnia 26 września 1986 roku.*