

Wyniki prób zastosowania materiałów wybuchowych emulsyjnych Hydromite 100 i Emulexu 100 AL w KGHM Polska Miedź S.A. Oddział Zakłady Górnicze „Rudna”

Results of tests on the use of Hydromite 100 and Emulex 100 AL emulsion explosives at the Branch of the „Rudna” Mining Plant



Prof. dr hab. inż. Andrzej Maranda^{*)}



Dr inż. Barbara Gołąbek^{**)}



Mgr inż. Jacek Suszka^{**)}



Mgr inż. Jerzy Pawłowicz^{***)}

Treść: Materiały wybuchowe emulsyjne (MWE) są jednym z dominujących środków strzałowych stosowanych w kopalniach rud miedzi. W pracy przedstawiono parametry termodynamiczne i detonacyjne dwóch MWE oraz podano parametry techniczne urządzenia mieszalniczo-załadawczego UGPL-1 stosowanego podczas eksperymentów do ich produkcji i załadunku do otworu strzałowego. Opisano technologię formowania materiałów wybuchowych i wyniki prób kopalnianych.

Abstract: Emulsion explosives are one of the dominant blasting agents used in copper ore mines. The paper presents thermodynamic and detonation parameters of two emulsion explosives and technical parameters of the UGPL-1 mixing and loading device used during experiments for their production and loading into the blast hole. The technology of preparation explosives and the results of mine tests are described.

1. Wprowadzenie

Materiały wybuchowe emulsyjne (MWE) są podstawowymi środkami strzałowymi stosowanymi w kopalniach rud miedzi. MWE w porównaniu z saletrolami charakteryzują się wodoodpornością i wyższymi parametrami detonacyjnymi.

Szczegółowe dane dotyczące ich technologii otrzymywania i właściwości fizykochemicznych oraz parametrów detonacyjnych przedstawiono między innymi w monografiach (Maranda i in. 2008, Maranda 2010 i Xuguang 1994). Pomimo że materiały wybuchowe emulsyjne typu woda w oleju zostały opatentowane ponad pięćdziesiąt lat temu (Bluhm 1969), w dalszym ciągu prowadzone są badania procesu ich detonacji i parametrów wybuchowych. Bibliografia najnowszych wybranych publikacji ich dotyczących została zestawiona w pracy (Maranda i in. 2020). W artykułach przedstawiane są

^{*)} Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Przemysłu Organicznego, Warszawa

^{**)} Austin Powder Polska Sp. z o.o., Łukaszów

^{***)} KGHM Polska Miedź S.A., Lubin

również różne aspekty stosowania MWE luzem w kopalniach rud miedzi (Ostiadet, Szumny 2017, Siwulski i in. 2017, Mertuszka 2019, Mertuszka i in. 2020), a wyniki zawarte w niniejszej pracy są eksperymentalnym ich uzupełnieniem.

1. Charakterystyka MWE i modułu mieszalniczo-załadkowego UGPL-1

Celem przeprowadzenia serii prac strzałowych było uzyskanie wiedzy na temat przydatności MW luzem Hydromite 100 i Emulex 100AL do stosowania w warunkach Oddziału ZG „Rudna” i ewentualnie porównanie ich z obecnie stosowanymi w zakładzie górniczym materiałami wybuchowymi emulsyjnymi luzem, jak i nabojuwanymi. Do prób zużyto 1570 kg Emulexu 100AL i 1700 kg Hydromite'u 100, produkcji Austin Powder Sp. z o.o. W tabeli 1 przedstawiono, na podstawie broszur informacyjnych produktów, parametry termodynamiczne i detonacyjne stosowanych MWE.

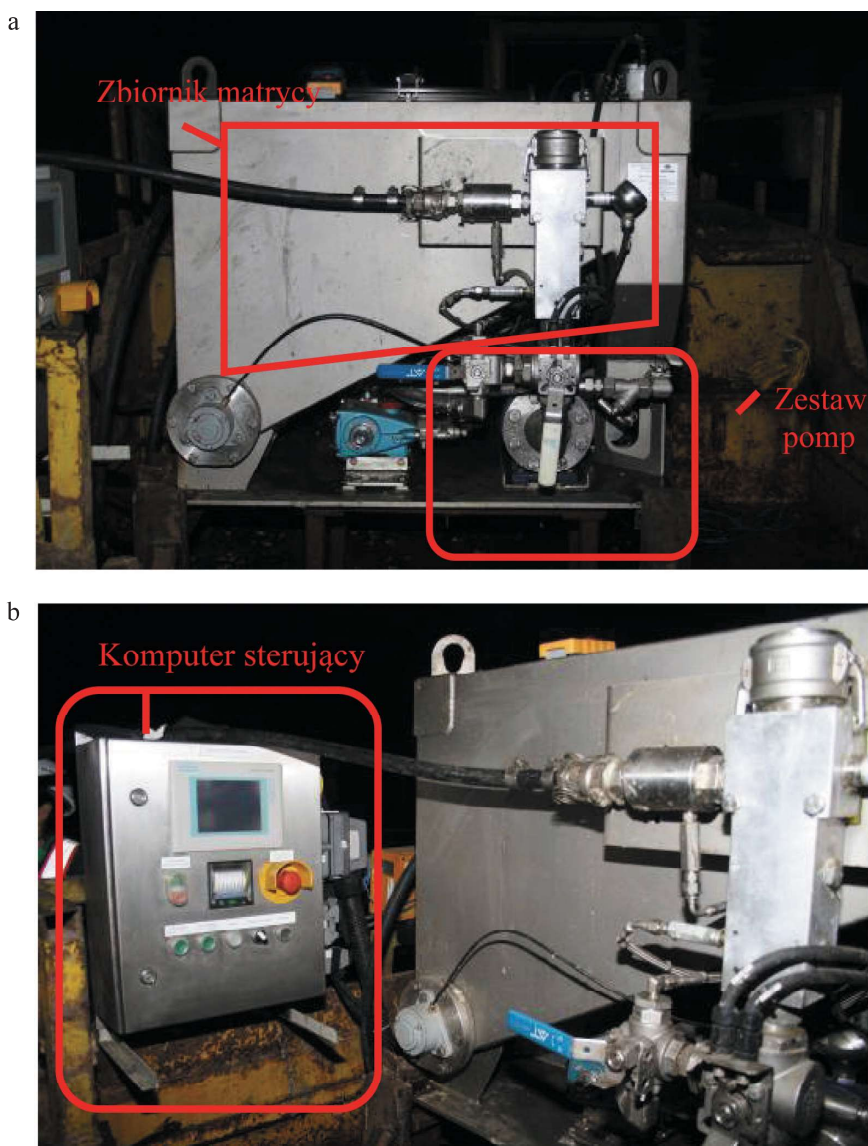
Do wytwarzania i załadunku MWE do otworów strzałowych stosowano moduł mieszalniczo-załadkowy UGPL-1. Moduł miał następujące wymiary: długość 1996 mm, wysokość 959 mm i szerokość 1040 mm. Wyposażony był w cztery pojemniki: na matrycę MWE (660 dm³) (rys. 1 rys. 3.), na wodę (44 dm³) i dwa na roztwory, uczulający i przyspieszający reakcję gazowania po 27 dm³. Maksymalna

Tabela 1. Parametry termodynamiczne i detonacyjne testowanych MWE

Table 1. Thermodynamic and detonation parameters of the tested emulsion explosives

Parametr	Emulex 100AL	Hydromite 100
Bilans tlenowy, %	-2,24	-0,8
Objętość właściwa produktów wybuchu, dm ³ /kg	895	923
Koncentracja energii, kJ/kg	3322,2	3057
Temperatura wybuchu, K	2290,8	2142
Ciśnienie wybuchu, MPa	836,3	800
Idealna praca wybuchu, kJ/kg	2527	2323
Energia właściwa, kJ/kg	760	738
Prędkość detonacji, ms	> 4800	>4000
Minimalna średnica ładunku, mm	36	

wydajność ładowania wynosiła 110 kg/min, a optymalna była w zakresie 30÷70 kg/min. Moduł oprócz wymienionych zbiorników zawierał zestaw pomp hydraulicznych (rys. 1a) do podawania matrycy i uczulacza, oraz komputer (rys. 1b) sterujący parametrami i ilością wytwarzanego MWE. Okresowo przeprowadza się kalibrację pomp wszystkich półproduktów.



Rys. 1. Elementy urządzenia mieszalniczo-załadkowego UGPL-1

Fig. 1. Elements of the UGPL-1 mixing and loading device



Rys. 2. Samojezdny wóz transportowy do przewozu materiałów wybuchowych
Fig. 2. Power truck for transporting explosives

Układ sterowniczy zbudowany jest w oparciu o jednostkę centralną Simatic S7-313C produkcji firmy Siemens pracującą wraz z panelem sterowniczym TP 177B PN/DP. System sterowania załadunkiem umożliwia szybką zmianę i rejestrację parametrów procesu załadunku. Wyłącznik awaryjny znajduje się na czołowej płycie skrzynki sterowniczej.

Napęd pomp był zasilany z silnika spalinowego samojezdnego wozu do przewozu materiałów wybuchowych SWT (rys. 2), na którego podwoziu był zamontowany moduł UGPL-1. Do załadunku MWE do otworów strzałowych stosowano węże plastikowe o średnicy 22 mm i długości około 15 m.

2. Opis technologii wytwarzania materiałów wybuchowych emulsyjnych przy użyciu modułu mieszalniczo-załadawczego UGPL-1

Matryca za pomocą ślimaka jest podawana z głównego zbiornika urządzenia o objętości 660 dm³ do pompy ładującej produktu, do której również dozowany jest opcjonalnie składnik R1 (przyspieszacz reakcji gazowania). Oba składniki zmieszane są ze sobą w mieszalniku statycznym umieszczonym w skrzynce bezpieczeństwa. Do tej mieszaniny w inżektorze wodnym dodawany jest składnik R2 (uczulacz chemiczny), który jednocześnie wytwarza w wężu załadawczym film wodny ułatwiający przepływ przez niego emulsji do otworu strzałowego. Uczulona emulsja staje się materiałem wybuchowym dopiero w czasie kilkunastu minut po załadunku otworu strzałowego. Schemat technologii wytwarzania MWE ilustruje rys. 3.

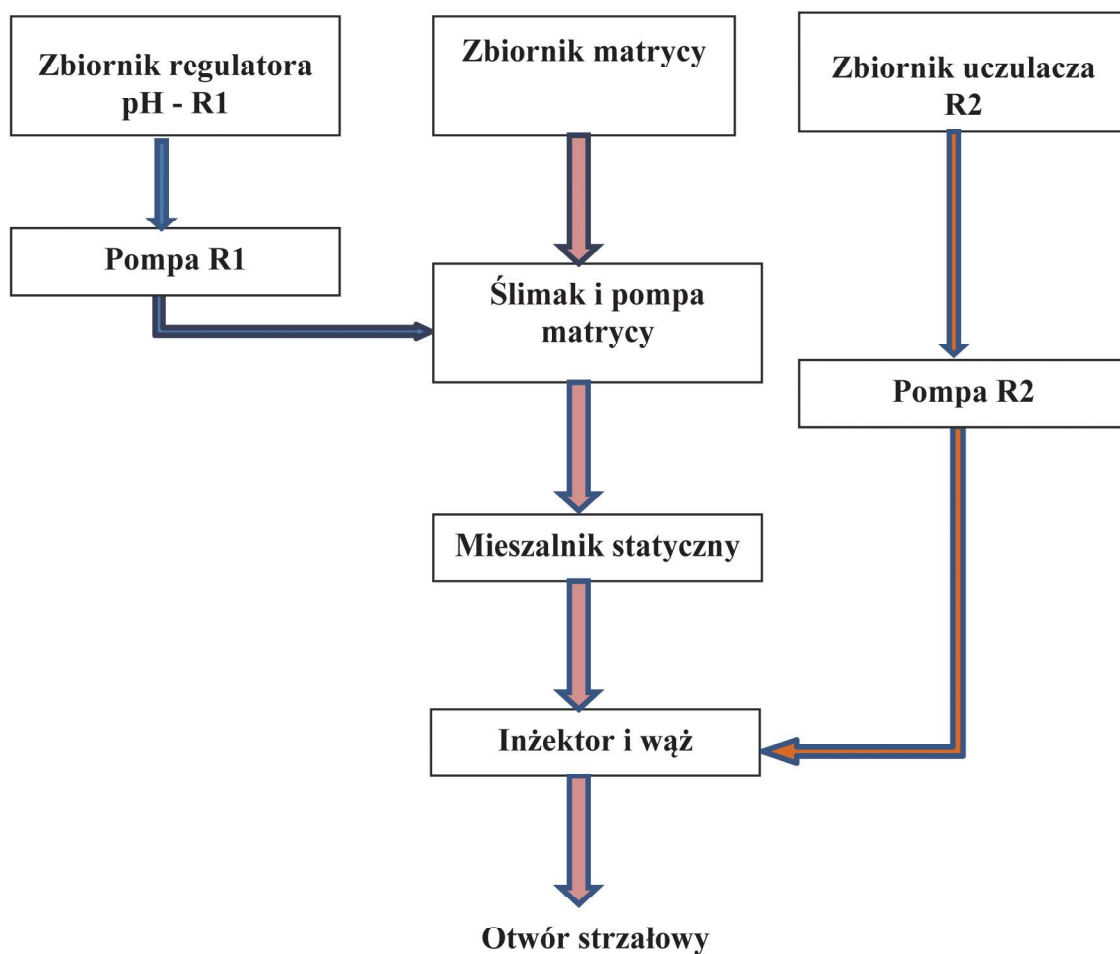
Stopień nagazowania matrycy MWE decyduje o jej gęstości, a więc również podstawowym parametrze materiałów wybuchowych – prędkości detonacji. Dlatego z końca węża pobiera się do kubka próbkę MWE i sprawdza się gęstość gotowego produktu. Na rys. 4. przedstawiono zmianę gęstości Hydromite 100 w funkcji czasu. Bardzo podobne wyniki uzyskano dla Emulexu 100AL.

Otrzymany w ten sposób materiał wybuchowy charakteryzuje się doskonałą wodoodpornością oraz znikomą ilością szkodliwych składników w gazach postrzałowych. W czasie transportu, jak i całego procesu ładowania, użyte surowce i półprodukty nie są materiałami wybuchowymi, co gwarantuje wysoki stopień bezpieczeństwa.

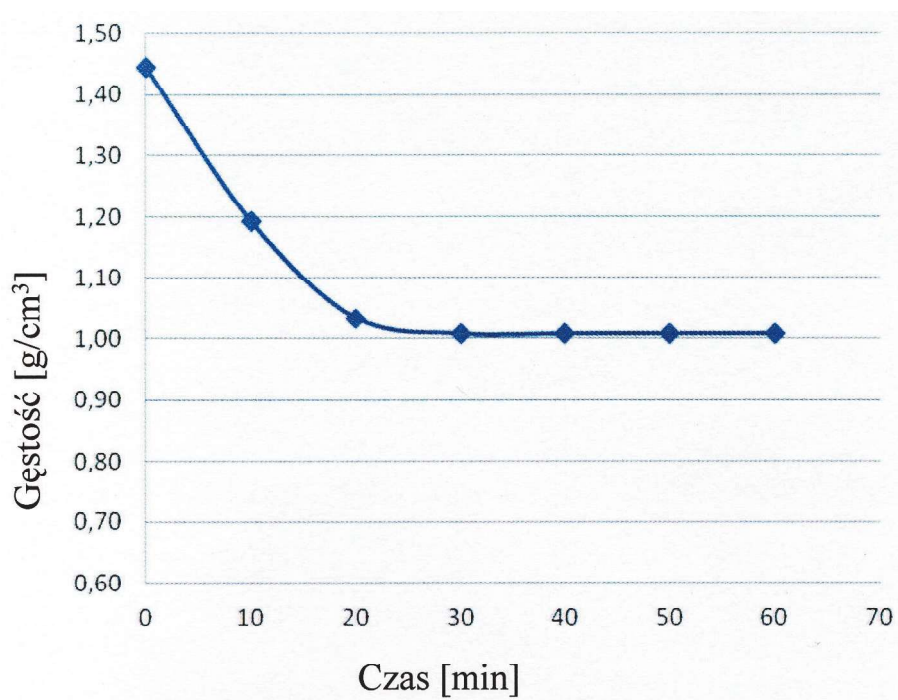
3. Wyniki prac strzałowych

Prace strzałowe wykonano w wyrobiskach chodnikowych, w skałach o dużej zwięzłości, w miejscach pozbawionych oddziaływania ciśnień eksploatacyjnych na urabialność skał. Badania przeprowadzono w wyrobiskach chodnikowych oddziałów wydobywczych G-1, G-3 i G-7 rejonu Rudna Główna. Przodki w rejonach prac strzałowych charakteryzują się znaczną zwięzłością skał i trudną urabialnością, należą do kategorii tzw. „twardych”, w przeciwieństwie do przodków na frontach eksploatacyjnych, gdzie na urabialność skał dodatni wpływ mają ciśnienia eksploatacyjne. O wyborze miejsc wykonywania prób zdecydowała nieduża (do 3,0÷3,5 m) wysokość przodków, umożliwiającą ładowanie otworów ze spągu wyrobiska. Komputerowy system sterowania załadunkiem umożliwia ścisłą ewidencję ilości załadowanego materiału (np. ilość MWE na otwór strzałowy, ilość MWE na przodek, całkowita ilość MWE załadowanego itp.).

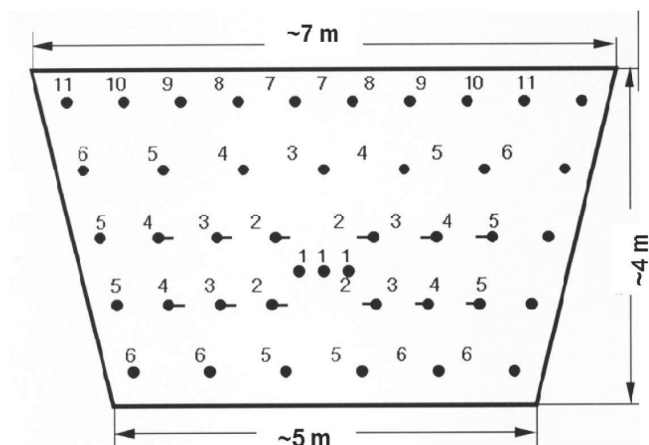
Łącznie wykonano 14 prac strzałowych w 31 przodkach, zużywając 3 270 kg MW. Do inicjowania obu rodzajów MW stosowano zarówno same zapalniki nieelektryczne, jak również zapalniki w połączeniu z pobudzacami. Schemat rozmieszczenia otworów strzałowych, według jednej z przyjętych metryk strzałowych przedstawiono na rys. 5, a liczbę zapalników przypadających na jeden stopień opóźnienia zapalnika nieelektrycznego i maksymalne załadowanie otworu strzałowego przedstawiono w tabeli 2. Wyniki prac strzałowych zestawiono w tabelach 3 i 4.



Rys. 3.. Schemat ideowy wytwarzania MW emulsyjnych przy użyciu modułu UGPL-1
 Fig. 3. Schematic diagram of the production of emulsion explosives using the UGPL-1 module



Rys. 4. Zmiana gęstości Hydromite 100 w funkcji czasu
 Fig. 4. Hydromite 100 density change as a function of time



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia otworów strzałowych
Fig. 5. Diagram of placement of shot holes

Tabela 2. Liczba zapalników na jedno opóźnienie i maksymalne obciążenie otworu strzałowego

Table 2. Amount of detonators per one delay and maximum loading of the blast hole

Sekwencja detonacji	Liczba zapalników [szt.]	Maksymalne załadowanie otworu strzałowego [kg]
1	3	2,0
2	4	3,5
3	5	3,5
4	6	3,5
5	8	3,0
6	6	3,0
7	2	2,5
8	2	2,5
9	2	2,5
10	2	2,5
11	2	2,5

Tabela 3. Zestawienie podstawowych parametrów próbných prac strzałowych z użyciem Hydromite 100

Table 3. List of basic parameters of test shootings with use of Hydromite 100

Numer odstrzału	Oddział	Nazwa przodka	Metryka strzałowa	Ilość ZN [szt.]	Masa MW [kg]	Inicjowanie	Zabiór [m]	Długość „fajek” [m]	Uwagi
1	G-3 KMC C-2	Pc-16/T-228 W-4b/K-2	2/G-3/13	40	124	Zapalnik + pobudzacz	3,0	-	Zmiażdżone końcówki otworów
			5/G-3/13	40	132		2,7÷2,8	-	
2	G-7	W-419b/E-15a	1/RG,RZ,RP/13	33	85	Zapalnik	Pełny zabiór	-	Wyrównanie przodka.
3	G-1	Pc.-13/K-7	7/RG,RZ,RP/11	42	125	Zapalnik	2,8	2x0,3	„Fajki” z resztkami MW
4	G-3	F-26b/P-2a P-1a/F-26b	1/G-3/13	40	119	Zapalnik + pobudzacz	3,0	-	Pełny zabiór
			1/G-3/13	40	117		3,0	-	
5	G-3	F-26b/P-1a F-26b/P-2a P-2/F-26b	1/G-3/13	40	107	Zapalnik + pobudzacz	2,8	2 x 0,4	Zmiażdżone końcówki otworów Pełny zabiór Pełny zabiór
			1/G-3/13	35	95		3,0	-	
			1/G-3/13	40	117		3,0	-	
6	G-3	P-1a/F-26b	1/G-3/13	40	114	Zapalnik + pobudzacz	3,0	-	Pełny zabiór
7	G-3	P-2/F-26b F-26b/W-325b	1/G-3/13	40	127	Zapalnik + pobudzacz	ok.2,9-3,0	2 x 0,2	Prawie pełny zabiór Pełne zabicie przodka
			1/G-3/13	40	132		ok.3,5	-	

Tabela 4. Zestawienie podstawowych parametrów próbných prac strzałowych z użyciem MW Emulex 100AL

Table 4. Table 3. List of basic parameters of test shootings with use of Emulex 100AL

Numer odstrzału	Oddział	Nazwa przodka	Metryka strzałowa	Ilość ZN [szt.]	Masa MW [kg]	Inicjowanie	Zabiór [m]	Długość „fajek” [m]	Uwagi
8	G-3	W-4a/K-2 W-4b/K-2	5/G-3/13	40	134	Zapalnik	3,0	-	Pełny zabiór 2 „fajki”, jedna z resztką MW
			5/G-3/13	40	132		2,8÷2,9	2x 0,2 i 0,4	
9	G-1	K-5/Pc.-4	7/RG,RZ,RP/11	42	125	Zapalnik + pobudzacz	3,0	-	Pełny zabiór
10	G-3	F-25/P-1a W-325a/F-24 P-2/F-26b	1/G-3/13	40	107	Zapalnik + pobudzacz	2,7÷2,8	4x 0,4	Mniejsza masa MW 4 „fajki” Przybierka spągu Przybierka spągu
			1/RG,RZ,RP/11	11	15		Na dł. otw.	-	
11	G-1	Pc.8/K-7 Pc.7/K-7 Pc.6/K-7	1/G-1/2014	40	126	Zapalnik + pobudzacz Zapalnik Zapalnik	2,9÷3,0	0,1	Kilka zagniecionych „fajek” dł. 0.1 m 2 „fajki” z matrycą Pełny zabiór
			1/G-1/2014	40	120		2,8÷3,0	2x 0,2	
			7/RG,RZ,RP/11	42	125		3,0	-	
12	G-1	Pc.-5/K-7 Pc.-7/K-7 Pc.-8/K-7	1/RG,RZ,RP/11	41	100	Zapalnik	Na dł. otw.	-	Przybierka spągu Pełny zabiór Pełny zabiór
			1/G-1/2014	40	117		3,0	-	
			1/G-1/2014	40	117		3,0	-	
13	G-3	W-9a/K-1 W-9b/K-1	1/RG,RZ,RP/13	37	110	Zapalnik	Na dł. otw.	-	Wyrównanie przodka Przybierka ociosu
			2/RG,RZ,RP/11	40	46		Na dł. otw.	-	
14	G-3	P-2/F-26b	1/G-3/13	40	103	Zapalnik	3,0	1x 0,1	Strzelanie porównawcze, drugi przodek załadowany Ergodynem 22E, efekty porównywalne, fot. 4



Rys. 6. Efekty strzelania porównawczego: a - Emulex 100AL, b - Ergodyn 22E, czerwonym kółkiem zaznaczono pozostałą w caliznie resztkę otworu strzałowego („fajkę”)

Fig. 6. The effects of comparative shooting: a - Emulex 100AL, b - Ergodyn 22E, a red circle marks the remnants of the unburned blast hole remaining in the rock

W trakcie przeprowadzonych prób wykonano szereg technologicznych prac strzałowych urabiających oraz korygujących geometrię przodków: przybierki ociosu lub spągu. W niektórych przypadkach pozostawały w urabianej caliznie niewielkie resztki nieodpalonych ładunków MW, tzw. „fajki”, np. odstrzały 3, 5 i 7. Miały one długość maksymalnie do 0,3 m. Najdłuższe (0,4) „fajki” stwierdzono w przypadku zmniejszenia ogólnej masy materiału wybuchowego. Zaobserwowano to zarówno dla Hydromite 100 (odstrzał 5), jak i Emulexu 100AL (odstrzał 10). W przypadku przybierki spągu czy ociosu w każdym odstrzale następowało urobienie calizny na całej długości otworu strzałowego. Również pozytywny rezultat uzyskano w ramach badań porównawczych Emulex'u 100AL i Ergodynu 22E (odstrzał 14), gdzie nie stwierdzono praktycznie żadnej różnicy w uzyskanych efektach urabiania górotworu (rys. 6.).

4. Wnioski końcowe

Podstawowe wnioski, jakie można wyciągnąć po wykonaniu serii badań, są następujące:

- technologia wytwarzania i zatłaczania MW do otworów strzałowych według systemu Austin Powder Polska Sp. z o.o. nie odbiega zasadniczo od technologii znanych i stosowanych w Oddziale ZG „Rudna”, czy innych zakładach górniczych KGHM „Polska Miedź” S.A.
- podstawowe parametry strzałowe, tj.: masa MW/otwór strzałowy, masa MW/przodek, współczynnik wykorzystania otworu, czas ładowania otworów są zadawalające i porównywalne z uzyskiwanymi dotychczas przy zastosowaniu innych systemów załadowniczych,
- praca modułu mieszalniczo-załadowniczego jest bezawaryjna, parametry wytwarzanego MW (gęstość, czas nagazowania) są powtarzalne, a precyzja w dozowaniu ładunków MW jest wysoka,
- uzyskiwaną efektywność prac strzałowych ogólnie można określić jako dobrą i bardzo dobrą, szczególnie przy stosowaniu Emulexu 100AL, który zawiera pył aluminiowy,
- zabioły przodków, granulację urobku, niezawodność detonacji, brak niewypałów w całej serii prac strzałowych należy uznać za bardzo zadawalające, szczególnie biorąc pod uwagę to, że wszystkie wykonano w przodkach wyrobisk chodnikowych, o dużej zwięzłości skał,
- oba rodzaje testowanych MW jednakowo skutecznie detonują zarówno od zwykłego zapalnika, jak i zapalnika z pobudzaczem wybuchowym,

- strzelanie dwóch „jednakowych” przodków załadowanych Ergodynem 22E i Emulexem 100AL, przy zastosowaniu takiej samej masy MW, dały porównywalne, zadawalające efekty, przy czym granulacja urobku w przodku załadowanym Emulexem 100AL była mniejsza, niż w przypadku przodka odpalanego dynamitem,
- zmniejszenie masy MW, w stosunku do zakładanej w metryce strzałowej, każdorazowo skutkowało powstawaniem „fajek” lub zmiażdżonych końcówek otworów.

Literatura:

- BLUHM H.F. 1969 - Ammonium nitrate emulsion blasting agent and method of preparing same. Pat. USA 3447978.
- MARANDA A., GOŁĄBEK B., KASPERSKI J. 2008 - Materiały wybuchowe emulsyjne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- MARANDA A. 2010 - Przemysłowe materiały wybuchowe. Wydawnictwa Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa.
- MARANDA A., GOŁĄBEK B., RINK P. 2020 - Analiza parametrów detonacyjnych oraz właściwości fizykochemicznych saletroli i materiałów wybuchowych emulsyjnych w aspekcie potencjalnego oddziaływania na środowisko. „Przemysł Chemiczny” nr 1, s. 81-86.
- MERTUSZKA P. 2019 - Materiały wybuchowe emulsyjne w polskim górnictwie rud miedzi. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- MERTUSZKA P., KONDOL P., PAWŁOWICZ J., BARAN W., DULKO T. 2020 - Urabianie złóż materiałami wybuchowymi w kopalniach rud miedzi LGOM. „Przeгляд Górniczy” nr 1, s. 27-35.
- OSTIADEL W., SZUMNY M. 2017 - Stosowanie materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem w kopalniach rud. „Przeгляд Górniczy” nr 3, s. 77-82.
- SIWULSKI T., PAWŁOWICZ J., MAĆKOWIAK Z. 2017 - Zasadność kontynuacji prac rozwojowych systemów zdalnego załadunku otworów strzałowych materiałem wybuchowym. „Przeгляд Górniczy” nr 3, s. 67-70.
- XUGUANG W. 1994 - Emulsion explosives. Metallurgical Industry Press, Beijing.

Artykuł wpłynął do redakcji – lipiec 2020

Artykuł akceptowano do druku – 18.08.2020