



Przegląd i charakterystyka wybranych metod strzelania gładkościennego w górnictwie odkrywkowym i podziemnym

Grzegorz JAHN¹⁾, Paweł KŁÓSKO²⁾, Michał TWARDOSZ³⁾, Józef PYRA⁴⁾

¹⁾ inż.; AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

²⁾ inż.; AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

³⁾ mgr inż.; AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

⁴⁾ dr inż.; AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii; email: pyra@agh.edu.pl

DOI: 10.29227/IM-2017-02-30

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane metody strzelania gładkościennego stosowane w odkrywkowych i podziemnych zakładach górniczych na całym świecie. Dla poszczególnych metod opisano sposób wykonywania prac wiertniczo-strzałowych, parametry geometryczne siatek otworów strzałowych, konstrukcję ładunków MW, zakres stosowalności oraz zalety i wady danego rozwiązania. W oparciu o dane zawarte w literaturze oraz informacje pochodzące od firm wykonujących roboty wiertniczo-strzałowe porównano poszczególne metody strzelania gładkościennego pod względem technicznym, technologicznym i ekonomicznym.

Słowa kluczowe: strzelanie gładkościennego, strzelanie konturowe

Istota strzelania gładkościennego

Strzelanie gładkościennego (konturowe, obrysowe) to zbiorcza nazwa specjalistycznych robót strzałowych mających na celu ograniczenie zniszczeń określonej części ośrodka skalnego wywołanych detonacją ładunku materiału wybuchowego (MW). Głównym zadaniem tego typu prac jest odpowiednie rozprządzenie energii detonacji rozchodzącej się w ośrodku skalnym, pozwalające na minimalizację naprężeń dynamicznych i spękań calizny. Dzięki temu osiągnąć można dwie zasadnicze korzyści - uzyskanie większej stateczności wykonanego wyrobiska, a także jego bardziej estetyczny wygląd. W zależności od tego, który z powyższych aspektów jest istotniejszy, wybrać można różne metody tego typu strzelania. W literaturze wyróżnia się przede wszystkim trzy metody strzelania gładkościennego: Line Drilling, Pre-Splitting, Smooth Blasting oraz ich kombinacje i metody pochodne [8].

Odpowiednie wykonanie strzelania gładkościennego wymaga przeprowadzenia rozeznania geologicznego ośrodka skalnego, w którym prowadzone mają być prace oraz określenia jego parametrów fizyko-mechanicznych, występowania naturalnych spękań czy stopnia zwiaterzenia. Na skuteczność strzelania gładkościennego wpływają czynniki zależne zarówno od ośrodka, jak i od techniki wykonania robót strzałowych. Czynniki te można pogrupować na związane z [1]:

1. Dokładnością i miejscem wykonania otworów strzałowych:

- kształt wyłomu,
- zabiór, odległości między otworami i ich wzajemny stosunek,
- wystąpienie dewiacji otworu.

2. Materiałem wybuchowym:

- prędkość detonacji,
- gęstość MW,
- koncentracja MW na jednostkę długości otworu,
- kształt ładunku.

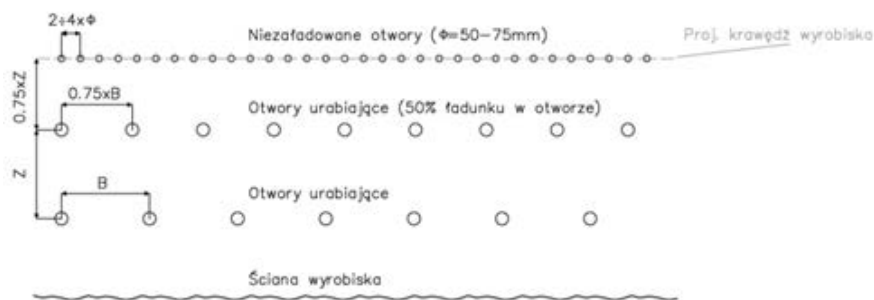
3. Opóźnienia między ładunkami MW:

- liczba zastosowanych stopni opóźnień (bądź ich brak)
- precyzja opóźnień.

4. Parametry ośrodka skalnego:

- naprężenia w skałach,
- wytrzymałość skał,
- struktura ośrodka.

Przy wykonywaniu robót strzałowych gładkościennych należy dokładnie zaprojektować ich wykonanie oraz zachować dużą dokładność przy przeprowadzaniu wiercenia i ładowania otworów, ponieważ roboty strzałowe tego typu niosą ze sobą znaczne ryzyko. Przede wszystkim, mogą stanowić źródło zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych o dalekim zasięgu i nieprzewidywalnym charakterze. Oprócz tego, źle wykonane strzelanie może spowodować znaczne spękanie skał otaczających, co spowoduje osłabienie stateczności, a nawet zniszczenie projektowanego wyrobiska. Do-



Rys. 1. Poglądowy schemat wykonania otworów w metodzie Line Drilling [8]

Fig. 1. Drilling pattern for Line Drilling holes

datkowo efektem negatywnym może być wystąpienie podwyższonego poziomu drgań w otoczeniu.

Strzelanie gładkościenne znajduje zastosowanie zarówno w górnictwie, przy wykonywaniu podziemnych, czy też odkrywkowych wyrobisk górniczych, jak również w inżynierskich pracach strzałowych, takich jak wykonywanie tuneli, skarp czy rowów.

Technologie wykonywania strzelania gładkościenego

Line Drilling

Metoda Line Drilling, najczęściej stosowana w górnictwie odkrywkowym, polega na wywierceniu rzędu bliskich sobie otworów w miejscu, gdzie ma się znajdować krawędź planowanego wyrobiska. Otwory te nie są załadowane materiałem wybuchowym, a ich celem jest wykonanie dodatkowej płaszczyzny osłabienia ośrodka skalnego. Dzięki tej płaszczyźnie część energii, wywołanej przez detonację ładunków MW umieszczonych w ostatnim rzędzie otworów urabiających, jest rozpraszana, co znacznie zmniejsza uszkodzenia ośrodka skalnego znajdującego się za płaszczyzną osłabienia (rys. 1).

Średnica wierconych otworów powinna mieścić się w zakresie 50÷75mm, a odległości między otworami w rzędzie wynoszą ok. 2÷4 wielkości średnicy, przy czym w częściach narożnych wyrobiska odległości te można zmniejszyć [9]. Otwory wiercone są na pełną głębokość planowanego wyrobiska.

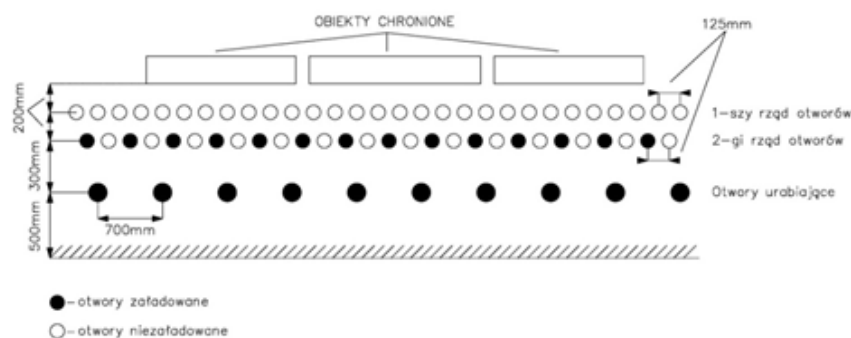
Aby zapewnić możliwie dokładne wykonanie geometrii planowego wyrobiska zaleca się modyfikację parametrów robót strzałowych w otworach urabiających przyległych do płaszczyzny osłabienia z uwzględnieniem lokalnych warunków geologicznych. Badania prowadzone w Szwecji w latach '90 wskazują na wzrost długości i ilości spękań wywołanych odstrzałem wraz ze wzrostem: zabioru, odległości między otworami i masą zastosowanego ładunku MW [4]. Otwory te powinny zatem być rozmieszczone bliżej siebie, a zastosowane masy ładunków mniejsze niż w pozostałych

otworach o ok. 50% [8]. Odległość między niezaładowanymi otworami, a ostatnim rzędem otworów urabiających powinna wynosić od 50 do 75% planowanego zabioru [7]. Strzelanie tego typu niesie ze sobą duże ryzyko powstawania progów przyspągowych dlatego ważne jest, aby odpowiednio zaprojektować konstrukcję ładunku w dolnej części otworu strzałowego. Wykorzystanie metody Line Drilling pozwala na wykonanie skarp o nachyleniu ok. 1/8:1, przy czym w skałach o dobrych parametrach fizyko-mechanicznych możliwe jest osiągnięcie nachylenia do 1/4:1 [7].

Metoda Line Drilling przynosi najlepsze efekty, kiedy jest wykonywany w ośrodku skalnym możliwie jednorodnym i niespękanym, bądź kiedy linia otworów wykonywana jest wzdłuż istniejącej już płaszczyzny spękania [9]. W ośrodkach o bardziej skomplikowanej budowie geologicznej sztucznie wykonana płaszczyzna osłabienia może nie powstrzymać spękań wzdłuż naturalnych osłabień. [10].

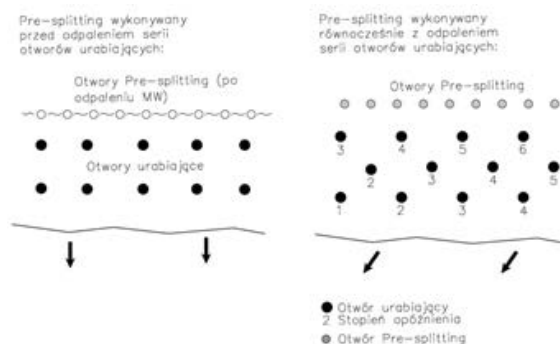
Metoda Line Drilling wykorzystywana jest przede wszystkim przy robotach strzałowych o stosunkowo małej skali. Metoda ta znajduje wykorzystanie m.in. przy wykonywaniu tuneli, projektowaniu skarp w głębokich wkopach i w pobliżu zabudowań wymagających ochrony przed niekorzystnym wpływem robót strzałowych [8]. Główną wadą tej metody jest konieczność poniesienia wysokich kosztów związanych z przeprowadzeniem robót wiertniczych w dużo większej skali, a dokładność otworów strzałowych jest priorytetem w niniejszej metodzie. Dodatkowo, trudno jest jednoznacznie przewidzieć dokładne efekty jakie przyniesie wykonanie płaszczyzny osłabienia [9]. Pomimo, że metoda Line Drilling jest najdroższa, uważana jest jednocześnie za najskuteczniejszą, przy warunku spełnienia jej założeń i wymogów (rys. 2) [8].

W przypadku, gdy uzyskanie gładkiej powierzchni wyrobiska jest priorytetem, zastosowanie metody Line Drilling może okazać się niewystarczające. Dlatego, metoda ta jest często łączona z metodą Presplitting bądź Trim Blasting pozwalającą na ukierunkowanie spękań powstających w ośrodku skalnym. [10].



Rys. 2. Przykład połączenia metody Line Drilling i Pre-Splitting do strzelania w pobliżu obiektów chronionych [7]

Fig. 2. Example of combination of Line Drilling and Pre-Splitting method in blasting near object requiring protection



Rys. 3. Schemat otworów w metodzie Pre-Splitting [7]

Fig. 3. Pre-splitting holes pattern

Pre-Splitting

Metoda Pre-Splitting polega wykonaniu rzędu otworów wzdłuż krawędzi projektowanego wyrobiska. W otworach umieszczane są niewielkie ładunki MW, których detonacja tworzy pomiędzy otworami strefę spękań. Dzięki wytworzeniu takiej strefy, możliwe jest przerwanie ciągłości ośrodka skalnego, pozwalając na ograniczenie, a nawet eliminację spękań na ścianach powstałego wyrobiska [1].

W metodzie Pre-Splitting ładunki odpalane są najczęściej przed odpaleniem serii ładunków urabiających, chociaż mogą być również odpalone razem z nią (rys. 3).

Średnica otworów powinna mieścić się w zakresie 30÷70mm, a odległości między otworami wynosić ok. 0,5 wartości projektowanego zabioru. Najlepszy efekt Pre-Splittingu osiągany jest dla otworów o długości 6÷12m, a maksymalna długość otworów, dla których metoda jest efektywna wynosi 15m [2]. Dokładne wartości parametrów strzelania zależą m.in. od struktury ośrodka skalnego, charakteru spękań, a także gęstości skał [7]. Otwory załadowane są stosunkowo niewielkim ładunkiem dzielonym, bądź lontem detonującym – celem detonacji otworów nie jest efektywne urabianie skał tylko wykonanie możliwie najgładszej i najmniej naruszonej krawędzi wyrobiska. Sumaryczna masa ładunków w otworze nie powinna przekraczać 0,3kg/mb

otworu, natomiast ładunek zwiększany jest w dolnej części otworu w celu uniknięcia pozostawienia progów przyspągowych [9]. Otwory przyległe do krawędzi projektowanego wyrobiska powinny być wiercone równoległe do tych krawędzi. Zastosowanie metody Pre-Splitting pozwala w praktyce na wykonanie stromych, a nawet pionowych skarp [7]. Aby Pre-splitting był efektywny, sumaryczny zabiór urabianej calizny skalnej powinien wynosić co najmniej 3m [8]. W tabeli 1 podano zalecane ilości materiałów wybuchowych w otworach podane przez Biuro Górnictwa Odkrywkowego Stanów Zjednoczonych (OSMRE).

Poszczególne parametry można także wyznaczyć korzystając ze wzorów obliczeniowych. Firma Austin Powder proponuje stosowanie wzorów (1–5), przy czym należy pamiętać o przeliczeniu uzyskanych wartości na jednostki metryczne [11]:

dla ładunków Air-Decked:

Odległość między otworami:

$$S = (1,5 \div 2,0) \cdot D \quad (1)$$

gdzie:

S – odległość między otworami, ft

D – średnica otworu, in

Tab. 1. Parametry otworów w metodzie Pre-Splitting zalecane przez OSMRE [9]

Tab. 1. Parameters of Pre-Splitting holes recommended by OSMRE

Średnica otworu D, mm	Odległość między otworami S, m	Ładunek w otworze , kg/m
38–44	0,30–0,46	0,03–0,10
50–64	0,46–0,60	0,03–0,10
75–90	0,60–1,00	0,05–0,23
100	0,60–1,20	0,23–0,34

Masa ładunku w otworze:

$$W=(0,08\div 0,12)\cdot S\cdot L_h \quad (2)$$

gdzie:

W – masa ładunku w otworze, Ib

S – odległość między otworami, ft

L_h – długość otworu strzałowego, ft

Długość przybitki:

$$T=(1,0\div 1,2)\cdot D \quad (3)$$

gdzie:

T – długość przybitki, ft

D – średnica otworu, in

dla ładunków dzielonych:

Masa ładunku na jednostkę długości otworu:

$$W_l=D^2/28 \quad (4)$$

gdzie:

W_l – masa ładunku na jednostkę długości otworu, Ib/ft

D – średnica otworu, in

Odległość między otworami:

$$S = D^2/2,8 \quad (5)$$

gdzie:

S – odległość między otworami, ft

D – średnica otworu, in

Ze względu na to, że naruszony spękaniami i rozluźniany ośrodek nie przenosi drgań parasejsmicznych tak efektywnie jak ośrodek nienaruszony wykorzystywać można również tę metodę w celu ograniczenia oddziaływania drgań parasejsmicznych na otoczenie wokół miejsca wykonywania robót strzałowych [10], co pozwala na prowadzenie robót w bliższym sąsiedztwie zabudowań.

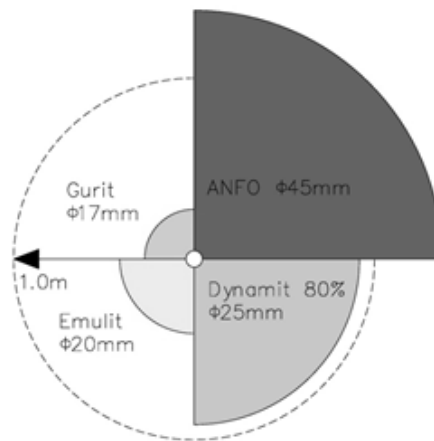
W szczególnie trudnych sytuacjach, kiedy oddziaływanie na otoczenie należy ograniczyć do minimum zastosowanie mogą znaleźć bezwybuchowe materiały wyburzające (materiały pęczniejące) takie jak

Dynacem®, czy Dexpan®. Materiały tego typu znajdują zastosowanie przede wszystkim przy prowadzeniu prac wyburzeniowych i rozbiórkowych pozwalając na odpajanie i kruszenie skał i konstrukcji betonowych. Materiały bezwybuchowe wtłaczane są do takich samych otworów, jak tradycyjne materiały wybuchowe. Następnie zwiększają swoją objętość oddziałując na ośrodek wokół otworu z ciśnieniem ok. 18 000 PSI (125 MPa). Dzięki temu możliwe jest urabianie skały, lub betonu bez wzbudzania drgań parasejsmicznych, rozrzutu odłamków i hałasu, a strefa spękań wokół miejsca wykonywania robót jest znacznie mniejsza niż dla prowadzenia prac z użyciem MW [12,13].

Strzelanie konturowe w górnictwie podziemnym

Strzelanie konturowe (ang. Contour Blasting, Smooth Blasting, Perimeter Blasting,) to najczęściej stosowana metoda ograniczania zniszczeń i spękań powstałych na skutek wykonywania robót strzałowych podczas drażenia podziemnych wyrobisk takich jak szyby czy wyrobiska korytarzowe [9]. Dzięki temu ogranicza się ryzyko obwałów oraz eliminuje konieczność dodatkowego zabezpieczenia stropu i ociosów np. przy użyciu kotwi i siatek [3]. Podobnie jak w metodzie Pre-Splitting, metoda polega na odwierceniu dodatkowego rzędu otworów na obwodzie projektowanego wyrobiska. Otwory te wiercone są bliżej siebie niż otwory urabiające, a umieszczone w nich ładunki MW mają mniejszą masę [9]. Zasadniczą różnicą między tymi metodami jest kolejność odpalania ładunków MW w otworach. Przy strzelaniu konturowym ładunki MW w otworach rozmieszczonych na obwodzie odpalane są po odpaleniu ładunków MW w otworach urabiających. Zapalniki z otworów konturowych są zazwyczaj podpięte do sieci strzałowej razem z zapalnikami z otworów urabiających i odpalane są jedno opóźnienie później [9].

Istotnym aspektem projektowania strzelania konturowego jest dobór materiału wybuchowego jaki ma zostać zastosowany. Materiały wybuchowe typu ANFO ze względu na niższe ciśnienie detonacji i wolniejsze przekazywanie energii powodują spękania o większym zasięgu niż MW emulsyjne i zawieszinowe [6]. W celu ograniczenia zasięgu spękań powstałych po odpaleniu ładunków MW w otworach używa się specjalnie zaprojektowanych materiałów wybuchowych o relatywnie



Rys. 4. Promień występowania spękań wokół otworu strzałowego o średnicy 45mm dla różnych rodzajów MW [2]

Fig. 4. Lengths of crack zone surrounding the 45mm blasthole for different explosives

niskiej prędkości detonacji, np. Dynotex (dawn. Gurit) występujących w nabojach o małych średnicach (17, 22 i 32 mm). Wyniki badań pokazują również, że dla materiałów wybuchowych emulsyjnych strefa spękań wokół otworu strzałowego jest ponad dwa razy mniejsza niż przy stosowaniu dynamitu lub ANFO (rys. 4) [2]. Ilość materiału wybuchowego, jaka musi zostać użyta w strzelaniu konturowym przedstawić można jako liniową funkcję średnicy otworu [5]:

$$q=90d^2 \quad (6)$$

gdzie:

q – masa MW na jednostkę długości otworu, kg/m

d – średnica otworu, mm

zór (6) stosować można dla otworów o średnicy mniejszej niż 150mm.

Korzyści płynące z ograniczenia spękań i zniszczeń skał na obwodzie wykonywanego wyrobiska uzasadniają poniesienie dodatkowych kosztów generowanych przez dokładne wykonanie otworów konturowych [9]. Pomimo tego, na całym świecie część kopalni rezygnuje ze strzelania konturowego traktując wyrobiska jako obiekty tymczasowe, nie przykładając dużej wagi do jakości otrzymanego konturu [6]. Konsekwencjami zbyt dużego spękania skał na obwodzie wyrobiska mogą być:

- zwiększenie szczelin między warstwami skalnymi stanowiące ryzyko obwałów,
- obniżenie faktycznej nośności zastosowanej obudowy,
- obłuzowanie skał pomiędzy elementami obudowy,
- utrudnienie w wykonywaniu obudowy związane z koniecznością pracy osłabionym ośrodkiem [6].

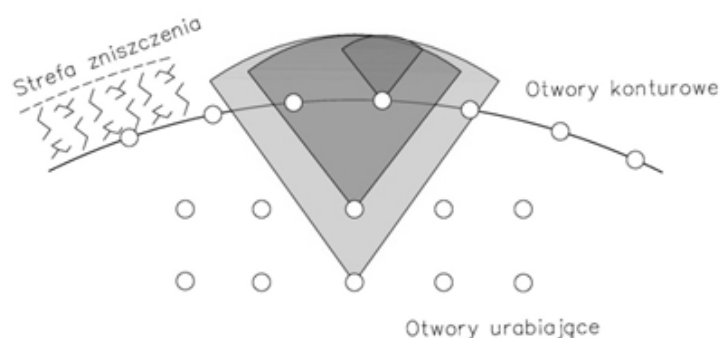
Co więcej, koszty dodatkowego zabezpieczenia wyrobiska (opinki, rozpory itp.) mogą okazać się wyższe, niż koszty przeprowadzenia strzelania konturowego.

Projektując strzelanie konturowe należy brać pod uwagę wpływ ładunków MW w sąsiednich otworach i trzeba pamiętać, że zasięg spękań i zniszczeń z ładunków MW w otworach urabiających może być większy niż ten z ładunków MW w otworach konturowych, co spowodowałoby, że kontury wyrobiska nie zostaną wykonane tak, jak je zaplanowano (rys. 5) [2].

Strzelanie konturowe w górnictwie odkrywkowym

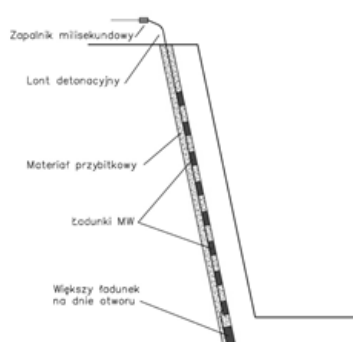
W górnictwie odkrywkowym odpowiednikiem metody Smooth Blasting jest metoda Cushion Blasting (Trim Blasting) [8]. Jest to strzelanie z liniowym wypełnieniem materiałem przybitkowym. Metoda ta zakłada rozmieszczenie wszystkich otworów w jednym szeregu. Podobnie jak w przypadku poprzednich metod, polega ona na odwierceniu rzędu blisko leżących obok siebie otworów na obrzeżu miejsca wykonywania robót strzałowych z zastosowaniem stosunkowo niewielkich mas ładunków MW (rys. 6).

Średnica otworów powinna zawierać się w przedziale 50mm÷165mm. Dla efektywnego wykonania metody Cushion Blasting maksymalna długość otworów nie powinna przekroczyć 27 m. Jednocześnie należy wziąć pod uwagę fakt, iż wraz ze wzrostem długości otworów rośnie prawdopodobieństwo wystąpienia dewiacji otworów strzałowych [8]. Istotą metody jest wypełnienie pustek pomiędzy ładunkami MW w otworze materiałem przybitkowym. Powstała w ten sposób "poduszka" (ang. cushion) absorbuje część energii powstałej przy detonacji ładunku, zmniejszając naprężenia i spękania w nowo utworzonym ociosie wyrobiska. W krajach azjatyckich jako materiał przybitkowy umieszczany pomiędzy ładunkiem MW, a ścian-



Rys. 5. Poglądowe przedstawienie stref zasięgu zniszczeń dla poszczególnych otworów strzałowych [2]

Fig. 5. Schematic representation of destruction zones for specific blastholes



Rys. 6. Przekrój przez otwór strzałowy w metodzie Cushion Blasting [2]

Fig. 6. Profile of Cushion Blasting blasthole

ką otworu strzałowego wykorzystywany jest bambus, który jest ogólnie dostępny. Jest on pu-
sty w środku przez co zapewnia „poduszkę”, a zarazem jest na tyle delikatny, że nie zaprze-
cza idei metody Cushion Blasting. W metodzie tej można również zastosować tzw. Air-Decking polegający na umieszczeniu w otworze korka, pod którym pozostawiana jest pusta przestrzeń. Górna część otworu przykrywana jest materiałem przybitkowym [1]. Zabiór otwo-
rów w metodzie Cushion Blasting powinien zawsze być mniejszy, niż odległość do krawędzi projektowanego wyrobiska [8].

Przykładową konstrukcję ładunków MW w otworze strzałowym dla metody Cushion Blasting przedstawiono na rysunku 6.

Otwory strzałowe, wykonane zgodnie z idea metody, mają konstrukcję ładunku dzielonego, gdzie każdy człon połączony jest lontem detonującym przebiegającym przez całą długość otworu. W celu uniknięcia progów przyspągowych w dolnej części otworu umieszcza się zwiększoną masę ładunku MW. Na powierzchni do lontu przymocowane są zapalniki milisekundowe, a więc ładunki odpalane są z opóźnieniem, a nie natychmiastowo.

Główną zaletą metody jest możliwość wykorzystania jej w ośrodku częściowo spękanym i o słabszych parametrach fizyko-mechanicznych [8]. Korzystnym rozwiązaniem jest łączenie metody Cushion Blast-

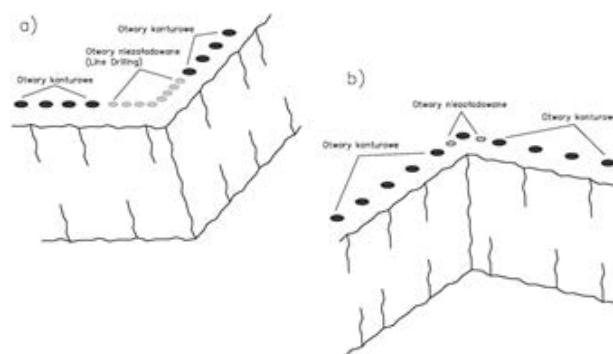
ing z metodą Line-Drilling, np. przy wykonywaniu narożnych części wyrobiska (rys. 7).

Trench Blasting

Do strzelania gładkościennego zaliczyć można także Trench Blasting. Jest to technika wykonywania rowów (ang. trench - rów) z wykorzystaniem materiałów wybuchowych. Wykorzystywana jest ona przy wykonywaniu rowów pod rurociągi ropy i gazu, przewody elektryczne czy odpływy wodne, a szerokość rowów nie przekracza z reguły 4m [2]. Przy wykonywaniu tego typu obiektów, istotne jest dokładne zachowanie planowanych kształtów i wymiarów wyrobiska, co możliwe jest dzięki odpowiedniemu wykonaniu i zaprojektowaniu strzelania. Zasadniczą różnicą między strzelaniem tego typu, a standardowym strzelaniem w górnictwie odkrywkowym jest konieczność wywiercenia znacznej ilości otworów umiejscowionych blisko siebie. Ze względu na brak dodatkowych powierzchni odsłonięcia, urobienie skały jest trudniejsze przy dnie i ścianach rowu. Dlatego, w celu uniknięcia pozostawiania progów przyspągowych i nawisów na ociosach należy zwiększać masy MW ładowanego w tych miejscach. Przy wykonywaniu rowów z użyciem MW najważniejsze jest wykonanie otworów strzałowych pod odpowiednim kątem nachylenia [2].

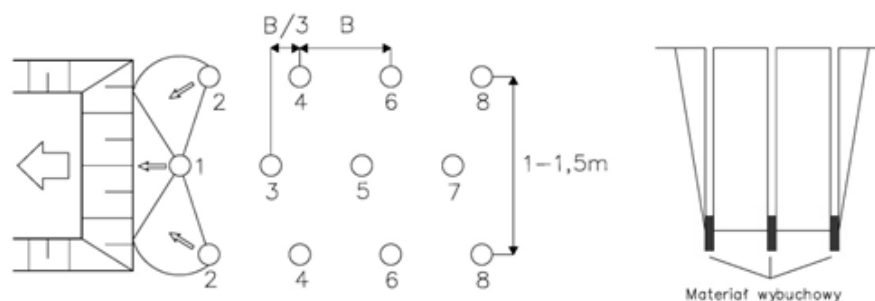
Wykonywanie tego typu robót niesie ze sobą ryzyko powstawania znacznych spękań w ośrodku

Wykonanie ścian wyrobiska metodą Cushion Blasting z dodatkowym odwierceniem otworów Line Drilling w narożniku zewnętrznym (a) i wewnętrznym (b):



Rys. 5. Poglądowe przedstawienie stref zasięgu zniszczeń dla poszczególnych otworów strzałowych [2]

Fig. 5. Schematic representation of destruction zones for specific blastholes



Rys. 8. Wykonywanie Trench Blasting metodą tradycyjną [3]

Fig. 8. Traditional Trench Blasting

skalnym oraz stanowi znaczne zagrożenie rozrzutem odłamków skalnych. Oprócz tego odpalenie serii otworów o zwiększonych masach ładunków przy spągu i ociosach rowu stanowi źródło podwyższonych drgań i zwiększonej liczby spękań, które mogą spowodować spadek stateczności czy zniszczenie wykonywanego wyrobiska. Dlatego istotny jest dobór odpowiednich średnic otworów strzałowych. W praktyce średnicę otworów wyznaczyć można z zależności łączącej średnicę z szerokością wykonywanego rowu [2]:

$$d=w/60 \quad (7)$$

gdzie:

d – średnica otworów strzałowych, mm

w – szerokość rowu, mm

W literaturze spotyka się dwie podstawowe metody wykonywania rowów z wykorzystaniem MW:

- metoda tradycyjna (traditional trench blasting),
- metoda gładkościenna (smoothwall trench blasting) [2].

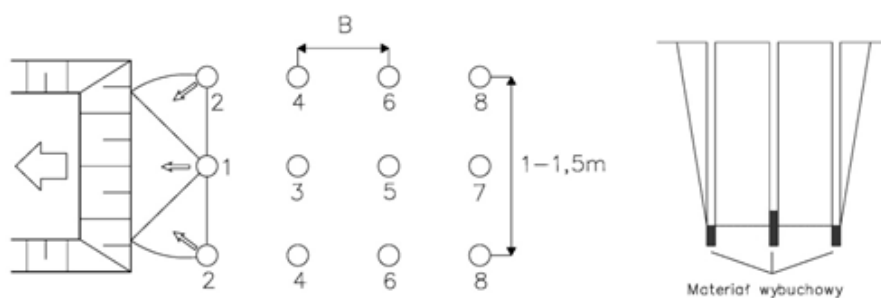
W metodzie tradycyjnej schemat wiercenia otworów jest niesymetryczny (rys. 8), a masa materiału

wybuchowego we wszystkich otworach jest taka sama co ułatwia ich ładowanie. Główna część materiału umieszczona jest w dolnej części otworu. Zabiór zawiera się w przedziale od 0,6m do 1,0m, a otwory centralne wyprzedzają otwory skrajne o 1/3 zabioru.

W metodzie gładkościenniej schemat wiercenia otworów jest symetryczny (rys. 9), lecz masa materiału wybuchowego w poszczególnych otworach różni się, w centralnych otworach jest zwiększona, a przy skrajnych mniejsza, dzięki czemu zmniejszają się naprężenia w skałach na ścianach wyrobiska. Wymiary siatki otworów są zbliżone do tych w metodzie tradycyjnej. Dzięki zmniejszeniu masy materiału wybuchowego w skrajnych otworach, możliwe jest skrócenie wysokości przybitki, co powoduje uzyskanie gładkich ociosów wyrobiska. Jednakże może to powodować zwiększenie rozrzutu odłamków skalnych [3].

Podsumowanie

Zastosowanie odpowiedniej metody strzelania gładkościennego pozwala na ograniczenie spękań ośrodka skalnego, co przekłada się na wykonanie wyrobisk o gładkich konturach (ociosy, strop) i dużej stateczności. Dobór metody powinien opierać się na właściwoś-



Rys. 9. Wykonywanie Trench Blasting metodą gładkościenną [3]

Fig. 9. Smoothwall Trench Blasting

Tab. 2. Zestawienie poszczególnych metod strzelania gładkościennego

Tab. 2. Comparison of each smoothwall blasting method

Metoda	Zastosowanie	Istota metody	Zalety	Wady
<i>Line Drilling</i>	Głównie prace na powierzchni	Wykonanie rzędu blisko leżących, niezaladowanych otworów	- Możliwość wykorzystania, kiedy nawet niewielki ładunek MW spowodowałby zniszczenia	- Sprawdza się w jednorodnych, niespękanych ośrodkach - Wysokie koszty wiercenia - Długi czas wykonywania wiercenia - Wymagana wysoka dokładność odwiercenia otworów
<i>Pre-Splitting</i>	Głównie prace na powierzchni	Odpalenie rzędu słabo załadowanych, gęsto rozmieszczonych otworów, których celem jest wytworzenie sztucznej płaszczyzny spękania	- Bardzo dobrze sprawdza się w utworach jednorodnych, dobrze sprawdza się także w skałach o gorszych parametrach i spękanych	- Wymaga stosunkowo dużego nakładu prac wiertniczych - Powoduje znaczny hałas, drgania i stanowi zagrożenie ponadnormatywnym rozrzutem odłamków skalnych
<i>Smooth Blasting (Contour Blasting)</i>	Głównie prace podziemne, stosowana również na powierzchni	Odpalenie otworów na konturach wyrobiska, załadowanych małymi ładunkami MW o stosunkowo niskiej prędkości detonacji	- Możliwość zachowania większych odległości między otworami - mniejsze koszty wiercenia - Efektywne stosowanie w skałach o bardziej skomplikowanej budowie i spękanych - Możliwość odpalenia w jednej serii z otworami urabiającymi	- Konieczność zastosowania specjalnie zaprojektowanych materiałów wybuchowych o niskiej prędkości detonacji, lub o bardzo dużej prędkości detonacji np. MW emulsyjne
<i>Cushion Blasting (Trim Blasting)</i>	Głównie prace na powierzchni	Odpalenie otworów załadowanych małymi ładunkami MW i wypełnionych materiałem przybitkowym. Seria taka jest odpalana jako ostatnia w celu uzyskania odpowiedniego kształtu ociosu.	- Możliwość zachowania większych odległości między otworami - mniejsze koszty wiercenia - Efektywne stosowanie w skałach o bardziej skomplikowanej budowie i spękanych	- Konieczność wykonania ostrzału urabiającego przed odpaleniem otworów na konturze - Nie sprawdza się jako samodzielna metoda w wykonywaniu narożników wyrobisk

ciach fizyko-mechanicznych ośrodka skalnego, celu strzelania oraz uwarunkowaniach techniczno-ekonomicznych. Poszczególne metody rozwijały się na przestrzeni lat, opierając się przede wszystkim na doświadczeniach z zakresu techniki strzelniczej z całego

świata oraz metodzie "prób i błędów", prowadząc do konkretnych, sprawdzonych rozwiązań.

Opisywane wcześniej metody zestawiono w tabeli 2, opisując w uproszczony sposób zastosowanie, istotę oraz wady i zalety poszczególnych metod.

Literatura – References

1. Bhandari S. 1997: Engineering Rock Blasting Operations. A.A. Balkema, Rotterdam.
2. Cook M. A. 1963: The Science of High Explosives. American Chemical Society Monograph Series. Rein-hold Publishing Corporation, New York.
3. Olofsson S.O. Applied Explosives Technology for Construction and Mining. Nora Boktryckeri AB, Ärla, Sweden.
4. Ouchterlony F. 1997: Prediction of Crack Lengths in Rock After Cautious Blasting With Zero Inter-hole Delay. FRAGBLAST - International Journal of Blasting and Fragmentation 1(1997): 417-444
5. Persson A., Holmberg R., Lee J. 1994: Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press, Boca Ra-ton, Florida.
6. Sellers E.J. 2011: Controlled Blasting for Enhanced Safety in the Uderground Enviornment. Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 111.
7. Singh J. 2009: Heavy Construction - Planning, Equipment and Methods. Vol. II, Drilling-Blasting and Tunneling. CRC Press/Balkema, Leiden.
8. White T.E., Robinson P. 1995: The Use of Explosives in Quarrying. The Institute of Quarrying, Notting-ham.
9. Engineering Geology - Field Manual, Second Edition, vol. II. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2001
10. NHI Course No. 13211. Rock Blasting and Overbreak Control. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, 1991.
11. The Blaster's Guide. Blast Design Formulas. Austin Powder Company, 2002.
12. strona internetowa Dexpan: <http://www.dexpan.com/>
13. strona internetowa Dynacem: <http://www.dynacem.pl/>

Overview and Characteristics of Selected Smooth Blasting Methods in Surface and Underground Mining

This work presents selected methods of smooth blasting for use in surface and underground mines around the world. For each method, a description of drilling and blasting works, and shooting parameters were made, as well as applicability, advantages and disadvantages of a specific solution. Various methods of smooth blasting were compared in technical, technological and economic terms, based on the information contained in the literature and data from companies performing drilling and blasting operations.

Słowa kluczowe: line drilling, pre-splitting, smooth blasting, trench blasting