

Krzysztof Pietkiewicz, Emilian Janusz**

NOWOCZESNE TECHNOLOGIE MECHANICZNEGO ZAŁADUNKU MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH W GÓRNICTWIE PODZIEMNYM I ODKRYWKOWYM

1. Wprowadzenie

Rozwój technologii mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych (MW) rozpoczął się w latach 60. ubiegłego wieku, od czasu wynalezienia MW zawieszonych. Od tej pory wprowadzono na rynek wiele nowych odmian MW, w większości przeznaczonych właśnie do mechanicznego załadunku. Wraz z wprowadzaniem nowych MW następował rozwój technologii służących do ich załadunku oraz jednocześnie do produkcji i załadunku. W artykule opisano te systemy mechanicznego załadunku, które są aktualnie dostępne na rynku, natomiast pominięto te technologie, które zostały już wycofane. Nacisk położono na systemy załadunku emulsyjnych MW luzem, przeznaczonych dla górnictwa podziemnego, gdyż są one mniej znane polskiemu czytelnikowi, a przez to bardziej interesujące od systemów przeznaczonych do załadunku MW typu ANFO bądź MW nabożowanych, które także zostały w niniejszym artykule opisane.

Długoletnia praca ośrodków badawczych zaowocowała przede wszystkim powstaniem wielu systemów, różniących się od siebie odmianą MW, do którego produkcji i ładowania są przeznaczone, technologią produkcji oraz podwoziem, predysponującym dany system do pracy w określonych warunkach górniczych. Bardzo ważną cechą jest zasilanie, jakiego wymaga dane urządzenie, a które nie zawsze jest dostępne bądź uważane jest przez dany zakład górniczy za mniej dogodne.

Poniżej zaproponowano klasyfikację, która ułatwi mniej zorientowanemu czytelnikowi dalszą lekturę artykułu, gdyż ten ramowy podział uwypukla podstawowe różnice pomiędzy wszystkimi przedstawionymi systemami.

Podział ze względu na postać materiału wybuchowego

- MW luzem,
- MW nabożowane.

* Dyno Nobel Poland Sp. z o.o., Wrocław

Podział ze względu na rodzaj materiału wybuchowego

- MW emulsyjne,
- MW typu ANFO,
- inne MW.

Podział za względu na przeznaczenie

- górnictwo podziemne,
- górnictwo odkrywkowe,
- górnictwo podziemne i odkrywkowe.

2. Systemy mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem

2.1. System UBS

System UBS (Underground Bulk System) (rys. 1) został wdrożony do stosowania 14 lat temu przez African Explosives Limited (AEL). W ciągu ostatnich kilku lat, głównie dzięki swojej prostocie, system znacznie zyskał na popularności. Aktualnie ponad 100 urządzeń opartych na systemie UBS jest wykorzystywanych w południowej Afryce, również w Australii trwają prace nad wdrożeniem tego systemu na szerszą skalę.

W oparciu o wcześniej zaproponowaną klasyfikację system UBS jest systemem służącym do produkcji i załadunku emulsyjnych materiałów wybuchowych luzem, przeznaczonym dla górnictwa podziemnego. System cechuje się prostą budową, a zatem łatwą obsługą i niską awaryjnością. Podstawowymi elementami systemu są zbiorniki na matrycę emulsji, chemiczny uczulacz oraz wodę, pompa tłokowa matrycy emulsji, pompa dozująca chemiczny uczulacz, pompa dozująca wodę oraz mikser. Gabaryty urządzenia predysponują go do pracy w wyrobiskach korytarzowych o wysokości furty około 1,8 m.

Jednym z podstawowych parametrów każdego MW jest jego gęstość (g/cm^3). Ma ona wpływ przede wszystkim na zachowanie się materiału w środowisku zawodnionym, siłę oddziaływania na ośrodek skalny, a także często na cenę (koszt ponoszony przez odbiorcę). Na gęstość MW emulsyjnych luzem wpływ ma natomiast chemiczny uczulacz, tzn. jego rodzaj (właściwości) oraz ilość, w jakiej zostanie dodany do matrycy emulsji.

W przypadku systemu UBS nie ma możliwości regulacji gęstości poprzez zmianę ilości dodawanego chemicznego uczulacza, gdyż pompa dozująca pracuje z niezmienną wydajnością. Zmiana gęstości materiału jest możliwa tylko przez wymianę pompy na inną. Stała gęstość MW może być traktowana w niektórych przypadkach jako wada, gdyż brak możliwości jej zmiany uniemożliwia optymalny dobór parametrów MW dla danych warunków urabiania. Jednak w praktyce, gdy urządzenie pracuje w jednym zakładzie górniczym charakteryzującym się względnie niewielką zmiennością urabianej skały, gęstość jest ustawiana na jedną stałą wartość i nie jest zmieniana przez dłuższy okres pracy urządzenia. Należy pamiętać, że zmiana gęstości MW ma bardzo duży wpływ na końcowy rezultat strzelania,

w związku z czym powinien o tym decydować wykwalifikowany i doświadczony personel, a zmianę jej wartości przeprowadzać po dokładnym przeanalizowaniu korzyści mających z niej wyniknąć.



Rys. 1. System UBS [2]

Urządzenie cechuje się prędkością załadunku wynoszącą 50 kg/min i umożliwia również załadunek otworów w stropie o średnicy do 102 mm. Urządzenie wymaga zasilania hydraulicznego lub hydraulicznego zasilanego elektrycznie. Urządzenie może być montowane na stałe na podwoziu wozu górniczego bądź dowożone na miejsce pracy za pomocą samochodu typu pick-up, ładowarki itp.

Nieuczulona matryca emulsji posiada gęstość $1,45 \text{ g/cm}^3$. Okres przydatności do użycia wynosi 12 tygodni od daty produkcji. Po załadunku do otworów gęstość spada do około $1,00 \text{ g/cm}^3$. System UBS nie pozwala ładować otworów techniką „string loading”, o której szerzej napisano przy okazji omawiania pozostałych systemów. Średnica krytyczna otworu strzałowego, poniżej której istnieje ryzyko deflagracji, wynosi 19 mm. Zalecane średnice, przy których ładowanie odbywa się najefektywniej, to 32÷45 mm. Proces chemicznego uczulania kończy się 10 minut po załadunku emulsji do otworu strzałowego, kiedy to staje się ona materiałem wybuchowym. Kontrola gęstości powinna odbyć się przed każdą zmianą roboczą. Gęstość matrycy można zbadać, ważąc niewielką ilość uczulonej emulsji na wadze lub za pomocą odpowiednich przyrządów pomiarowych. Mając pewność, że uczulona emulsja posiada odpowiednią gęstość, dalsza kontrola odbywa się już podczas załadunku i polega na kontrolowaniu ciśnienia podawania pompy tłokowej i ciśnienia pompy chemicznego uczulacza. Kontrola ilości załadowanego do otworu strzałowego MW może odbywać się za pomocą oznaczenia na wężu lub z użyciem licznika zamontowanego na urządzeniu, pozwalającego odmierzyć odpowiednią ilość MW, która ma zostać załadowana do otworu strzałowego.

Na teren zakładu emulsję dowozi się zazwyczaj w 20-tonowych zbiornikach, a następnie przepompowuje się do mniejszych zbiorników, zazwyczaj o wadze 1 tony, i dostarcza w miejsce tymczasowego składowania. Chemiczny uczulacz dowozi się od razu w zbiornikach

o masie 1 tony. Co ważne, matryca — w myśl przepisów transportowych — nie jest materiałem wybuchowym i została zaklasyfikowana do klasy 5.1 (wg ADR). Chemiczny uczulacz nie jest w ogóle traktowany jako materiał niebezpieczny.

Szkolenie operatorów trwa 5 dni, a przeglądy okresowe urządzenia należy wykonywać co 3 miesiące.

2.2. System SSE (w tym Mini-SSE)

System SSE (Site Sensitized Emulsion) służy do produkcji i załadunku emulsyjnych materiałów wybuchowych luzem i, w odróżnieniu od wcześniej opisywanego, jest przeznaczony dla górnictwa podziemnego i odkrywkowego.

System SSE dedykowany jest do pracy w przodkach podziemnych wyrobisk korytarzowych, do ładowania otworów skierowanych w dół i w górę oraz w odkrywkowych zakładach górniczych. Podobnie jak w systemie UBS, ładowana emulsja jest uczulana dopiero w trakcie załadunku do otworów strzałowych i staje się MW już po 5 minutach. Matryca emulsji nie jest materiałem wybuchowym i — w myśl przepisów kwalifikuje się do klasy 5.1.

W najprostszym układzie system składa się z jednego wozu, dwóch zbiorników kontenerowych oraz dwóch pomp do matrycy emulsji i chemicznego uczulacza. Komponenty są produkowane przez Dyno Nobel i jako gotowe produkty są transportowane w pobliże miejsca prowadzenia robót strzałowych (teren zakładu górniczego), gdzie są składowane. Do transportu emulsji wykorzystuje się wyposażony w pompę samochód ciężarowy — cysternę, uczulacz natomiast dowozi się w specjalnych kontenerach o pojemności 1000 litrów. Oba składniki mogą być przechowywane w takich samych warunkach jak saletra amonowa, z zastrzeżeniem, że temperatura wokół zbiorników nie może spaść poniżej 10°C.

Przed rozpoczęciem załadunku oba komponenty oraz wodę (służy tylko do przepłukiwania układu) przepompowuje się do wozu SSE, który dostarcza je na miejsce załadunku. Przygotowana w wytwórni matryca emulsji składa się z dwóch podstawowych komponentów: roztworu saletry amonowej i oleju, które dzięki emulgatorowi i odpowiedniemu procesowi produkcji tworzą emulsję typu „woda w oleju” o gęstości ok. 1,4 g/cm³. Podczas ładowania chemiczny uczulacz zostaje wmieszany do matrycy emulsji i rozpoczyna się proces jej uczulania, następuje redukcja gęstości matrycy, a po kilku minutach matryca staje się MW. Aktualnie dostępne są dwa podstawowe typy wozów: SSE oraz wersja Mini-SSE.

Typ I

W pierwszym z nich instalacja do produkcji i załadunku MW zabudowana jest na podwoziu Scania 93M, którego wymiary i wyposażenie umożliwiają pracę w tunelach lub większych wyrobiskach korytarzowych (min. 4,50 m). Pojazd ten może poruszać się po drogach publicznych oraz dostarczać materiał do górniczych zakładów odkrywkowych. Ten typ wozu wyposażony jest dodatkowo w wysięgnik, dzięki któremu możliwe jest ładowanie otworów w wysokich przodkach tunelu bądź kopalni (rys. 2). Zasięg pracy wysięgnika pozwala ładować otwory rozmieszczone na powierzchni do 100 m². Ilość MW, jaką można załadować tego typu wozem, to 2,3 tony. Wóz posiada również zwijarkę węża umieszczoną przy koszu wysięgnika oraz przewód zasilania elektrycznego o długości 100 m.



Rys. 2. System SSE typ I [3]

Typ II

W warunkach, które np. uniemożliwiają szybki i łatwy wyjazd wiertnicy z przodka, stosowany jest drugi typ wozu SSE (rys. 3), również zamontowany na podwoziu Scania 93M. Odpowiednia konstrukcja wozu (m.in. brak wysięgnika) umożliwia łatwy załadunek zza wiertnicy. Zwijarka węża może w tym przypadku być umieszczona na wysięgniku urządzenia wierzącego. Ilość MW, jaką można załadować tego typu wozem, to w zależności od jego wersji nie mniej niż 7 ton. Budowa wozu predysponuje go do załadunku otworów strzałowych przede wszystkim na powierzchni, ale także pod ziemią.



Rys. 3. System SSE typ II [3]

Typ III

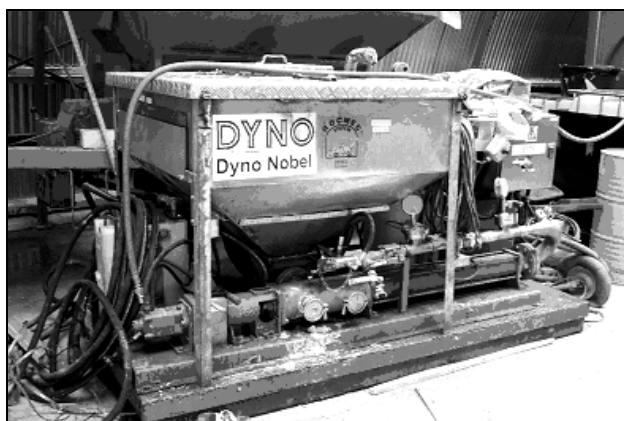
Wersja Mini systemu SSE różni się od dwóch pozostałych systemów gabarytami oraz tym, że jest ona generalnie przeznaczona do montażu na posiadanych przez zakład górniczy pojazdach (rys. 4). Urządzeniem w wersji Mini-SSE zastępuje się posiadane instalacje do załadunku MW typu ANFO. Takie cechy umożliwiają użytkownikowi zmianę posiadanego systemu załadunku ANFO na nowoczesny system załadunku materiału wybuchowego emulsyjnego przy niewielkim nakładzie kosztów.



Rys. 4. Urządzenie Mini-SSE zamontowane na podwoziu wozu typu DC17B z wysięgnikiem W46 [3]

System Mini-SSE jest wyposażony w jedną sterowaną radiowo linię ładującą — wąż, obsługiwany przez jedną pompę (w przeciwieństwie do wersji SSE typ I i II, posiadających dwie niezależne linie ładujące). Kontrola i zapis parametrów odbywają się w identyczny sposób jak w podstawowym systemie SSE, tzn. z wykorzystaniem systemu komputerowego. Niedawno wdrożono inną odmianę wersji Mini-SSE, która nie posiada komputerowego systemu sterowania (rys. 5) i której obsługa odbywa się za pomocą dźwigni mechanicznych. Ta wersja, w przeciwieństwie do pozostałych, nie jest wyposażona w sterujący komputerowy panel dotykowy (LCD). Jej zaletą jest mniej skomplikowana obsługa, mniejsza wrażliwość na niezamierzone uszkodzenie oraz niższe koszty eksploatacji.

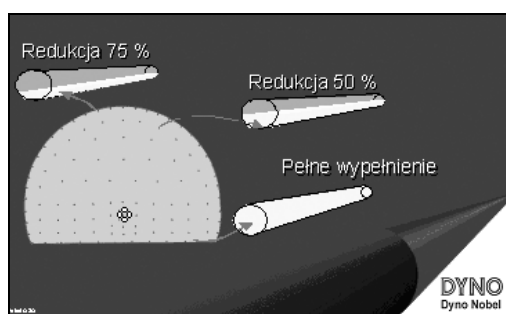
Wszystkie wersje systemu SSE są łatwe w obsłudze i posiadają dwie niezależnie pracujące linie ładujące (oprócz Mini-SSE). Obsługa ładowania (funkcje „start” i „stop” oraz regulacja prędkości ładowania) odbywa się drogą radiową. Wydajność ładowania wynosi maksymalnie około 70 kg/min. Urządzenia mogą być zasilane z silnika pojazdu lub elektrycznie, poprzez podłączenie do sieci zasilania elektrycznego. Wozy SSE spełniają wysokie standardy bezpieczeństwa, cechują się wysoką niezawodnością i dokładnością załadunku. Kontrolujący załadunek system komputerowy współpracujący z pompami pozwala na precyzyjny załadunek poszczególnych otworów, nadzoruje cały proces załadunku oraz rejestruje wszystkie parametry, umożliwiając w ten sposób wydruk gotowych raportów i ich archiwizowanie.



Rys. 5. Urządzenie Mini-SSE w wersji bez komputerowego sterowania [2]

Przed załadunkiem można zaprogramować ilość MW, jaką należy załadować do poszczególnych otworów, przy czym dla każdego otworu może to być inna wartość.

Głównymi zaletami systemu SSE jest bardziej uproszczona logistyka (tylko dwa surowce do produkcji), wzrost bezpieczeństwa oraz możliwość dostosowania parametrów produktu do różnych wymagań stawianych przez odbiorcę. Poprzez dodanie odpowiedniej ilości czynnika gazowego (uczulacza) można regulować gęstość produktu. Jest to bardzo przydatne z uwagi na możliwość optymalizacji jego właściwości dla poszczególnych typów skały i zastosowań (zmiana wielkości ładunku jednostkowego) niemalże w trakcie załadunku. Dzięki komputerowej kontroli i sterowaniu procesem załadunku możliwe jest ładowanie otworów strzałowych tak, aby niektóre z nich były ładowane tylko częściowo (w przekroju poprzecznym otworu) — technika załadunku o nazwie „string loading” (rys. 6). W ten sposób, dzięki redukcji ładunku przypadającego na jeden metr otworu, np. w otworach stropowych lub ociosowych, uzyskujemy lepszą ochronę stropu i ociosów. Dodatkowym atutem systemu SSE jest również to, że konstrukcja pojazdów może być dostosowana do indywidualnych potrzeb klienta.



Rys. 6. Technika „string loading” [3]

2.3. System DynoMiner

System DynoMiner jest kolejnym systemem mechanicznego załadunku MW emulsyjnych luzem przeznaczonym dla górnictwa podziemnego. System jest aktualnie wykorzystywany przez Dyno Nobel North America. Ideą jego twórców było opracowanie i wdrożenie w kopalniach podziemnych na szeroką skalę MW emulsyjnych, ładowanych mechanicznie i uczulanych chemicznie bezpośrednio przed załadunkiem do otworów strzałowych, ale z urządzenia zasilanego z innego źródła niż dotychczas stosowane systemy. System DynoMiner został skonstruowany tak, aby mógł być zasilany z istniejącego już w kopalniach podziemnych układu zasilania sprężonym powietrzem i wykorzystywać nowoczesną pompę membranową. System nie wymaga innego, dodatkowego zasilania sieciowego. Charakteryzuje się cichą pracą, wymaga krótkiego przeszkolenia dla obsługi oraz nieskomplikowanej konserwacji.

System DynoMiner wykorzystuje specjalnie opatentowaną do pracy z matrycą emulsji pompę membranową. Woda i chemiczny uczulacz znajdują się w zbiornikach urządzenia i są dozowane do produktu pod odpowiednim ciśnieniem. System jest sterowany pneumatycznie. Wartości ciśnień roboczych wskazują mierniki ciśnieniowe. Podstawowymi elementami składowymi urządzenia są: zbiornik na wodę, pompa membranowa, zbiornik na uczulacz, układ sterowania, zbiornik na emulsję, akumulator zasilający układ sterowania oraz zwijarka węża.

System jest zasilany pneumatycznie i jest uzależniony od ciągłości zasilania powietrzem. Zalecane minimalne ciśnienie robocze powietrza to $4,9 \div 5,6$ bar.

Załadunek emulsyjnych MW za pomocą systemu DynoMiner umożliwia ustawienie gęstości produkowanego MW w szerokim zakresie. Zakres gęstości ładowanej emulsji podano w dalszej części artykułu. Minimalna średnica otworu strzałowego wynosi 20 mm. MW powinien być inicjowany ładunkiem udarowym składającym się z zapalnika nieelektrycznego typu NONEL i odpowiedniego pobudzacza, podobnie zresztą jak w przypadku wcześniej opisywanych systemów.

Chemiczny uczulacz znajduje się w małym zbiorniku, skąd pod ciśnieniem dozowany jest do emulsji. Uczulacz dodaje się do emulsji na ostatnim etapie produkcji materiału wybuchowego. Emulsja staje się MW po około 20 minutach od momentu załadowania jej do otworów strzałowych. Gęstość produkowanego MW nie powinna różnić się od wartości nominalnej (zadanej) o więcej niż $0,04 \text{ g/cm}^3$. Celem uzyskania różnych wartości intensywności strumienia chemicznego uczulacza zastosowano pięcioprozowny zawór kulkowy, którego zasada działania opiera się na zmianie wielkości kryzy na wyjściu zaworu. Regulator stosowany w urządzeniu pozwala na uzyskanie pięciu ustawień gęstości MW w otworze, tj. od $0,80$ do $1,15 \text{ g/cm}^3$, oraz umożliwia również załadunek gotowej uczulonej emulsji.

Wydaje się, że aktualnie nie ma potrzeby, aby za pomocą Systemu DynoMiner łączyć otwory ze zmniejszonym stopniem wypełnienia otworu MW (tzw. „string loading”), gdyż podobny efekt końcowy można uzyskać, stosując zmienne wartości gęstości MW.

Zaleca się, aby przed załadunkiem dokonać kontroli gęstości poprzez pobranie i zważenie próbki MW. Po zważeniu materiał może być z powrotem dodany do zbiornika. Po za-

kończeniu ładowania nie pozostaje żadna liczba niewykorzystanego MW, gdyż dodawana w nieco większej ilości woda przy ładowaniu ostatnich 3–4 otworów eliminuje problem pozostawiania MW w instalacji i w wężu.

Urządzenie jest wyposażone w licznik obliczający ilość kilogramów MW pompowanego przez pompę, który funkcjonuje w oparciu o impulsy pracy pompy. Zliczona wartość jest podawana po zakończeniu ładowania. W przyszłości dostępny będzie również układ podający bardziej szczegółowe informacje o pompowanym produkcie, bazujący na zliczaniu kilogramów ładowanego MW. Liczniki urządzenia zasilane są z akumulatorów. Akumulatory muszą być ładowane raz w tygodniu, a dostęp do nich jest bardzo wygodny.

Emulsja jest aktualnie dostarczana na teren kopalni w 20-tonowych zbiornikach, składowanych później na powierzchni. Pod ziemię jest opuszczana w zbiornikach 1-tonowych. Zbiorniki mogą być wyposażone w dodatkowe pompy ułatwiające przeładunek emulsji. Wielkość zbiorników może być dostosowana do potrzeb odbiorcy.

Obsługa urządzenia jest bardzo prosta, co wynika m.in. z rodzaju zasilania (pneumatyczne). Szkolenie pracownika trwa około 2 dni (dla gotowej uczulonej emulsji). Przyjęto, że systemy ładujące gotową uczuloną emulsję obsługuje personel klienta lub personel Dyno Nobel, natomiast systemy uczulające emulsję są obsługiwane tylko przez pracowników Dyno Nobel.

Liczba czynności konserwacyjnych jest bardzo ograniczona i wynika z prostej budowy urządzenia. Nie ma specjalnych wymogów odnośnie komory remontowej, w której miałyby odbywać się konserwacje urządzenia. Raz w roku przeprowadza się szczegółową kontrolę pracy pompy membranowej, głównie w celu odkrycia ognisk korozji. W celu dodatkowego nawilżania instalacji można okresowo stosować oliwienie oraz kontrolować stan filtrów.

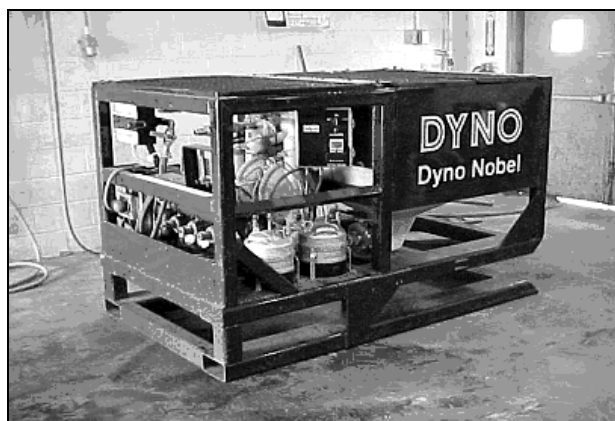
System DynoMiner jest bardzo łatwy w użyciu, zasada jego obsługi jest zbliżona do obsługi urządzeń służących do pneumatycznego załadunku MW typu ANFO. System DynoMiner powinien być dostosowany do posiadanego przez zakład górniczy systemu zasilania powietrzem, który musi spełniać wymogi zachowania odpowiedniej wartości ciśnienia i stabilności jego strumienia. Układ sterujący urządzenia umożliwia dostosowanie parametrów MW (gęstości) i prędkości załadunku do potrzeb występujących przy różnych robotach strzałowych.

Urządzenie dostępne jest w dwóch wersjach: APS Drifter i APS Stoper.

APS Drifter

Zalecany przede wszystkim do ładowania poziomych otworów strzałowych w przodkach wyrobisk korytarzowych, gdzie wymagana jest względnie mała ilość MW przypadająca na jeden przodek. Wydajność urządzenia dla ciśnienia zasilającego o wartości 6 bar oraz węża o długości 5÷6 m i średnicy 20÷25 mm wynosi około 50÷60 kg/min. Oczywiście, krótszy wąż i wyższe ciśnienie zwiększają wydajność urządzenia.

Wymiary: szerokość — 1300 mm, długość — 2160 mm, wysokość — 1400 mm, waga pustego urządzenia — 1450 kg, pojemność zbiornika emulsji — 550 litrów (rys. 7).



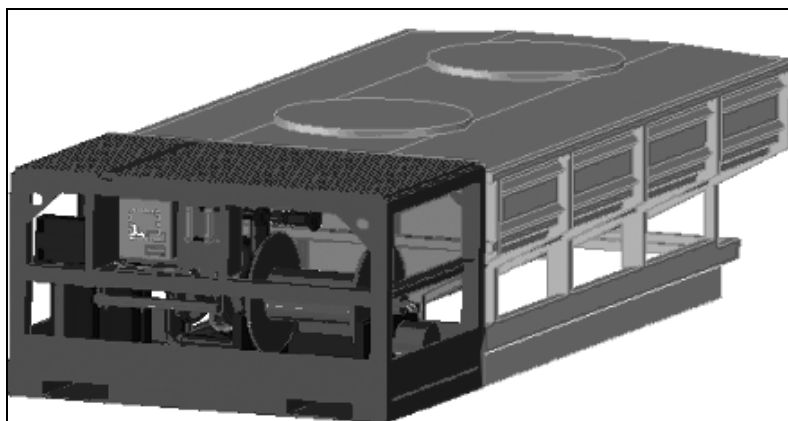
Rys. 7. System DynoMiner APS Drifter [4]

APS Stoper

Zalecany do ładowania otworów strzałowych w wyrobiskach górniczych o większych rozmiarach lub jednorazowo większej liczbie przodków. Wydajność urządzenia dla ciśnienia zasilającego o wartości 6 bar oraz węża o długości 40 m i średnicy 25 mm wynosi około 60÷65 kg/min.

Wymiary: szerokość — 1900 mm, długość — 1120 mm, wysokość — 1120 mm, waga pustego urządzenia — 1200 kg.

Podane wymiary dotyczą tylko instalacji urządzenia, która jest widoczna na pierwszym planie rysunku (rys. 8). Wersja APS Stoper wymaga bowiem dodatkowych zbiorników na matrycę i chemiczny uczulacz, o wielkościach uzależnionych od potrzeb użytkownika. Przykładowy zbiornik widać na drugim planie rysunku.

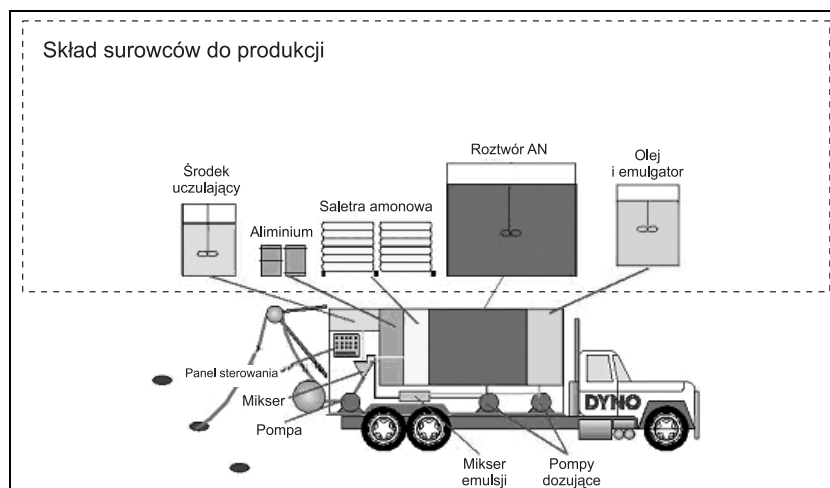


Rys. 8. System DynoMiner APS Stoper [4]

2.4. System SME

W tym przypadku mamy do czynienia z typowym systemem mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych luzem, przeznaczonym dla górnictwa odkrywkowego. Wynika to przede wszystkim z dwóch powodów. Większa ilość surowców, z których produkuje się materiał wybuchowy (roztwór saletry amonowej, saletra amonowa, chemiczny uczulacz, olej i emulgator), powoduje, że instalacja do produkcji jest większa, a gospodarka surowcami w przypadku kopalni podziemnej o wiele trudniejsza. System SME jest doskonale znany osobom zajmującym się techniką strzelniczą na odkrywkach, ponieważ jest dostępny polskiemu klientowi od lat 90. System był wielokrotnie opisywany, więc w tym artykule został przedstawiony skrótowo, tylko dla przypomnienia o nim polskiemu czytelnikowi.

Koncepcja systemu SME (Site Mixed Emulsion) (rys. 9) opiera się na umieszczonej w pobliżu miejsca robót strzałowych bazie surowców oraz pojeździe ciężarowym. Baza przeznaczona jest do składowania niewybuchowych składników MW, a pojazd do sporządzania i załadunku gotowego produktu. Ostateczne mieszanie składników odbywa się na pojeździe, w miejscu załadunku MW do otworów strzałowych. Jak w poprzednich systemach, dla zapewnienia możliwie najbezpieczniejszego kontaktu z materiałem podczas pracy uczulanie matrycy do postaci MW odbywa się na ostatnim etapie procesu produkcji. Uzupełnia się to w ten sposób, że pełne połączenie uczulacza z pozostałymi składnikami zachodzi dopiero po załadunku do otworów strzałowych.



Rys. 9. System SME [3]

Zastosowanie w zakładzie górniczym podziemnym lub odkrywkowym systemu mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych luzem przynosi wiele różnych korzyści. Należy zwrócić uwagę, że firmy posiadające technologie mechanicznego załadunku MW emulsyjnych luzem prowadzą politykę ograniczającą dostęp do tych technologii, w wyniku czego oparte na tych technologiach systemy nie są sprzedawane i występują tylko w roli

narzędzia firmy usługowej, która prowadzi załadunek MW na rzecz zakładu górniczego. Operatorzy obsługujący urządzenie do produkcji MW emulsyjnych luzem są zazwyczaj pracownikami firm usługowych, a pracownicy klienta pełnią ewentualnie rolę pomocników lub wykonują pozostałe czynności wchodzące w skład robót strzałowych. Skoro sprzęt i operatorzy należą do firmy zewnętrznej, zakład górniczy może zrezygnować z własnych służb strzałowych, środków transportu do przewozu MW oraz często ze składu MW. Tak zreorganizowane podejście do prowadzenia robót strzałowych (często również wiertniczo-strzałowych) przynosi wymierne korzyści materialne, o czym przekonało się już większość zakładów górniczych w Polsce.

Podsumowując od strony technicznej opisane powyżej systemy, warto wymienić zalety mechanicznego załadunku MW i samych MW emulsyjnych luzem:

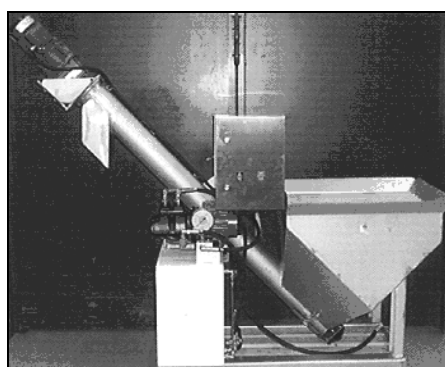
- wrażliwość tylko na określone bodźce zewnętrzne, co powoduje brak ryzyka niezamierzonej inicjacji np. wskutek tarcia, uderzenia czy ognia;
- całkowita wodoodporność — MW emulsyjne luzem wypychają wodę podczas załadunku i nie pozwalają jej ponownie napłynąć do załadowanego otworu, przez co odstrzał można przeprowadzać na długo po załadowaniu;
- możliwość łatwego załadunku zarówno otworów mocno zawodnionych, jak i nachylnych (w dół i w górę);
- dokładna kontrola całkowitej ilości MW oraz ilości załadowanej do poszczególnych otworów;
- wypełnienie otworów strzałowych w 100%, zapewniające większą koncentrację energii w otworze;
- możliwość regulacji gęstości, co pozwala na zmianę parametrów wytwarzanego MW w zależności od potrzeb;
- dzięki dużej energii wybuchu, odpowiedniej prędkości detonacji i możliwości wypełnienia otworów strzałowych w 100% występuje możliwość znacznego poszerzenia siatki wierceń;
- w czasie transportu, mieszania i załadunku żaden z półproduktów nie jest materiałem wybuchowym;
- MW emulsyjne są bardziej przyjazne dla środowiska. Podczas detonacji wydzielają się znacznie mniej substancji szkodliwych, gazów oraz dymu niż w przypadku innych MW. Ilość NO_x i CO oraz innych szkodliwych substancji zredukowano średnio 15-krotnie.

3. Systemy mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych typu ANFO luzem

Jak napisano na wstępie, artykuł został poświęcony przede wszystkim systemom mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych emulsyjnych, jednak materiały wybuchowe typu ANFO często mogą stanowić dla nich korzystną alternatywę. Zatem w celu pełnego przeglądu stosowanych systemów mechanicznego załadunku MW skrótkowo przedstawiono poniżej również systemy załadunku MW typu ANFO.

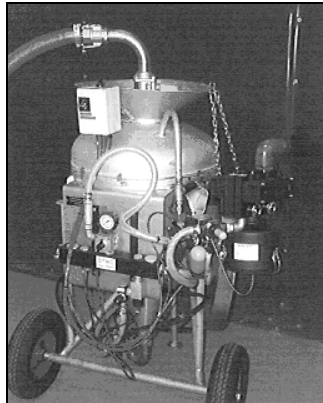
3.1. Systemy oparte na ładownicach typu ANOL

Znane doskonale polskim użytkownikom ładownice typu ANOL, służące do pneumatycznego załadunku MW typu ANFO, od wielu lat z powodzeniem funkcjonują w polskich kopalniach podziemnych (KGHM) oraz w zakładach górniczych odkrywkowych (Górażdże, Folwark, Strzelce Opolskie, Opolwap oraz Bełchatów). Zbudowane w oparciu o ładownice ANOL systemy można podzielić na takie, które przeznaczone są tylko do załadunku MW, oraz na te, które umożliwiają zarówno załadunek, jak i produkcję MW. W pierwszym przypadku (np. KGHM) na podwoziu wozu górniczego instaluje się tylko samą ładownicę (1 lub 2 zbiorniki), a MW sporządza się stacjonarnie (urządzenie AMIX-25 (rys. 10)). W drugim przypadku (najczęściej w kopalniach odkrywkowych) na podwoziu wozu montuje się oba te urządzenia.



Rys. 10. AMIX-25 [3]

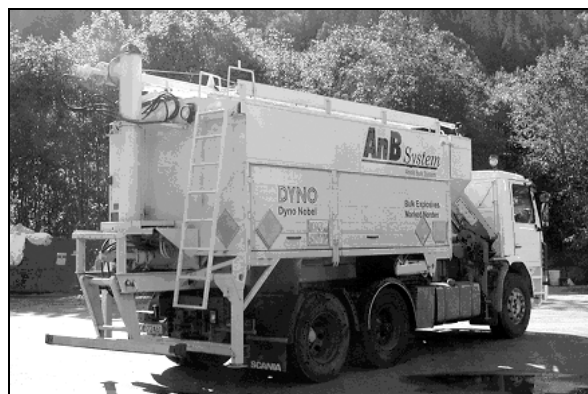
Urządzenia oparte na ładownicach typu ANOL (PORTANOL, ANOL, JET-ANOL, ANOL CC) umożliwiają, w zależności od wersji, efektywny załadunek otworów strzałowych zawierconych zarówno w stropie, jak i spągu. Urządzenia są zasilane pneumatycznie, zalecane ciśnienie wynosi 6 bar, a prędkość załadunku w zależności od stosowanej techniki waha się od 15 do 150 kg/min. Zapotrzebowanie na powietrze wynosi około 2 m³/min. Ponadto urządzenia mogą być wyposażone w układ radiowego sterowania za pomocą pilota. Przy zastosowaniu tego rozwiązania technicznego do obsługi urządzenia podczas ładowania otworów strzałowych wystarczy jedna osoba. Dla większego ułatwienia pracy z ładownicami typu ANOL można zastosować urządzenie ANOL UP (rys. 11), które służy do łatwego pneumatycznego napełnienia zbiorników ładownic gotowym MW, w szczególności z dużych, nieporęcznych opakowań. Producent proponuje również urządzenie o nazwie Charging Hose Pusher, które w znacznym stopniu ułatwia ładowanie długich otworów w stropie. Zasilane hydraulicznie urządzenie (175 bar) umożliwia równomierne wprowadzanie węża załadowczego do otworu strzałowego przed rozpoczęciem ładowania oraz jego równomierne wycofanie z otworu w trakcie załadunku, co zapewnia prawidłowe wypełnienie otworu i znacznie zmniejsza wysiłek operatora węża. Urządzenie może być wyposażone w elektroniczny miernik postępu ruchu węża, pozwalający precyzyjnie odmierzyć załadowaną część otworu, a tym samym długość przybitki.



Rys. 11. ANOL UP [3]

3.2. System ANFO

System ANFO, w odróżnieniu od systemów opartych na ładownicach ANOL, umożliwia sporządzanie MW oraz załadunek otworów strzałowych, jednocześnie jest przeznaczony do pracy w zakładach górniczych odkrywkowych. System ANFO (znany również pod nazwą AnB) składa się ze zbiorników na saletrę amonową i olej napędowy oraz układu do mieszania obu surowców i mechanicznego załadunku. Cała instalacja jest zabudowana na podwoziu typowego samochodu ciężarowego, co umożliwia przemieszczanie się zarówno po drogach publicznych, jak i po trudnym terenie kopalni odkrywkowej. Instalacja jest zasilana z silnika pojazdu. Pojazd jest w stanie jednorazowo dostarczyć około 9 ton MW, prędkość załadunku wynosi około 3÷4 tony na godzinę. Aktualna konstrukcja pojazdów systemów ANFO (rys. 12) jest zbudowana w oparciu o nowoczesną instalację, gdzie procesy sporządzania i załadunku MW są ściśle ze sobą powiązane, w przeciwieństwie do poprzednich konstrukcji opartych na ładownicach typu ANOL.



Rys. 12. System ANFO [3]

Nowe rozwiązanie techniczne umożliwia produkcję i załadunek MW w 4 odmianach: Standard, Extra (bardziej wodoodporny), A (wzmocniony aluminium) oraz Light (o zmniejszonej sile). Komputerowy system sterowania umożliwia łatwe programowanie pracy urządzenia oraz dokładne dozowanie MW do poszczególnych otworów strzałowych. Wracając do wątku konstrukcji opartych na ładownicach typu ANOL należy zaznaczyć, że aktualnie takie właśnie rozwiązania dominują na polskim rynku. Warto więc dodać, że najczęściej obok zabudowanych na podwoziu samochodu ciężarowego ładownic ANOL, montowane jest urządzenie AMIX-25, które za pomocą specjalnego przenośnika śrubowego podaje sporządzony MW do zbiorników ładownicy ANOL. Na podwoziu znajduje się często także pewna wolna przestrzeń przeznaczona na opakowania z saletrą amonową oraz dźwig pozwalający napełniać zbiornik technologiczny urządzenia AMIX-25 saletrą amonową bezpośrednio z dużych opakowań. Procesy produkcji i ładowania są ze sobą luźno powiązane (przenośnik śrubowy), pozostając ciągle dwiema niezależnymi operacjami. Uzupełnianie zbiornika technologicznego saletrą amonową, często w trakcie robót strzałowych, jest także dodatkową czynnością, która wydłuża czas pracy.

3.3. Q-Mix 3000

Zupełnie nieznane na polskim rynku urządzenie o nazwie ANFO Mixer Q-Mix 3000 posiada bardzo ciekawą konstrukcję (rys. 13).



Rys. 13. System Q-Mix 3000 [3]

W skład urządzenia wchodzi: zbiornik na saletrę amonową (3000 l), zbiornik na olej napędowy (200 l), przenośnik śrubowy (dł. 1,75 m), silnik Diesla (21 kW), pompa hydrauliczna oraz zbiornik na olej hydrauliczny. Wszystkie te elementy są zabudowane na jednoosiowym podwoziu, które konstrukcją przypomina niewielką przyczepę samochodową. Urządzenie jest w pełni funkcjonalne, posiada własny napęd spalinowy, a instalacja pozwala na jednoczesną produkcję i załadunek MW. Jedynym ograniczeniem jest stosunkowo niewielka ilość MW, jaką można załadować, oraz potrzeba posiadania innego pojazdu, który umożliwi

przemieszczanie urządzenia. Podobnie jak w przypadku Systemu ANFO, za pomocą systemu Q-Mix 3000 ładować można tylko otwory pionowo skierowane w dół lub nieznacznie odchylone od pionu (do 30°). Wynika to z faktu, że gotowemu MW ruch nadaje przenośnik ślimakowy, a nie — jak w przypadku systemów opartych na ładownicach ANOL — sprężone powietrze.

4. Inne systemy mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych

4.1. ROCMEC 2000

ROCMEC 2000 (rys. 14) to system znany w Polsce tylko z literatury. Jest to bardzo nowoczesne urządzenie, przeznaczone do pneumatycznego załadunku MW typu ANFO w kopalniach podziemnych, umożliwiające ponadto uzbrajanie otworów strzałowych nabojem udarowym i zapalnikami nieelektrycznym przez operatora wozu, który nie musi w tym celu opuszczać kabiny. Po wykonaniu przez operatora naboju udarowego pobudzacze wraz z zapalnikami nieelektrycznymi są wprowadzane do węża ładującego i umieszczane w otworze za pomocą specjalnego prowadnika.



Rys. 14. ROCMEC 2000 [3]

Istnieje pewne podobieństwo pomiędzy systemem ROCMEC 2000 a maszynami wykonanymi w oparciu o urządzenia typu ANOL. System ROCMEC 2000 bazuje również na ładownicach typu ANOL, a MW typu ANFO jest sporządzany poza pojazdem. Instalacja zabudowana na zmodyfikowanym podwoziu może być zasilana z sieci elektrycznej lub z silnika pojazdu. Wydajność pojazdu jest znaczna, gdyż umożliwia on załadunek nawet 10 przodków w czasie jednej zmiany roboczej. Standardowo przewidziany zasięgnik pozwala ładować otwory strzałowe rozmieszczone na powierzchni 30 m² z jednej pozycji wozu. Wszystkie czynności związane z ładowaniem są obsługiwane z klimatyzowanej kabiny operatora. Kabina jest umieszczona z przodu pojazdu, zapewniając tym znakomitą widoczność. Wysokość pojazdu wynosi 2,60 m. Ilość MW ładowana do każdego otworu może być predefiniowana,

co znacznie zwiększa szybkość załadunku przodka oraz zwiększa dokładność wykonywanych robót. W ramach realizowanego projektu kompleksowej mechanizacji MAP (Mine Automation Program) maszyny systemu ROCEMEC 2000 pracują w kopalniach niklu firmy INCO w Kanadzie w okolicach Sudbury (prowincja Ontario).

4.2. Pneumatyczny załadunek MW nabojujących

Bardzo rzadko dziś spotykany (nie licząc kopalń węgla kamiennego) pneumatyczny załadunek MW nabojujących wykorzystuje się najczęściej do ładowania otworów pionowych w stropie, strzelania pod wodą bądź w skałach silnie spękanych. Nabój MW jest wprowadzany do otworu strzałowego za pomocą węża, przy udziale sprężonego powietrza. Należy pamiętać, że ze względów bezpieczeństwa nie należy ładować tą techniką MW innych niż dynamity, MW emulsyjne i barbaryty. Urządzenia tego typu zapewniają też większą szybkość załadunku w porównaniu z załadunkiem ręcznym, szczególnie w wymienionych powyżej sytuacjach. Średnice stosowanych MW są zazwyczaj ściśle określone i najczęściej są to: 25, 32 i 40 mm. Plastikowy wąż załadowczy musi być antystatyczny, najlepiej jeśli jest zakończony końcówką ze specjalnymi ostrzami, które nacinają plastikową lub papierową otoczkę naboju MW, dzięki czemu materiał lepiej wypełnia otwór strzałowy. Korzystnie jest, gdy wąż załadowczy na wewnętrznej powierzchni posiada nacięcia (rowki), które zmniejszają opór (siłę tarcia) naboju w trakcie jego przemieszczania w wężu. Przykładowym urządzeniem tego typu jest ROBOT tamper (rys. 15), który może być dodatkowo wyposażony w osprzęt wspomagający wprowadzanie i wysuwanie węża z otworu strzałowego. ROBOT tamper jest stosowany w zakładach górniczych podziemnych i odkrywkowych.



Rys. 15. ROBOT tamper [1]

5. Podsumowanie

Przedstawione systemy stanowią pełen zakres dostępnych na rynku urządzeń do mechanicznego załadunku MW. Funkcjonują co prawda również inne systemy, ale różnią się od tu opisanych w nieznacznym stopniu bądź stanowią ich kopie. W Polsce znana jest prawie połowa opisanych systemów, od niemal 10 lat są one stosowane w kopalniach podziemnych i odkrywkowych. Nie wszystkie firmy świadczące usługi strzałowe w Polsce oferują pełen ich zakres, najczęściej jest to kilka wybranych, a czasami tylko jeden system. Utrzymująca się nie tylko na rynku polskim tendencja wskazuje na dalsze zwiększenie zużycia MW luzem kosztem MW nabojoyanych. W wielu polskich zakładach górniczych od lat używa się niemal wyłącznie MW luzem (m.in. Cementownia Nowiny, Nordkalk Miedzianka, ZPW Trzuskawica, GóraŹdŹe Cement). Są to zakłady górnicze charakteryzujące się dużym wydobywaniem, w których mechanizacja procesu załadunku MW pozwoliła znacznie obniżyć koszty wydobywania. Z racji skali, na jaką są stosowane w tych zakładach górniczych MW luzem, oszczędności są także bardzo duże. Mniejsze zakłady najczęściej stosują zamiennie MW luzem i MW nabojoyane. Mniejsze i mniej regularne wyrobisko, niejednorodny stopień zawodnienia otworów strzałowych i często relatywnie niskie dopuszczalne ładunki na zwłokę i ładunki całkowite powodują, że zakłady muszą stosować oba rodzaje MW. Korzystnym rozwiązaniem jest zlecenie prowadzenia robót strzałowych lub wiertniczo-strzałowych firmie, która za uzgodnioną cenę, uwzględniającą różne warunki panujące w danym zakładzie górniczym pod względem możliwości zastosowania danego rodzaju MW bądź systemu, weźmie na siebie ryzyko stosowania tylko jednej technologii wykonywania robót wiertniczo-strzałowych. Częstym błędem w ocenie MW luzem dokonywanej przez zakłady górnicze jest bezpośrednie porównanie ceny MW luzem i MW nabojoyanego. W cenie MW luzem zawarto pewne koszty związane z transportem, składowaniem surowców oraz konserwacją urządzeń, ponadto MW luzem posiadają niższą gęstość niż MW nabojoyane, dzięki czemu otwór strzałowy może być całkowicie wypełniony MW (za tą samą cenę), a to umożliwia rozszerzenie siatki wierceń. Ogromny wysiłek ze strony firm oferujących MW luzem doprowadził do sytuacji, w której ceny na te MW są niższe od cen MW nabojoyanych. Najwięcej korzyści przyniosło to zakładom górniczym, które mogły wykazać się znacznymi oszczędnościami. Należy jednak mieć świadomość, że dalsza obniżka cen nie będzie już możliwa, a być może nawet ceny nieznacznie wzrosną. Firmy usługowe, jak każde inne, część przychodów muszą przeznaczać na modernizację sprzętu oraz rozwój technologii, czego rezultatem jest właśnie tak wiele systemów mechanicznego załadunku MW luzem, z których klient może wybrać najbardziej korzystny dla siebie.

LITERATURA

- [1] *Olofsson S.O.*: Applied explosives technology for construction and mining, 1997
- [2] *Olofsson S.O.*: Applied explosives technology for construction and mining. Second edition
- [3] *Keegan M.*: Evaluation of Global Emulsion Delivery Systems for use in development headings. May 2002
- [4] *Pietkiewicz K., Janusz E.*: Systemy mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych emulsyjnych luzem — System SSE i DynoMiner. Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2003

- [5] *Pietkiewicz K., Janusz E.*: Kierunki rozwoju urządzeń do mechanicznego załadunku materiałów wybuchowych. ART-TEKST, Jaszowiec 2001
- [6] *Pietkiewicz K., Janusz E., Prędko S.*: System Mechanicznego Załadunku MW typu Anfo — ANFO SYSTEM. Jelenia Góra 2002
- [7] *Pietkiewicz K., Janusz E.*: System SSE (w tym Mini-SEE). Artykuł niepublikowany
- [8] *Pietkiewicz K., Janusz E.*: System DynoMiner. Artykuł niepublikowany
- [9] Materiały reklamowe Dyno Nobel
- [10] DynoMiner APS Underground Delivery Systems. Dyno Nobel, August 2002

Zatwierdzono do druku: 17.09.2004 r.