

Wpływ sposobu pobudzenia materiału wybuchowego emulsyjnego luzem na prędkość detonacji na przykładzie Emulinitu 8L

Impact of initiation method of bulk emulsion explosive on the velocity of detonation based on Emulinit 8L



Dr inż. Piotr Mertuszka^{*)}



Mgr inż. Krzysztof Fulawka^{*)}



Mgr inż. Bogusław Cenian^{**)}



Mgr inż. Bartłomiej Kramarczyk^{***)}

Treść: W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu zastosowanego środka inicjującego na prędkość detonacji materiału wybuchowego. Przedmiotem badań był materiał wybuchowy emulsyjny luzem Emulinit 8L produkowany przez firmę Nitroerg S.A. z Bierunia. W ramach badań przeanalizowano przebiegi detonacji na całej długości ładunków MW dla wszystkich analizowanych przypadków oraz charakterystykę rozbiegu materiału do prędkości maksymalnej.

Abstract: This paper presents the results of analysis of the impact of initiation method on the detonation velocity of explosives. The subject of research was Emulinit 8L emulsion explosive manufactured by Nitroerg S.A. from Bieruń. Within the framework of the presented research, detonation characteristics on the entire length of explosive's samples as well as characteristics of detonation run-up to maximum velocity were analyzed.

Słowa kluczowe:

materiały wybuchowe, prędkość detonacji, systemy inicjacji MW

Keywords:

explosives, velocity of detonation, explosive's initiation methods

1. Wstęp

Materiały wybuchowe (MW) są powszechnie stosowane w przemyśle górniczym do urabiania skał zwięzłych. Ponieważ

wzrastające zużycie MW niosło ze sobą zwiększenie ryzyka wystąpienia potencjalnego wypadku, producenci stali przed wyzwaniem poprawy poziomu bezpieczeństwa robót strzałowych. W efekcie powstały materiały wybuchowe emulsyjne (MWE), które stanowią alternatywę dla saletroli czy dynamitów. Ich przewagą jest minimalna zawartość gazów szkodliwych w produktach wybuchu. Charakteryzują

^{*)} KGHM Cuprum, Wrocław, ^{**)} KGHM Polska Miedź OZG, Polkowice, ^{***)} NITROERG S.A. Bieruń

się one również dużą efektywnością urabiania i stosunkowo niewielkim negatywnym wpływem na środowisko. Dla zapewnienia odpowiednio dużego impulsu energetycznego, który może doprowadzić do detonacji, stosuje się dodatkowe środki inicjujące ułatwiające przeniesienie detonacji z zapalnika elektrycznego lub lontu detonującego na podstawowy ładunek MW (Morawa 2004, Morawa, Onderka 2013). Aby osiągnąć maksymalną efektywność urabiania, należy doprowadzić do takiej inicjacji materiału wybuchowego, aby osiągnął on maksymalną prędkość detonacji na możliwie najkrótszym odcinku otworu strzałowego. Może to przyczynić się do zapewnienia odpowiedniej fragmentacji urobku, przy jednoczesnym zmniejszeniu prawdopodobieństwa powstania tzw. „fajek”. Obecnie na rynku dostępna jest pełna gama środków inicjujących MW, w tym pobudzacze lontowe i różnego rodzaju zapalniki. Doboru odpowiedniego sposobu pobudzenia dokonuje się w oparciu o parametry stosowanego materiału wybuchowego oraz parametry mechaniczne skał. Przeprowadzone dotychczas badania nie pozwalają jednoznacznie stwierdzić, w jakim stopniu sposób pobudzenia wpływa na prędkość detonacji MW. Jak zaznacza Cudziło i in. (1995), rodzaj i energia wzbudzenia mają wpływ na czas, w którym materiał wybuchowy rozpędzi się do stałej prędkości, jednak nie wpływają one na samą wartość prędkości detonacji. Podobne wnioski wyciągnęli Paszula i Kowalewski (2015), którzy wykazali, że zmiana prędkości detonacji w funkcji odległości od miejsca zainicjowania MW pobudzaczem Hx/A1 i samym zapalnikiem różnią się tylko na etapie rozbiegu MW do detonacji stacjonarnej, natomiast prędkość detonacji pozostaje na jednakowym poziomie. Z kolei obszernie badania zrealizowane przez Gupte i in. (2001) wykazały, że wielkość pobudzacza może mieć znaczny wpływ na prędkość detonacji materiałów typu ANFO. Jednocześnie autorzy dowiedli, że wielkość pobudzacza nie wpływa na zmianę prędkości detonacji stabilnej materiału wybuchowego typu SMS 654 (materiał wybuchowy zawieszinowy). Oznacza to, że wpływ pobudzenia na prędkość detonacji stacjonarnej może różnić się w zależności od stosowanego MW. Równie obszerna analiza przeprowadzona została przez Żganeca i in. (2016), gdzie badania wpływu pobudzenia na prędkość detonacji wykonano w 141 otworach strzałowych na materiałach typu ANFO i Heavy ANFO przy zastosowaniu trzech typów pobudzaczy. Tym razem wyniki badań wykazały jednoznacznie, że typ pobudzacza ma istotny wpływ na prędkość detonacji stacjonarnej. Podobne spostrzeżenia zaprezentowali Bilgin oraz Esen (2000), którzy przebadali w sumie 3 typy materiałów wybuchowych (saletrole), tj. ELBAR-5, BARANFO-50 oraz BARANFO-100, inicjując je przy użyciu dwóch typów pobudzaczy. W efekcie stwierdzono, że dla każdego z trzech badanych materiałów prędkość detonacji zmienia się w zależ-

ności od stosowanego pobudzacza. Autorzy nie spotkali się jednak z opracowaniem traktującym o wpływie stosowanego pobudzenia na prędkość detonacji materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem. W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań wpływu sposobu pobudzenia na prędkość detonacji MWE luzem typu Emulinit 8L.

2. Metodyka i przedmiot badań

Pomiar prędkości detonacji prowadzono przy pomocy urządzenia MicroTrap kanadyjskiej firmy MREL. Urządzenie to umożliwia rejestrację ciągłą w oparciu o metodę elektryczną. Szczegółowy opis zasady działania urządzenia MicroTrap znaleźć można w literaturze przedmiotu (Cenian i in. 2015, Mertuszka i in. 2017b). Rozdzielczość na poziomie 2 MHz pozwala na szczegółowe przeanalizowanie przebiegu detonacji na całej długości ładunku MW, w tym także na określenie prędkości detonacji środka inicjującego.

Badania przeprowadzono na terenie zakładowego placu testowego materiałów wybuchowych firmy Nitroerg w Bieruniu. Do elaboracji prób wykorzystano Modułowe Urządzenie Pompujące. Przedmiotem badań był materiał wybuchowy emulsyjny luzem o handlowej nazwie Emulinit 8L produkowany przez firmę Nitroerg S.A. z Bierunia. Analizę wpływu sposobu pobudzenia na prędkość detonacji przeprowadzono z wykorzystaniem następujących środków inicjujących (rys. 1 oraz tab. 1):

- zapalnika elektrycznego i dynamitu Ergodyn 30E o średnicy 25 mm (Nitroerg S.A.),
- zapalnika elektrycznego i pobudzacza Rioprime 25 (Maxam Deutchland GmbH),
- zapalnika elektrycznego i pobudzacza Nitrobooster 10M (Nitroerg S.A.),
- zapalnika elektrycznego i pobudzacza NKG-20 (Explosive service a.s.),
- zapalnika elektrycznego wzmocnionego (Nitroerg S.A.),
- zapalnika elektrycznego (Nitroerg S.A.).

Próbki wykonane zostały z 1-metrowych rur tworzywowych o średnicy wewnętrznej 50 mm, które załadowano ok. 2,2 kg materiału wybuchowego. Taka ilość umożliwiła 100-procentowe wypełnienie rur i eliminację możliwych pęcherzy powietrza powstałych w trakcie ładowania. W wyniku reakcji chemicznej, materiał wybuchowy powiększał swoją objętość. Nadmiar ten usuwano na bieżąco. Następnie rury zaślepiano z obydwu stron korkami, w których wykonano wcześniej otwory umożliwiające centralne umieszczenie sondy, zapalnika oraz zestawu zapalnik + pobudzacza. Schemat instalacji sond pomiarowych przedstawiono na rys. 2.

Tabela 1. Wybrane parametry przebadanych środków inicjujących (wg danych producentów)

Table 1. Selected parameters of tested initiators (based on manufacturers' data)

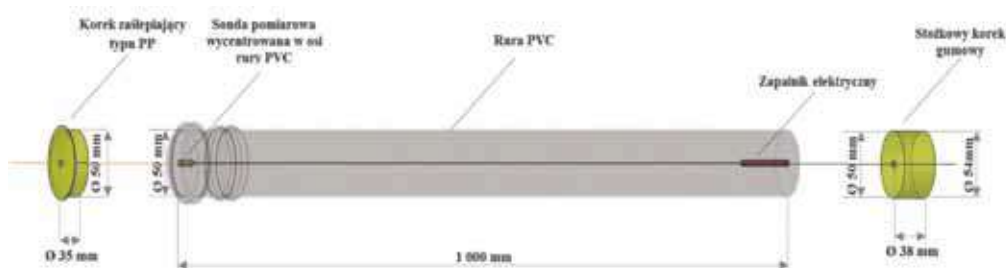
Wybrane parametry pobudzaczy				
	Ergodyn 30E Ø25 mm	NKG-20	Rioprime 25	Nitrobooster 10M
Prędkość detonacji [m/s]	≥ 2 500	≥ 7 000	≥ 5 500	≥ 5 500
Wrażliwość na uderzenie [J]	≥ 2	≥ 10	≥ 15	≥ 3
Wrażliwość na tarcie [N]	≥ 18	≥ 100	≥ 216	≥ 324
Masa MW [g]	125 ¹⁾	15 ²⁾	20 ³⁾	10 ⁴⁾
Wybrane parametry zapalników				
	ZE		WZI	
Masa ładunku wtórnego [g]	0,65 ⁴⁾		1,09 ⁴⁾	

¹⁾ dynamit; ²⁾ heksogen, pentryt, trotyl; ³⁾ pentryt, trotyl, ftalan diizobutyli, azotan(V) potasu; ⁴⁾ pentryt



Rys. 1. Wybrane pobudzacze zastosowane do badań (z lewej) oraz elaboracja prób (z prawej)

Fig. 1. Selected boosters used for tests (left) and charging of samples (right)



Rys. 2. Schemat instalacji sondy i zapalnika w rurze tworzywowej

Fig. 2. Scheme of the installation of the probe and the detonator in a plastic pipe

Po załadowaniu prób i odczekaniu czasu potrzebnego na ustabilizowanie się MW, w którym zwiększał on swoją objętość w wyniku zachodzenia reakcji chemicznej (Mertuszka i in. 2017a), przystąpiono do pomiarów prędkości detonacji. W ramach badań przeprowadzono trzy serie pomiarowe z zastosowaniem wybranych środków inicjujących w następującej kolejności: dynamit skalny Ergodyn 30E, pobudzacze Rioprime 25, Nitrobooster 10M i NKG-20 oraz zapalnik skalny elektryczny natychmiastowy (ZE) i zapalnik elektryczny wzmocniony (WZI).

3. Wpływ badanych środków inicjujących na prędkość detonacji MWE luzem

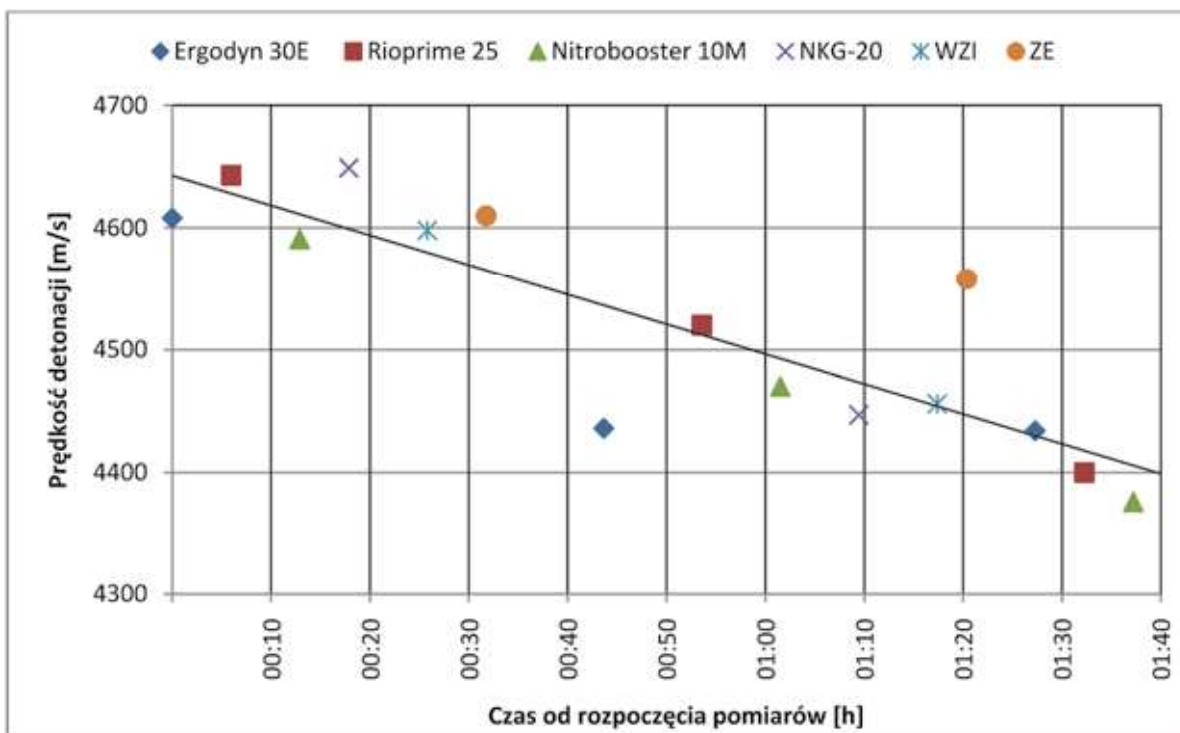
Wyniki pomiarów przedstawione w tab. 2 oraz na rys. 3 wykazują równomierny spadek prędkości detonacji materiału wybuchowego, niezależnie od zastosowanego środka inicjującego. Spadek ten związany jest ze zmianą parametrów MW w czasie oraz przerwą technologiczną pomiędzy kolejnymi badaniami, niezbędną do uzbrojenia prób i przygotowaniem do odpalenia.

Tabela 2. Pomierzone prędkości detonacji MWE luzem dla różnych typów pobudzenia
Table 2. Velocity of detonation measured for different types of initiation

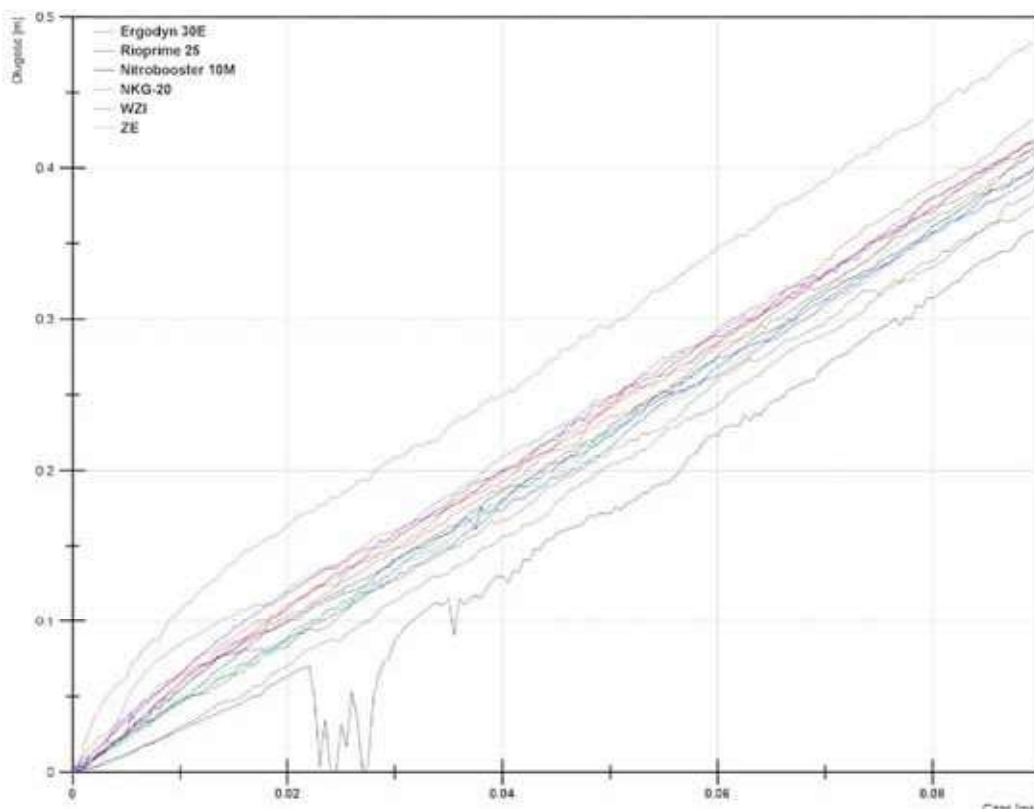
L.p.	Sposób pobudzenia	Prędkość detonacji (m/s)		
		Seria 1	Seria 2	Seria 3
1.	Ergodyn 30E	4 610	4 440	4 430
2.	Rioprime 25	4 660	4 520	4 400
3.	Nitrobooster 10M	4 590	4 470	4 380
4.	NKG-20	4 650	4 450	4 430
5.	WZI	4 600	4 460	4 360
6.	ZE	4 610	4 560	4 360

Spadek prędkości detonacji MWE pomiędzy poszczególnymi badaniami przyjmuje charakter liniowy (rys. 4) przy współczynniku determinacji na poziomie $R^2 = 0,81$, co

oznacza, że sposób pobudzenia MWE luzem nie wpływa na prędkość detonacji stacjonarnej.



Rys. 3. Pomierzona prędkość detonacji MWE dla wszystkich badanych typów pobudzenia
 Fig. 3. Velocity of detonation measured for all types of initiation



Rys. 4. Przebiegi prędkości detonacji dla wszystkich badanych sposobów inicjacji
 Fig. 4. Curves of velocity of detonation for different initiation types

Wyniki badań wykazują, że przebadane rodzaje środków inicjujących nie wpływają na wartość prędkości detonacji ładunków MWE Emulinit 8L. Nie oznacza to jednak, że stosowanie pobudzaczy jest nieuzasadnione. Stabilne przebiegi prędkości detonacji wskazują, że MWE Emulinit 8L ma charakterystykę umożliwiającą rozpędzenie go do maksymalnej prędkości już przy dostarczeniu minimalnego, wymaganego impulsu energetycznego (np. zapalnika). Z punktu widzenia efektywności urabiania istotny jest przebieg rozbiegu MW do poziomu stabilnej detonacji, tzn. należy doprowadzić do takiego pobudzenia, aby materiał osiągnął maksymalną wartość prędkości detonacji na możliwie najkrótszym odcinku od miejsca pobudzenia.

4. Analiza charakterystyk rozbiegów MWE do stabilnej prędkości detonacji przy użyciu różnych sposobów pobudzenia

Długość odcinka, po którym materiał wybuchowy osiąga stabilną/ustaloną prędkości detonacji, deklarowaną przez producenta, ma kluczowe znaczenie ze względu na bezpieczeństwo robót strzałowych (pozostawanie niezdetonowanego MW w otworach) i efektywność urabiania (słabe zabiory). Na przebiegach poszczególnych prędkości detonacji (rys. 5÷8) wykreślono punkty, w których materiał osiąga tzw. prędkość stabilną, przyjmującą charakter liniowy. W celu wykonania dokładnej analizy przyjęto warunek progowy mówiący, że współczynnik determinacji określający zależność pomiędzy wygenerowaną linią trendu a zmierzoną prędkością detonacji na określonym odcinku powinien wynosić: $R_2 \geq 0,9998$. Do wygenerowania prostej zastosowano klasyczną regresję liniową z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów opisaną równaniem:

$$Y = b \cdot x + a \quad (1)$$

gdzie współczynniki b i a wyliczamy kolejno ze wzorów (2) i (3)

$$b = \frac{\sum(X \cdot Y) - N \cdot \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sum X^2 - N \cdot \bar{X}^2} \quad (2)$$

gdzie:

Y – zmienna zależna,
 X – predyktor,
 \bar{Y} – średnia dla zmiennej zależnej,
 \bar{X} – średnia dla predyktora,
 N – liczebność obserwacji.

$$a = \bar{Y} - b \cdot \bar{X} \quad (3)$$

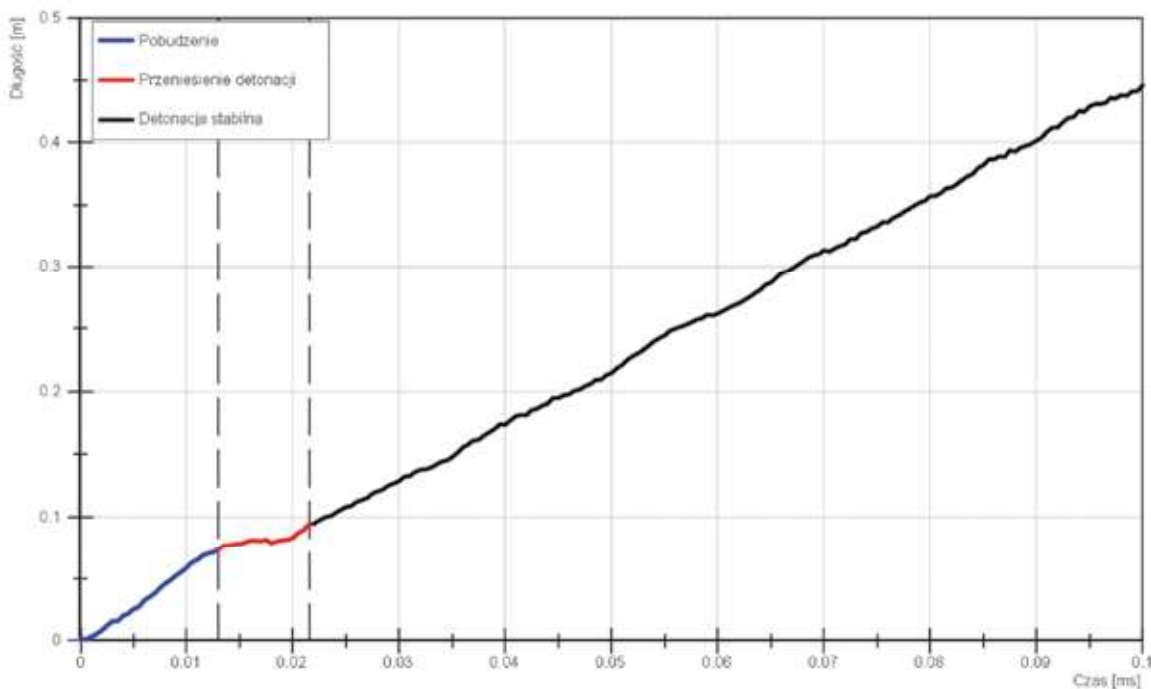
Metoda ta znajduje w szczególności zastosowanie w analizach zależności liniowych, ponieważ jest wrażliwa na wartości odstające. Oznacza to, że w przypadku nagłej zmiany kąta nachylenia krzywej reprezentującej prędkość detonacji, wartość współczynnika determinacji spada wyraźnie poniżej zakładanego progu dopasowania. Ostatecznie wyznaczono te odcinki na krzywych, na których prędkość detonacji była stała. Stopnie dopasowania aproksymowanej linii do wartości rzeczywistych przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Stopień dopasowania wygenerowanej krzywej do wartości rzeczywistych

Table 3. Matching of the generated approximation curve with the measured values

L.p.	Środek inicjujący	Współczynnik determinacji R2 [-]		
		Seria 1	Seria 2	Seria 3
1.	Ergodyn 30E	0,999833	0,999802	0,999857
2.	Rioprime 25	0,999899	0,999900	0,999891
3.	Nitrobooster 10M	0,999898	0,999829	0,999892
4.	NKG-20	0,999875	0,999886	0,999808
5.	WZI	0,999864	0,999866	0,999805
6.	ZE	0,999887	0,999881	0,999901

Rys. 5 przedstawia zasadnicze etapy procesu detonacji istotne dla analizy skuteczności pobudzenia. Krzywa niebieska



Rys. 5. Etapy detonacji MW

Fig. 5. Stages of explosive detonation process

charakteryzuje etap pobudzenia. Duże nachylenie gwarantuje wyższą prędkość detonacji samego środka inicjującego, co z kolei przekłada się na początkową energię całego procesu detonacji i minimalizuje możliwość pozostawania resztek MW na dnie otworu strzałowego, bądź powstawania tzw. „fajek”. Drugi etap (czerwony) odnosi się do momentu przeniesienia detonacji ze środka inicjującego na materiał wybuchowy. W przypadku stosowania pobudzaczy istotne jest, aby odcinek ten był jak najkrótszy lub, co jest bardzo pożądane, nie występował w ogóle. Etap trzeci (czarny) reprezentuje stabilną detonację, czyli stan docelowy. W przypadku stosowania samych zapalników, etap pierwszy jest pomijalny. Istotne jest zatem aby impuls energetyczny pochodzący z zapalnika umożliwił jak najszybsze osiągnięcie stabilnej detonacji.

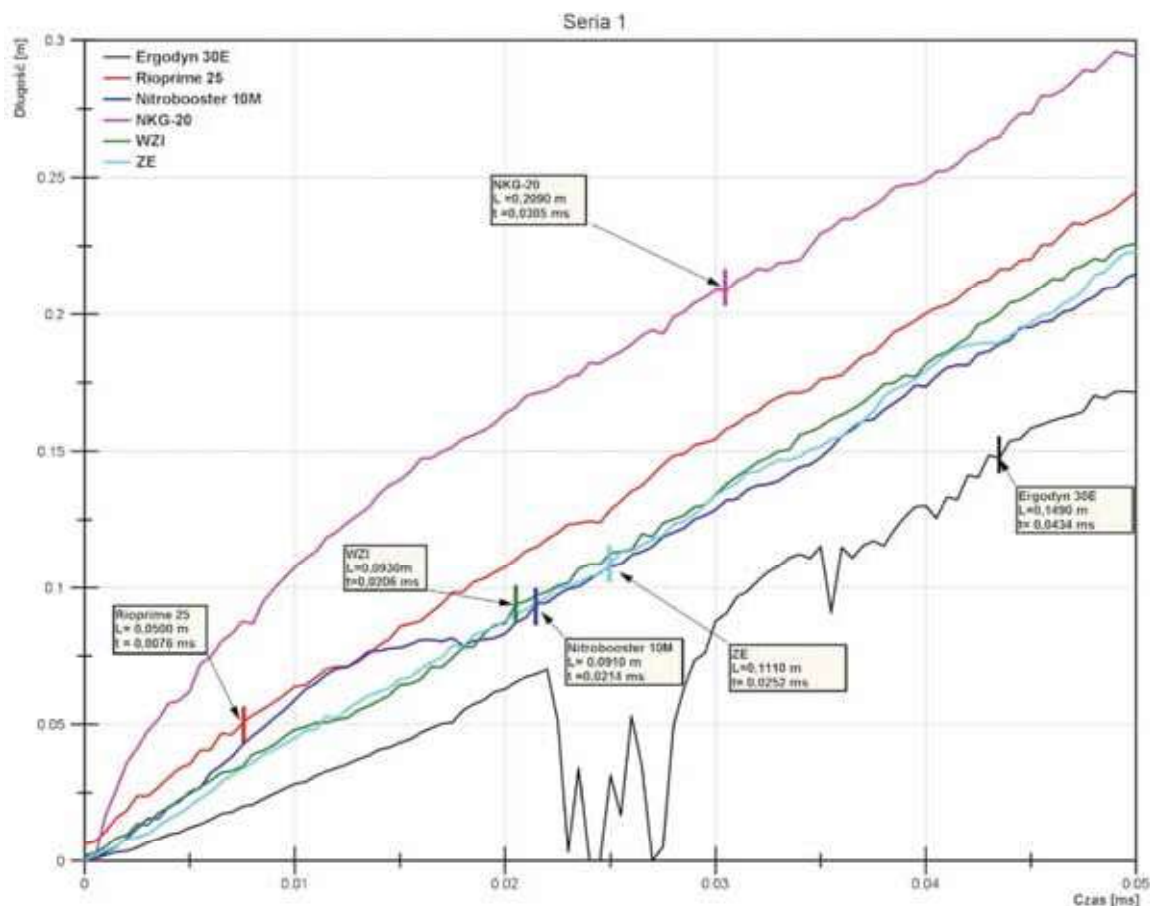
Na rys. 6-8 przedstawiono przebiegi prędkości detonacji dla poszczególnych serii pomiarowych z wyznaczonymi punktami, od których prędkość detonacji przyjmuje charakter liniowy.

Wyniki 1 serii pomiarowej potwierdziły zasadność stosowania pobudzaczy (krzywa fioletowa, czerwona i niebieska). Wysoka prędkość początkowa gwarantuje duży impuls energetyczny, co jest szczególnie ważne przy detonacji od dna otworu, gdzie potrzeba największej siły do skruszenia otaczających skał. Zdecydowanie najlepszą skuteczność przedstawia krzywa pobudzenia przy użyciu pobudzacza NKG-20, który poza największą prędkością początkową charakteryzuje się również najdłuższym odcinkiem podwyższonej prędkości sięgającym niemalże 21 cm. W przypadku inicjacji dynamitem (Ergodyn 30E) zaobserwowano problem zarówno z rozbiegiem materiału, jak i z samym przeniesieniem detonacji na dalszy ładunek. Sytuacja taka może być spowodowana

trudnościami z umieszczeniem dynamitu w załadowanej próbie, ze względu na wymiary naboju. Istnieje bowiem duże prawdopodobieństwo, że część emulsji została wyciśnięta w trakcie aplikacji naboju, co mogło skutkować pojawieniem się pęcherzy powietrza wewnątrz próby. Ostatecznie, stabilną detonację przy pobudzeniu dynamitem, osiągnięto dopiero po ok. 15 cm. Etap przeniesienia detonacji w przypadku badań obu rodzajów zapalników przyjmuje zbliżoną charakterystykę początkową, przy czym zapalnik wzmocniony zapewnił osiągnięcie stabilnej detonacji na odcinku o około 17% krótszym.

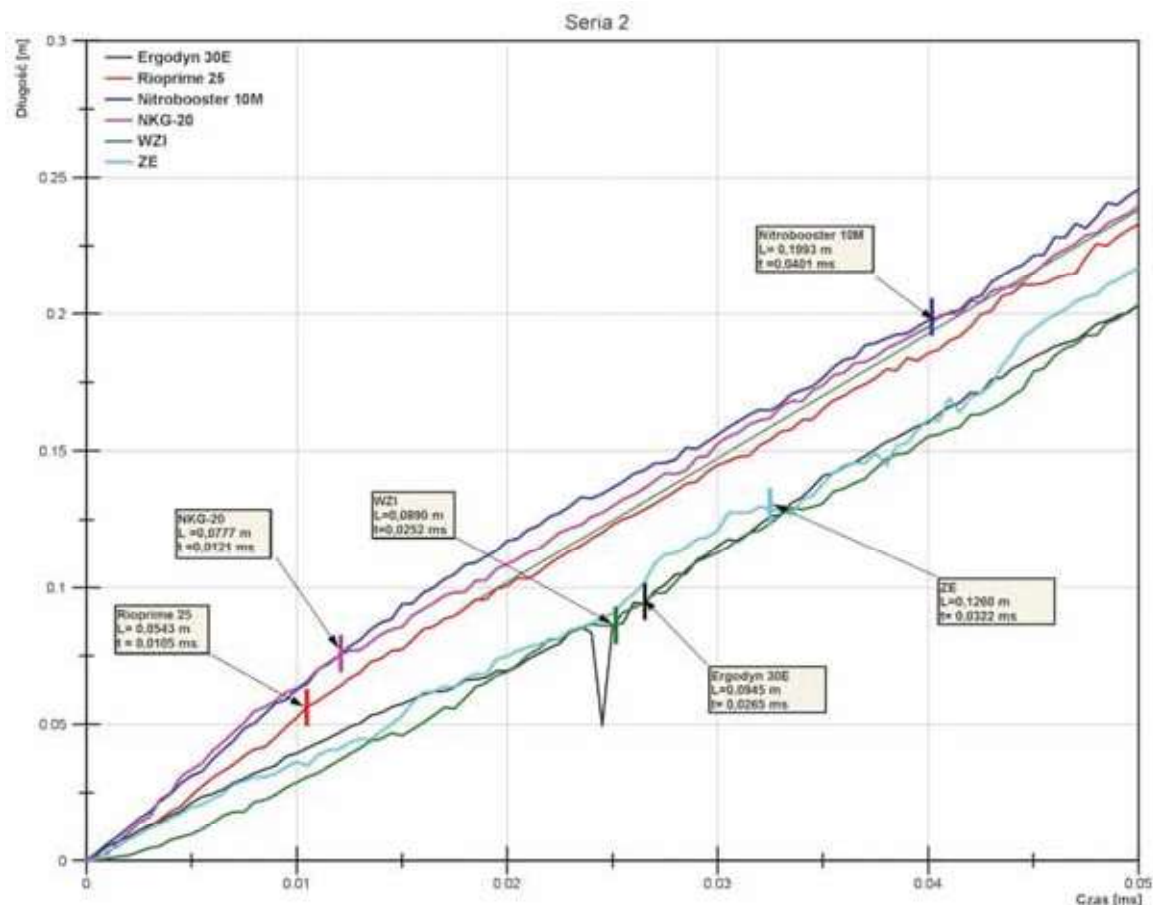
Wyniki serii 2 również wskazują na zasadność stosowania pobudzaczy. Jak widać na rys. 7, charakterystyki rozbiegu pobudzaczy NKG-20, Rioprime 25 i Nitrobooster 10M są do siebie bardzo zbliżone i w każdym przypadku zapewniają prędkość początkową większą od prędkości stabilnej detonacji. Najlepszy w tym zestawieniu okazał się Nitrobooster 10M, gdyż prędkość detonacji pobudzacza była większa od prędkości docelowej MW na odcinku obejmującym prawie 20% próbki. W przypadku pobudzenia Ergodynem, prędkość początkowa była zadowalająca, jednak ponownie zauważa się problem z przeniesieniem detonacji, przez co przebieg prędkości jest zbliżony do przebiegu krzywych opisujących inicjację samymi zapalnikami. W przypadku zapalników, podobnie jak w serii pierwszej, przebiegi są do siebie zbliżone, jednak zapalnik wzmocniony zapewnia zdecydowanie szybsze osiągnięcie detonacji stabilnej.

Ostatnia seria także potwierdza celowość stosowania pobudzaczy do inicjacji MWE luzem. Podobnie jak w poprzednich seriach pomiarowych, najlepsze charakterystyki zaobserwowano przy detonacji z użyciem pobudzaczy NKG-20, Rioprime 25 i Nitrobooster 10M. Wszystkie prze-



Rys. 6. Charakterystyki rozbiegu MW do stabilnej detonacji (1 seria)

Fig. 6. VOD characteristics of explosives initiated by different types of boosters (series 1)



Rys. 7. Charakterystyki rozbiegu MW do stabilnej detonacji (2 seria)

Fig. 7. VOD characteristics of explosives initiated by different types of boosters (series 2)

badane pobudzacze wykazały większą prędkość pobudzenia w porównaniu do prędkości detonacji stabilnej MW. W każdym z tych przypadków stabilizacja nastąpiła po ok. 15 cm. Pobudzenie przy pomocy dynamitu w ostatniej serii pomiarowej charakteryzuje istotnie większa prędkość początkową od prędkości docelowej MW. Co więcej, odcinek spowolnienia detonacji związany z jej przeniesieniem z pobudzacza na materiał wybuchowy jest niemalże niezauważalny. W ostatniej serii pomiarowej zapalniki nie zostały umieszczone w osi próby, lecz położone na jej wewnętrznej ścianie. Miało to na celu sprawdzenie czy i ewentualnie w jakim stopniu, lokalizacja środka inicjującego wpływa na etap rozbiegu MWE. Pobudzenie zapalnikiem w tym przypadku wykazało przewagę zapalnika elektrycznego skalnego nad zapalnikiem wzmacnionym. Stabilna detonacja została osiągnięta na odcinku około 2,5 razy krótszym niż zapalnik wzmacniony. Wskazuje to na konieczność podjęcia dalszych prac nad wpływem sposobu umieszczenia środka inicjującego w próbie MWE na charakterystykę rozbiegu MWE luzem.

Pomierzone wartości prędkości detonacji stosowanych pobudzaczy, wyznaczone w oparciu o równania 1÷3, przedstawiono w tab. 4. Jak z niej wynika, prędkości detonacji wszystkich przebadanych pobudzaczy są zgodne z deklaracjami producentów i charakteryzują się dużą stabilnością. Rozrzut wyników widoczny jest przede wszystkim dla Ergodynu 30E, jednak może on wynikać z problemów z centralnym umieszczeniem naboju w ładunku MWE. Z kolei do pierwszej serii badań z wykorzystaniem Nitrobooster 10M zastosowano jego pierwotną konstrukcję, tj. bez osłonki usztywniającej, podczas gdy w badaniach serii 2 i 3 wykorzystano pobudzac

po modernizacji, która była efektem spełnienia oczekiwań użytkowników i zakończyła się doposażeniem w osłonkę i korek centrujący. Dlatego też wynik pierwszej serii odbiega znacząco od pozostałych.

Tab. 4. Prędkość detonacji badanych pobudzaczy

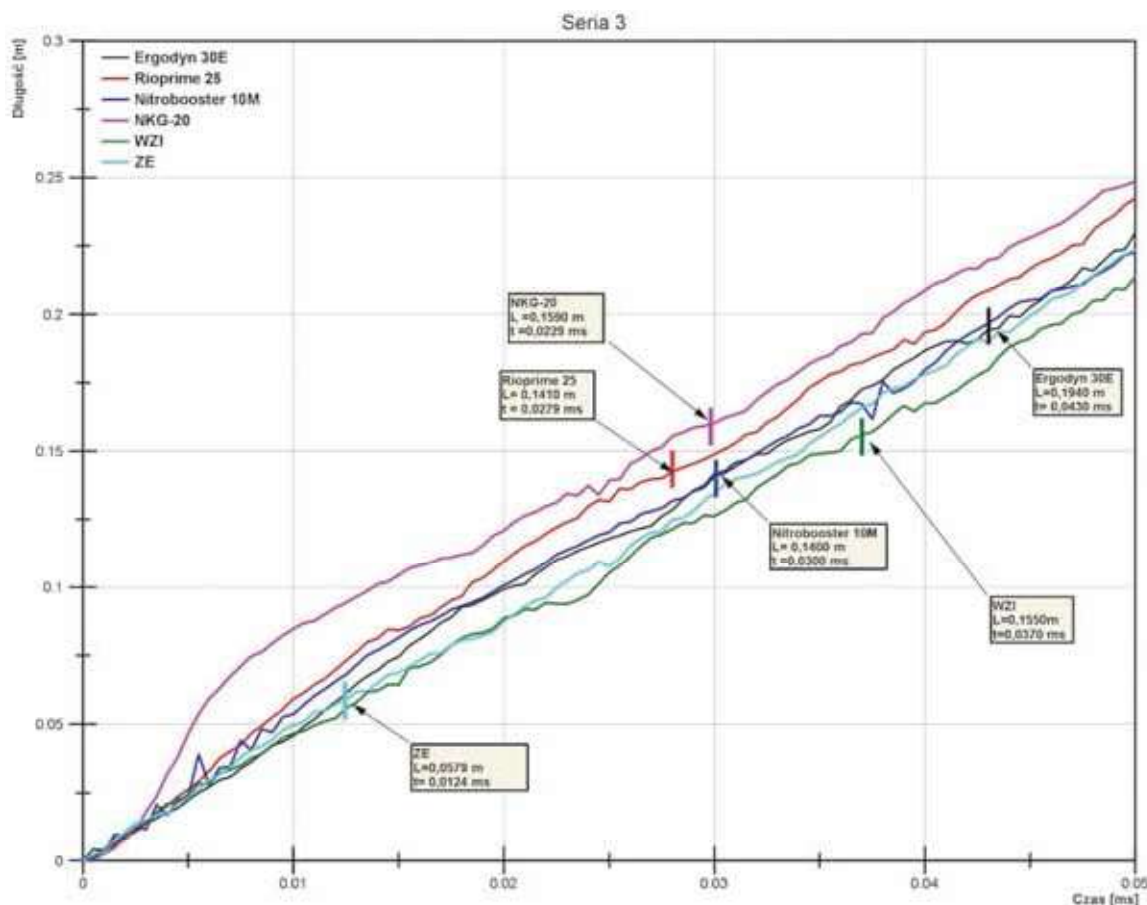
Tab. 4. Detonation velocity of the tested boosters

Typ pobudzacza	Prędkość detonacji [m/s]		
	Seria 1	Seria 2	Seria 3
Ergodyn 30E	3 450	3 700	5 070
Rioprime 25	5 540	5 430	5 520
Nitrobooster 10M	5 840	5 350	5 440
NKG-20	7 130	7 030	7 220

5. Wnioski

Wyniki pomiarów jednoznacznie wskazują na brak wpływu użytego sposobu inicjacji na prędkość detonacji materiału wybuchowego. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, nawet przy zastosowaniu samych zapalników, materiał wybuchowy Emulinit 8L osiąga swoją docelową prędkość detonacji. Różnica pojawia się natomiast w początkowym okresie tzw. rozbiegu materiału. Ważne jest aby prędkość detonacji samego pobudzacza była większa od prędkości detonacji stabilnej pobudzanego MW. W innym przypadku dodatkowe stosowanie pobudzaczy mija się z celem.

Wykonana analiza przebiegów prędkości detonacji dla poszczególnych pobudzaczy utwierdza jednak w przekonaniu



Rys.8. Charakterystyki rozbiegu MW do stabilnej detonacji (3 seria)

Fig. 8. VOD characteristics of explosives initiated by different types of boosters (series 3)

niu o istotności ich stosowania przy inicjacji MWE luzem. Stosunkowo silne pobudzenie MW zapewnia większą energię początkową wybuchu, co z kolei przekłada się na poprawę efektywności urabiania. Ponadto, stosowanie pobudzaczy zdecydowanie skraca odległość, po której materiał wybuchowy osiąga stabilną/ustaloną prędkość detonacji. Jest to związane z tym, że prędkość detonacji pobudzająca jest większa od prędkości detonacji docelowej materiału wybuchowego, co ogranicza prawdopodobieństwo powstawania fajek, czy pozostawiania resztek niezdetonowanego MW w otworze strzałowym. Z drugiej strony zaobserwowano relatywnie dobre charakterystyki pobudzenia przy zastosowaniu samych zapalników. Być może w przypadku urabiania skał o niższych parametrach wytrzymałościowych, np. piaskowców dają one wystarczające pobudzenie MWE luzem.

Na uwagę zasługują również wyniki wpływu pobudzenia MW na prędkość detonacji z wykorzystaniem dynamitu (Ergodyn 30E). Analiza wykazała dużą niestabilność prędkości na etapie pobudzenia. Nie można jednak stwierdzić jednoznacznie czy jest to kwestia jakości dynamitu, czy niedokładnego umieszczenia naboju w osi próby, podczas gdy wszystkie inne środki inicjujące były badane przy położeniu centralnym. W związku z powyższym, w celu doprecyzowania ostatecznych wniosków, koniecznym wydaje się przeprowadzenie dodatkowych badań wpływu sposobu umieszczania zapalnika/pobudzacza w kolumnie ładunku MW.

Praca została zrealizowana w ramach działalności statutowej KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe o numerze M/16/0008.

Literatura

- BILGIN A., ESEN S. 2000 – Assessment of explosive performance by detonation velocity measurement in Turkey. Proceedings of the Ninth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (eds. Panagiotou i Michalakopoulos), Athens, pp. 21-26.
- CENIAN B., MERTUSZKA P., PYTEL W. 2015 – Pilotażowe pomiary dołowej prędkości detonacji materiałów wybuchowych w warunkach kopalń KGHM. CUPRUM Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud, nr 4 (77), s. 145-157.
- CUDZIŁO S., MARANDA A., NOWACZEWSKI N., TRZCIŃSKI W. A. 1995 – Shock initiation studies of ammonium nitrate explosives. Combustion and Flame vol. 102, pp. 64-72.
- GUPTA R. N., ADHIKARI G. R., VENKATESH H. S., THERESRAJ A. I., VERMA H. K. 2001 – Evaluation of explosives performance through in-the hole detonation velocity measurement. National Institute of Rock Mechanics (India) – research work, Kolar Gold Fields.
- MERTUSZKA P., KRAMARCZYK B., CENIAN B. 2017 – Zmiany prędkości detonacji MW emulsyjnego luzem w funkcji czasu na przykładzie Emulinitu 8L. „Przeгляд Górnicy” nr 3, s. 10-14.
- MERTUSZKA P., FULAWKA K., CENIAN B. 2017 – Pomiar prędkości detonacji ładunków MW w warunkach polowych z wykorzystaniem urządzeń Explomet-Fo-2000 oraz MicroTrap™. Górnictwo Odkrywkowe (zgłoszona do druku).
- MORAWA R. 2004 – Kierunki rozwoju środków strzałowych dla poprawy bezpieczeństwa w wykonywanych pracach strzałowych. I Międzynarodowa Konferencja Naukowa IPO 2004. Materiały wybuchowe. Badania – zastosowanie – bezpieczeństwo, Ustroń – Jaszowice, 16-18 czerwca 2004.

MORAWA R., ONDERKA Z. 2013 – Górnicze środki strzałowe i sprzęt strzałowy. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna Art.-Tekst, Kraków.

PASZULA J.M., KOWALEWSKI E. 2015 – Study of the detonation development of non-ideal Explosives. High-Energetic Materials, no. 7/2015, pp. 95-105.

ŽGANEC S., BOHANEK V., DOBRILLOVIĆ M. 2016 – Influence of a Primer on the Velocity of Detonation of ANFO and Heavy ANFO Blends. Central European Journal of Energetic Materials, vol. 13 (3), pp. 694-704.

Artykuł wpłynął do redakcji – kwiecień 2017

Artykuł akceptowano do druku 15.04.2017 r.



Z głębokim smutkiem i żalem zawiadamiamy, że w dniu 29 marca 2017 roku w kopalni „Polkowice-Sierszowice” doszło do tragicznego wypadku, w wyniku którego śmierć poniósł nadsztygar techniki strzałowej – pan mgr inż. Bogusław Cenian, współautor niniejszego artykułu.

Ukochany mąż i ojciec. Wspaniały, skromny, niezwykle uczynny człowiek, kolega i przełożony. Laureat konkursu o nagrodę im. Profesora Bolesława Krupińskiego. Wybitny specjalista-praktyk w zakresie techniki strzałowej. Ratownik górniczy, wysokościowiec, uczestnik wielu wypraw, m.in. do Afganistanu i na Antarktydę. Bohater książek Aleksandra Makowskiego pt. „Tropiąc Bin Ladena” i „Zawód: szpieg”. Pozostanie na zawsze w naszej pamięci jako wzór do naśladowania.