

ANALIZA KOSZTÓW ŚRODKÓW STRZAŁOWYCH PRZY RÓŻNYM SPOSOBIE INICJOWANIA W METODZIE STRZELANIA DŁUGIMI OTWORAMI

COST ANALYSIS OF BLASTING AGENTS AT VARIOUS METHODS OF INITIATION FOR SHOOTING LONG HOLES METHOD

Ryszard Morawa, Krzysztof Barański - Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH Kraków

W artykule przeprowadzono symulację kosztów środków strzałowych jaką należy ponieść dla wykonania strzałań metodą długich otworów powszechnie stosowaną do urabiania skał. Symulację przeprowadzono dla dwóch różnych materiałów wybuchowych inicjowanych różnymi sposobami tj. zapalniki elektryczne, nieelektryczne systemy inicjowania i zapalniki elektro-niczne.

Ponadto przedstawiono sumaryczne koszty prowadzenia prac strzałowych oraz koszt urobienia 1m^3 skały dla przyjętych założeń. Przedstawiono wnioski dotyczące zmieniających się kosztów środków strzałowych przy różnych sposobach inicjowania i zmieniających się parametrach strzelania.

Słowa kluczowe: koszty prac strzałowych, prace strzałowe, systemy inicjowania, strzelanie długimi otworami

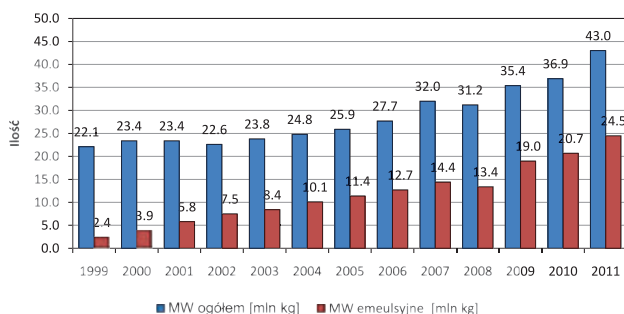
The paper presents a simulation of the cost of blasting agents needed to doing blasting works according method long holes shooting commonly used in quarrying. The simulation was performed for two different explosives initiated by various methods such as electric detonators, non-electric, electronic initiation systems.

Also shows the total cost of doing the work of blasting and unit costs (cost of 1m^3 rocks yield) for the assumptions. The conclusions regarding the changing costs of blasting work at different ways of initiating and changing shooting parameters were presented.

Key words: costs of blasting, blasting, initiation systems, shooting long holes

Wstęp

Wprowadzenie nowoczesnych materiałów wybuchowych opartych na saetrze amonowej tj. ANFO, MWE i HEAVY ANFO oraz możliwości ich inicjowania przyczyniło się do poprawy stopnia bezpieczeństwa wykonywanych prac strzałowych oraz możliwości technologicznych strzelania [1,4]. Nowoczesne MW przyczyniają się także do poprawy bezpieczeństwa na etapie ich produkcji, transportu i możliwości mechanicznego załadunku. Strukturę zużycia MW emulsyjnych do ilości MW ogółem prezentuje rysunek 1.



Rys. 1 Ilość zużywanych w Polskich zakładach górniczych emulsyjnych materiałów wybuchowych do ilości ogółem w latach 1999-2011 [4]

Materiały wybuchowe emulsyjne spełniają wszystkie wymagania stawiane optymalnym materiałom wybuchowym. Posiadają następujące korzystne cechy i właściwości [2,4]:

- ✓ łatwość i bezpieczeństwo wytwarzania,
- ✓ poręczność i pewność stosowania,
- ✓ niezawodność działania pod wpływem inicjatora - odpowiednia wrażliwość,
- ✓ jednorodność działania podczas wybuchu,
- ✓ dostateczna ilość energii zawartej w mieszaninie i odpowiednia siła działania po wybuchu,
- ✓ możliwością mechanicznego załadunku i sterowaniem parametrami energetycznymi *in situ*,
- ✓ wodoodporność,
- ✓ niewielka szkodliwość dla środowiska – odpowiedni skład gazów postrzałowych.

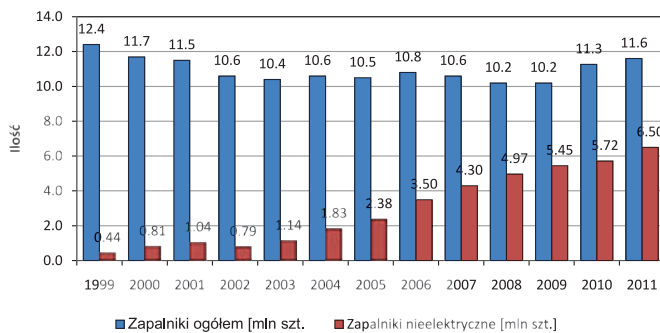
Oraz ponadto:

- ✓ relatywnie niższa cena,
- ✓ duża dostępność.

W stosunku do MW typu ANFO materiały wybuchowe emulsyjne są wodoodporne oraz cechują się lepszymi parametrami strzałowymi. Największą zaletą MWE jest: możliwość uczulania matrycy bezpośrednio w miejscu wykonywania robót strzałowych, wysoki poziom bezpieczeństwa oraz mechanizacja procesu wykonania MW *in situ* i jego załadunku. Niezależnie od stosowanych systemów mieszalniczo-załadowniczych składniki

przewożone w pojazdach transportowych nie posiadają właściwości wybuchowych do momentu ich połączenia i uczulenia w otworze strzałowym. Dlatego przewóz MWE po drogach publicznych jest bezpieczny, a sporadyczne wypadki zdarzają się jedynie w przypadku błędów lub usterek mających miejsce w momencie ładowania otworów strzałowych [2].

Do środków inicjujących należą m. in. zapalniki [6]. W technice strzelniczej stosowane są trzy systemy inicjowania: elektryczny, nieelektryczny oraz elektroniczny. Ze względu na złożoność i specyfikę prowadzenia prac strzałowych trudno jednoznacznie ocenić, który z systemów jest najlepszy. Każdy z nich posiada swoje wady i zalety, dlatego obecnie poszukuje się rozwiązań optymalnych w danych warunkach wykonywania strzelań. Ważnym czynnikiem ekonomicznym doboru systemu jest cena zapalników, która dla przedsiębiorstwa działającego w warunkach rynkowych jest głównym wyznacznikiem określającym sposób prowadzenia prac strzałowych. Obecnie w kopalniach odkrywkowych prowadzących eksploatację z wykorzystaniem techniki strzelniczej najpowszechniej stosuje się nieelektryczne systemy inicjowania. Zmiany struktury użycia zapalników elektrycznych i nieelektrycznych w Polskim górnictwie na przestrzeni lat 1999 - 2011 przedstawia rysunek 2.



Rys. 2 Ilość zużytych w Polskich zakładach górniczych zapalników nieelektrycznych do ilości ogółem w latach 1999-2011 [4]

Systemy elektryczne ze względu na niższy stopień bezpieczeństwa i możliwości technologiczne są wypierane przez nowsze rozwiązania jakie oferuje system nieelektryczny. Natomiast stosunkowo niedawno wprowadzone na rynek systemy elektroniczne pomimo licznych zalet nie są powszechnie stosowane w krajowym górnictwie. Jest to związane m. in. z wysokim kosztem zapalników, pozostałych elementów systemu (specjalne zapalniki typu: blaster, programatory – logger) oraz ich serwisem. Czynniki technologiczne systemów elektronicznego inicjowania [5] potwierdzają zasadność ich stosowania.

Założenia obliczeniowe parametrów robót strzałowych

W celu wykonania oceny kosztów środków strzałowych przygotowano model zakładając zmienne: parametry strzelania oraz ilość MW mieszczącą się w otworze strzałowym. W modelu przyjęto także określoną budowę geologiczną i zakładane efekty strzelania. Symulację przeprowadzono dla różnych warunków urabiania (wysokość ściany, średnica otworu, rodzaj MW) w celu zobrazowania zmian relacji kosztów materiałów wybuchowych do środków inicjujących. Parametry dobrano dla prowadzenia prac strzelniczych metodą otworów długich, najpowszechniej wykorzystywaną w polskim górnictwie.

Ponieważ koszt zakupu sprzętu strzałowego (głównie zapalarek) ze względu na długą żywotność tych urządzeń można

uznać za jednorazowy (niezależnie od systemu inicjowania) w przeprowadzonej analizie kosztów największe znaczenie ma cena zapalników oraz materiałów wybuchowych. W zależności od systemu inicjowania i długości przewodów ceny zapalników zmieniają się w szerokim zakresie, dlatego koszt tych środków jest kluczowy. Wynikiem symulacji jest zobrazowanie zmiany relacji cen zapalników do ceny materiałów wybuchowych, przedstawienie sumarycznych kosztów prowadzenia prac strzałowych oraz kosztów urobienia 1m^3 skały w zależności od stosowanych systemów inicjowania, zmieniających się: warunków geologiczno – górniczych, rodzajów MW oraz parametrów geometrycznych otworu. Wyniki opracowania posłużą do oceny opłacalności stosowania danego systemu w różnych sytuacjach.

Przyjęto kąt nachylenia otworów strzałowych 80° oraz równoległe położenie osi otworu w stosunku do ociosu. Symulację przeprowadzono dla zmieniających się wartości wysokości ścian: 7 m, 10 m, 12 m, 15 m, 17 m, 20 m i 22 m w celu określenia zmian współczynnika proporcji kosztów MW w stosunku do ceny zapalników przy zmieniającej się długości otworów strzałowych. Analiza przeprowadzona została dla dwóch średnic otworów powszechnie wykorzystywanych w tego typu pracach strzałowych tzn. 85 mm oraz 110 mm. W modelowaniu założono prowadzenie prac strzałowych w skałach wapiennych o spoiwie węglanowym cechujących się gęstością przestrzenną $\rho = 2600\text{ [kg/m}^3\text{]}$. Symulację przeprowadzono dla dwóch wybranych środków strzałowych: materiału wybuchowego emulsyjnego - Centra Gold 100 (zwanego dalej w skrócie MWE) i saletrolu - Exan Bulk (zwanego dalej w skrócie ANFO); przedstawiciele grup MW, które są najczęściej wykorzystywane w górnictwie odkrywkowym. Parametry strzałowe obu materiałów zostały dobrane na podstawie ich kart charakterystyki podanych przez producenta [7].

Wzory zastosowane do obliczenia parametrów robót strzałowych zestawiono w tabeli 1 [1,3].

Zestawienie obliczonych parametrów robót strzałowych z uwagi na pojemność otworu strzałowego i rodzaj zastosowanego MW prezentują tabele 2-5.

Zestawienie wielkości ładunków w zależności od średnicy otworu, rodzaju materiału wybuchowego oraz wysokości ściany prezentuje tabela 6.

Koszty środków strzałowych w zależności od stosowanego systemu inicjowania

Dla przyjętych założeń koszt środków strzałowych jest składową kosztu materiałów wybuchowych oraz środków inicjujących niezależnie od systemu inicjowania. Ponieważ ilość stosowanego MW w danych warunkach jest wartością stałą, jako zmienną należy potraktować koszt zapalników w systemie elektrycznym i elektronicznym oraz koszt zapalnika i konektora w systemie nieelektrycznym. W zależności od cen środków inicjujących oraz zmiany parametrów strzałowych i geometrycznych otworu będą zmieniać się proporcje pomiędzy ceną MW a ceną zapalników.

Według warunków [6] prowadzenia prac strzelniczych metodą długich otworów w każdym z otworów należy założyć 2 ładunki udarowe. Co oznacza w systemie elektrycznym zastosowanie dwóch zapalników elektrycznych, w systemie nieelektrycznym dwóch zapalników nieelektrycznych i jednego konektora, natomiast w systemie elektronicznym dwóch zapal-

Tab. 1 Zestawienie wzorów obliczeniowych parametrów geometrycznych otworu oraz parametrów strzałowych

Obliczany parametr	Wzór	Oznaczenia
L - długość otworu strzałowego [m]	$L = \frac{H}{\sin \alpha} + l_{pw}$	H – wysokość ściany [m], α – kąt nachylenia ociosu ściany [°], l _{pw} – długość przewiertu [m].
l _{pw} - długość przewiertu [m] l _p - ilość potrzebnej przybitki [m]	Wartości zostały dobrane na podstawie relacji określających zależności tych parametrów od średnicy otworu, przyjmując wartości średnie	
Z ₀ – zabiór obliczeniowy [m], Z – zabiór [m],	$Z_0 = \frac{1}{\sin \alpha} * \sqrt{\frac{(L - l_p) * c}{H * m * q}}$ $Z = \sin \alpha * z_0$	L – długość otworu strzałowego [m], α – kąt nachylenia ociosu ściany [°], l _p – długość przybitki [m], c – ilość MW mieszcząca się w 1m otworu [kg/mb], m – względna odległość między otworami [m], H – wysokość ściany [m], q – zużycie jednostkowe MW [kg/1 m ³].
c – pojemność MW w 1 m otworu [kg/mb],	$c = \frac{\pi * d^2}{4} * \gamma$	d – średnica otworu [m], γ – gęstość materiału wybuchowego [kg/m ³].
a – odległość między otworami strzałowymi [m],	$a = m * z_0$	m – względna odległość między otworami [m], z ₀ – zabiór obliczeniowy [m].
q – zużycie jednostkowe [kg/1 m ³],	$q = 0,13 * \gamma * \sqrt[4]{f} * \left(0,6 + 3,3 * 10^{-3} * d * d_s\right) * \left(\frac{0,5}{d_k}\right)^{0,4} * \left(\frac{1000}{Q}\right)$ γ - gęstość skały [kg/m ³], f – wskaźnik zwięzłości według klasyfikacji Protodiakonowa, d – średnica otworu strzałowego [mm], d _s – średnie odległości w masywie górotworu między szczelinami [m], d _k – rozmiar żądanego ziarna [m], Q – ciepło wybuchu MW [kcal/kg]	
Q _{otw} – masa MW w jednym otworze [kg]	$Q_{otw} = l_{MW} * c$	l _{MW} – długość ładunku MW w otworze strzałowym [m], c – ciężar właściwy MW w 1 mb otworu [kg/mb],

Tab. 2 Zestawienie obliczonych parametrów geometrycznych otworu oraz parametrów strzałowych dla Exan Bulk (ANFO) i średnicy otworu d=85 mm

H [m]	L [m]	z ₀ [m]	z [m]
7	7.96	2.79	2.75
10	11.00	2.91	2.86
12	13.04	2.95	2.90
15	16.08	2.99	2.94
17	18.11	3.01	2.96
20	21.16	3.03	2.99
22	23.19	3.04	3.00

Parametry stałe dla wszystkich powyższych obliczeń: c=4,65 kg/mb,
l_p=2,38 m, l_{pw}=0,85 m, q=0,49 kg/m³

ników elektronicznych [1,6]. Ponieważ zapalniki rozmieszczone są na różnych skrajnych wysokościach w otworze strzałowym w celu redukcji kosztów dobrano zapalniki o zróżnicowanych długościach przewodów wybierając jeden z zapalników z krót-

Tab. 3 Zestawienie obliczonych parametrów geometrycznych otworu oraz parametrów strzałowych dla Centra Gold 100 (MWE) i średnicy otworu d=85 mm

H [m]	L [m]	z ₀ [m]	z [m]
7	7.96	2.85	2.80
10	11.00	2.97	2.92
12	13.04	3.01	2.97
15	16.08	3.05	3.01
17	18.11	3.07	3.03
20	21.16	3.10	3.05
22	23.19	3.11	3.06

Parametry stałe dla wszystkich powyższych obliczeń: c=6,24 kg/mb,
l_p=2,38 m, l_{pw}=0,85 m, q=0,63 kg/m³

kim przewodem (6 m) lub rurką nieelektryczną w przypadku zapalnika nieelektrycznego.

Tab. 4 Zestawienie obliczonych parametrów geometrycznych otworu oraz parametrów strzałowych dla Exan Bulk (ANFO) i średnicy otworu $d=110$ mm

H [m]	L [m]	z_0 [m]	z [m]
7	8.21	3.37	3.32
10	11.25	3.55	3.50
12	13.29	3.62	3.57
15	16.33	3.69	3.64
17	18.36	3.73	3.67
20	21.41	3.76	3.70
22	23.44	3.78	3.72

Parametry stałe dla wszystkich powyższych obliczeń: $c=7,79$ kg/mb, $l_p=3,08$ m $l_{pw}=1,1$ m, $q=0,52$ kg/m³

Tab. 5 Zestawienie obliczonych parametrów geometrycznych otworu oraz parametrów strzałowych dla Centra Gold 100 (MWE) i średnicy otworu $d=110$ mm

H [m]	L [m]	z_0 [m]	z [m]
7	8.21	3.39	3.34
10	11.25	3.57	3.52
12	13.29	3.64	3.59
15	16.33	3.71	3.66
17	18.36	3.75	3.69
20	21.41	3.78	3.73
22	23.44	3.80	3.74

Parametry stałe dla wszystkich powyższych obliczeń: $c=10,45$ kg/mb, $l_p=3,08$ m $l_{pw}=1,1$ m, $q=0,69$ kg/m³

Tab. 6 Wielkość ładunków przypadających na otwór strzałowy (Q_{otw})

H [m]	Średnica otworu strzałowego/ rodzaj materiału wybuchowego			
	d=85 [mm]		d=110 [mm]	
	ANFO [kg]	MWE [kg]	ANFO [kg]	MWE [kg]
7	25.94	34.80	39.94	53.58
10	40.10	53.82	63.68	85.42
12	49.55	66.49	79.50	106.64
15	63.71	85.50	103.23	138.48
17	73.15	98.17	119.05	159.70
20	87.32	117.18	142.78	191.53
22	96.76	129.85	158.60	212.76

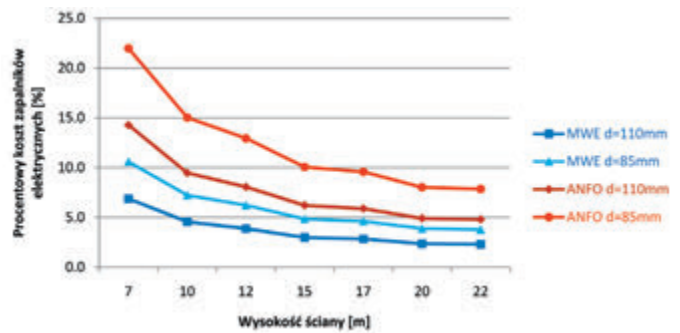
Koszty środków strzałowych przy stosowaniu elektrycznego systemu inicjowania

W ramach analizy przeprowadzonej dla elektrycznego systemu inicjowania wykonano zestawienie cen zapalników oraz materiałów wybuchowych a następnie obliczono procentowy udział kosztów zapalników elektrycznych do kosztów MW. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 3.

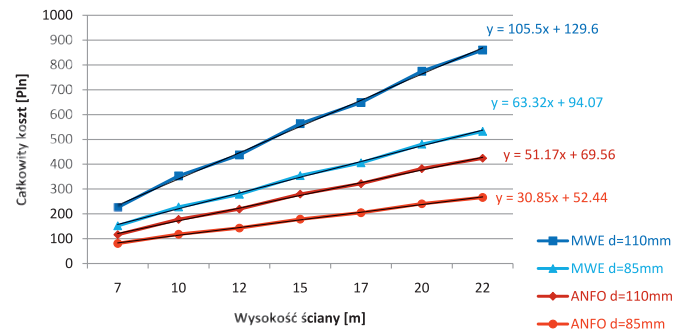
Sumaryczne zestawienie kosztów materiałów wybuchowych i środków inicjujących przedstawia rysunek 4.

Koszty środków strzałowych przy stosowaniu nieelektrycznego systemu inicjowania

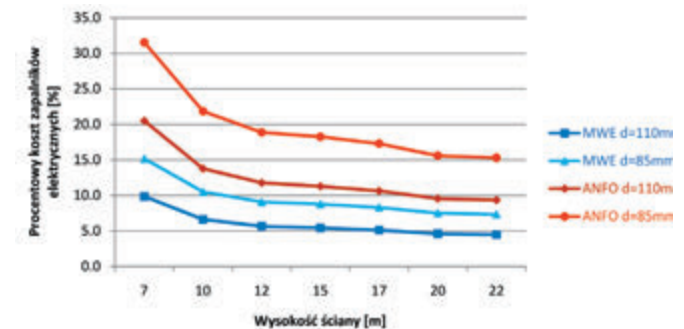
Podobna analiza wykonana została dla stosowania nieelektrycznego systemu inicjowania. W przypadku systemu



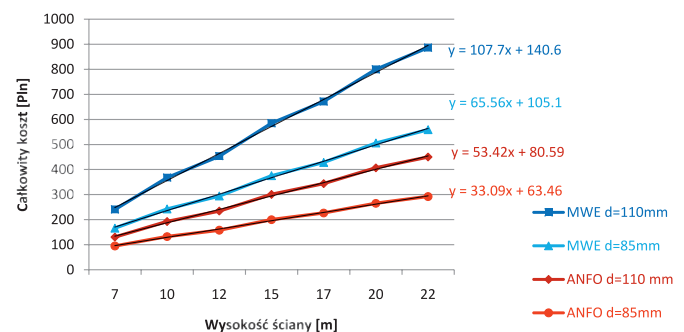
Rys. 3. Procentowy udział kosztów zapalników elektrycznych dla zadanych wysokości ścian i średnic otworów strzałowych: $d = 85$ mm i $d = 110$ mm do MW w otworze



Rys. 4. Całkowite koszty środków strzałowych przy wykorzystaniu elektrycznego systemu inicjowania dla MWE i ANFO dla średnic otworów strzałowych: 85 mm i 110 mm

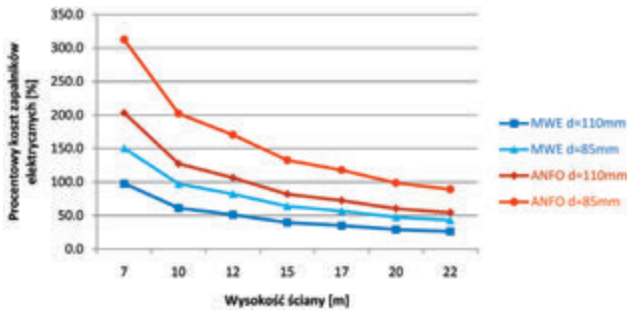


Rys. 5. Procentowy udział kosztów zapalników nieelektrycznych dla zadanych wysokości ścian i średnic otworów strzałowych: $d = 85$ mm i $d = 110$ mm do MW w otworze

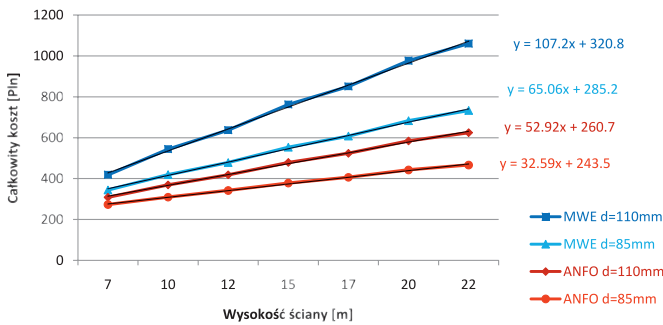


Rys. 6. Całkowite koszty środków strzałowych przy wykorzystaniu nieelektrycznego systemu inicjowania dla średnic otworów strzałowych: $d = 85$ mm i $d = 110$ mm

nieelektrycznego w analizie kosztów uwzględniono także wykorzystanie łącznika powierzchniowego – konektora. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunkach 5 i 6.



Rys. 7. Procentowy udział kosztów zapalników elektronicznych dla zadanych wysokości ścian i średnic otworów strzałowych: d = 85 mm i d = 110 mm do MW w otworze



Rys. 8. Całkowite koszty środków strzałowych przy wykorzystaniu elektronicznego systemu inicjowania dla średnic otworów strzałowych: d=85 mm i d=110 mm

Koszty środków strzałowych przy stosowaniu elektronicznego systemu inicjowania

Dla elektronicznego systemu inicjowania wykonano zestawienie cen zapalników elektronicznych oraz materiałów wybuchowych a następnie obliczono procentowy udział kosztów zapalników do kosztów MW. Wyniki obliczeń zaprezentowano na rysunku 7. Całkowity koszt środków strzałowych w systemie elektronicznym obrazuje rysunek 8.

Wnioski ogólne z analizy kosztów środków strzałowych:

- ✓ Dla wyższych wysokości ścian niezależnie od średnicy otworu oraz wykorzystanego MW zauważalny jest spadek udziału procentowego kosztów środków inicjujących do kosztów MW. Wraz ze wzrostem wysokości ściany rośnie długość otworu strzałowego oraz jego objętość wypełniona MW. Ponadto metodyka prowadzenia prac strzałowych zakłada wykorzystanie dwóch zapalników niezależnie od długości otworu strzałowego.
- ✓ Procentowy udział kosztów zapalników (środków inicjujących) do kosztów MW w przypadku MW typu ANFO, jest wyższy w stosunku do MWE dla takich samych wartości parametrów. Jest to związane z niższą ceną przyjętego ANFO w stosunku do MWE.
- ✓ Wraz ze wzrostem średnicy otworu strzałowego procentowy udział kosztów MW do zapalników jest niższy niezależnie od rodzaju MW, co wiąże się z większą objętością otworu.
- ✓ Ze względu na stałą ilość zapalników całkowite koszty prowadzenia prac strzałowych rosną w sposób liniowy niezależnie od rodzaju materiału wybuchowego. Na podstawie równań linii trendu widoczna jest niemal dwukrotnie wyższa dynamika wzrostu kosztów w przypadku MWE w stosunku do MW ANFO wraz ze wzrostem długości otworu. Jest to związane ze

znacznie większą ceną materiału emulsyjnego. Zależność ta obserwowalna jest we wszystkich systemach inicjowania.

- ✓ Koszt zapalników elektronicznych i nieelektrycznych wzrasta wraz z wysokością ściany (długość przewodów elektrycznych lub rurki nieelektrycznej) co podnosi koszt środków inicjujących przy zwiększającej się wysokości ścian. Natomiast koszt zapalników elektronicznych nie zmienia się w znaczący sposób w zależności od długości jego przewodu.

Wnioski szczegółowe z analizy kosztów środków strzałowych przeprowadzonej dla różnych systemów inicjowania:

- ✓ W systemie elektrycznym procentowy udział kosztów zapalników do kosztów MW mieści się w przedziale 21,98% (dla MW typu ANFO, wysokości ściany 7 m i d=85 mm) do wartości 2,30% (dla MWE, wysokość ściany 22 m i d=110 mm). Uzyskane wartości są niższe, niż w systemie nieelektrycznym ze względu na mniejszą cenę zapalników elektrycznych. Ponadto w systemie nieelektrycznym stosowane są dodatkowo łączniki powierzchniowe – konektory, których zakup podnosi koszt środków inicjujących dla tego systemu.
- ✓ W systemie nieelektrycznym wartość wskaźnika kosztów zapalników do MW podobnie jak w przypadku systemu elektrycznego zmniejsza się wraz ze wzrostem wysokości ściany od wartości 31,55% (dla H=7 m, d=85 mm i MW typu ANFO) do wartości 4,49% (dla H=22 m, d=110 mm i MWE).
- ✓ Procentowa wartość wskaźnika kosztów zapalników do materiałów wybuchowych w systemie nieelektrycznym dla H=7 m, d=85 mm i MW typu ANFO wynosi 31,55% i jest wyższa niż analogiczna wartość dla systemu elektrycznego. Jest to związane wyższym kosztem środków inicjujących w systemie nieelektrycznym. Podobnie wszystkie wartości wskaźnika dla pozostałych parametrów będą podwyższone w stosunku do wartości uzyskanych dla identycznych założeń w systemie elektrycznym.
- ✓ W systemie elektronicznym ze względu na bardzo wysoką cenę zapalników elektronicznych wskaźnik procentowy kosztów zapalników do materiałów wybuchowych jest bardzo wysoki przyjmując wartość 312,64% (dla H=7 m, d=85 mm, MW typu ANFO) oraz dużo niższą wartość 150,44% (dla H=7 m, d=85 mm, MWE), co jest spowodowane wyższą ceną materiału emulsyjnego. Najniższą wartość tzn. 26,17% wskaźnik przyjmuje (dla MWE przy H=22 m, d=110 mm). Najkorzystniejsza wartość wskaźnika kosztów uzyskana w systemie elektronicznym jest porównywalna do wartości otrzymanych w systemach elektrycznym i nieelektrycznym uzyskanych dla najniższych wysokości ścian oraz średnic otworów.
- ✓ W przypadku zastosowania elektronicznego systemu inicjowania koszt zapalników elektronicznych jest około dziesięciokrotnie wyższy w porównaniu do cen zapalników pochodzących z innych systemów.
- ✓ W przypadku systemu elektronicznego koszt zapalników stanowi znaczący koszt całkowity prowadzenia prac strzałowych w przypadku niewielkich wysokości ścian. Dla ANFO przy H=7 m i d=85 mm koszt zapalników wynosi 76% kosztów środków

strzałowych. Dla wysokości ścian $H=22$ m i średnicy $d=105$ mm stosując MWE wartość ta szybko się obniża, zapalniki stanowią już w tym przypadku tylko około 20% kosztów poniesionych na zakup środków strzałowych.

- ✓ W systemie elektronicznym koszty całkowite prowadzenia prac podobnie jak w innych systemach rosną linowo wraz ze wzrostem wysokości ściany. Ze względu na bardzo dużą cenę zapalników koszty te dla podobnych warunków geometrycznych otworu są wyższe niż analogiczne wartości w innych systemach. Dla $H=22$ m, $d=110$ mm i MWE koszt środków dla jednego otworu przekracza 1000 zł.

Porównanie kosztów urobienia 1m³ skały w zależności od systemu inicjowania

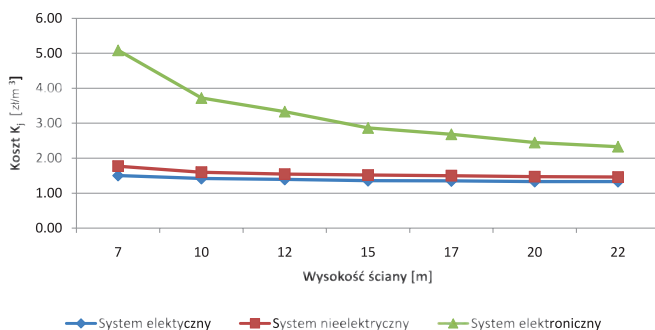
Wskaźnik K_j kosztu uzysku 1m³ kopaliny został wyliczony dla przyjętych założeń na podstawie relacji kosztów całkowitych wydanych na materiały wybuchowe i środki inicjujące do objętości uzyskanego urobku. Jest on najlepszym estymatorem opłacalności stosowania danego systemu strzałowego w konkretnych warunkach. Parametry te obliczono ze wzorów zawartych w tabeli 7.

Zestawienie kosztów uzysku 1m³ kopaliny dla zadanych parametrów i różnych systemów inicjowania prezentują rysunki 9-12. Uwzględniono jedynie koszty środków strzałowych pomijając koszty prac wiertniczych i innych.

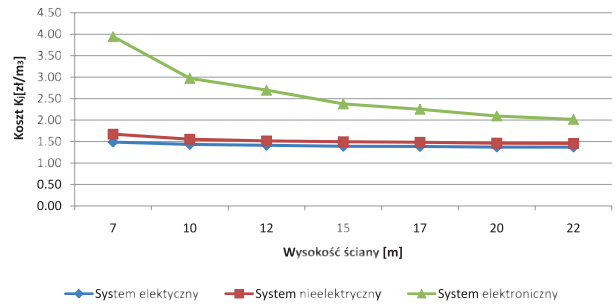
Tab. 7 Zestawienie wzorów do obliczania parametrów: V i K_j

Obliczany parametr	Wzór	Oznaczenia
V – objętość urobku [m ³]	$V=a*Z*H$	a – odległość między otworami strzałowymi [m] Z – zabiór [m] H – wysokość ściany [m]
K_j – wskaźnik kosztu urobienia 1m ³ skały [pln/1m ³]	$K_j = \frac{K_{MW}}{V}$	K_{MW} – koszt całkowity środków strzałowych [pln] V – objętość urobku uzyskana w wyniku strzelania w otworze strzałowym [m ³]

Koszt środków strzałowych dla urobienia 1m³ skały dla saletrolu Exan Bulk (ANFO)

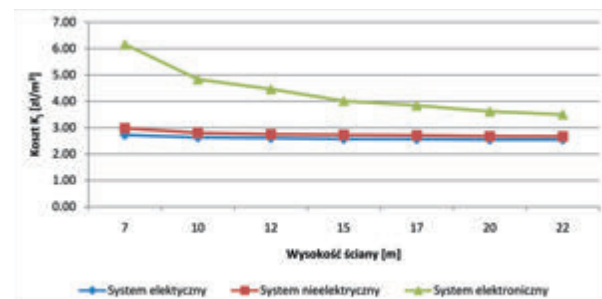


Rys. 9. Koszt środków strzałowych dla urobienia 1m³ skały dla MW typu ANFO i średnicy otworu strzałowego d=85 mm

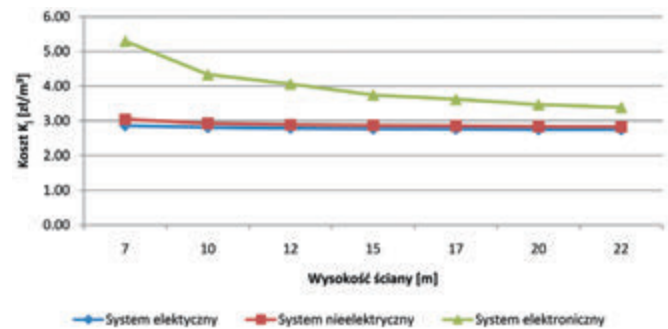


Rys. 10. Koszt środków strzałowych dla urobienia 1m³ skały dla MW typu ANFO i średnicy otworu strzałowego d=110 mm

Koszt środków strzałowych dla urobienia 1m³ skały dla materiału emulsyjnego Centra Gold 100 (MWE)



Rys. 11. Koszt środków strzałowych dla urobienia 1m³ skały dla MWE i średnicy otworu strzałowego d=85 mm



Rys. 12. Koszt środków strzałowych dla urobienia 1m³ skały dla MWE i średnicy otworu strzałowego d=110 mm

Wnioski i spostrzeżenia:

- ✓ W przypadku systemu elektrycznego i nieelektrycznego koszt K_j niezależnie od średnicy otworu i stosowanego MW maleje gdy wzrasta wysokość ściany. Jest to powolny spadek liniowy, natomiast dla systemu elektronicznego spadek ma charakter logarytmiczny,
- ✓ Koszt K_j urabiania skał jest generalnie niższy w przypadku materiałów wybuchowych typu ANFO w porównaniu do MWE. Jest to spowodowane niższą ceną saletrolu,
- ✓ W przypadku większej średnicy otworu wartości kosztu K_j dla tego samego MW zmniejszają się w systemie elektronicznym. Natomiast w przypadku pozostałych systemów koszty te pozostają na podobnym poziomie.
- ✓ W systemie elektronicznym znaczny koszt K_j powodowany jest wysoką ceną zapalników elektronicznych,
- ✓ W systemie elektronicznym dla niskich wysokości ścian $H=7$ m wartość wskaźnika kosztu K_j jest blisko dwukrotnie wyższa (niezależnie od średnicy otworu) w porównaniu do wartości uzyskanych dla pozostałych systemów przy tej samej wysokości ściany. Wraz ze

wzrostem długości otworu wartości wskaźnika przyjmują zbliżone wartości. Jest to szczególnie dobrze widoczne w przypadku ściany $H=22$ m, co stanowi dowód, że stosowanie elektronicznych systemów inicjowania może być opłacalne w stosunku do konkurencyjnych narzędzi inicjacji dla długich otworów, gdy prace strzałowe prowadzi się w warunkach bardzo wysokich ścian oraz dużym wydobyciu.

Podsumowanie

Przeprowadzone symulacje i obliczenia mają jedynie charakter poglądowy oraz brakuje im odniesienia do konkretnego przypadku odkrywkowego zakładu górniczego, trudno jednoznacznie zaproponować wybór optymalnego systemu prowadzenia prac strzałowych. Uwzględniając jedynie kryteria ekonomiczne przedstawione w tym artykule najmniej kosztowne według przyjętych założeń jest stosowanie elektrycznego systemu inicjowania. Nieco wyższy koszt środków strzałowych uzyskano dla systemu nieelektrycznego, natomiast największe koszty środków strzałowych uzyskuje się w przypadku systemu elektronicznego.

Biorąc pod uwagę uwarunkowania techniczne niewątpliwie najbardziej zaawansowanym narzędziem prowadzenia prac strzałowych jest elektroniczny system inicjowania, umożliwiający komputerowe projektowanie i kontrolę sieci, a także zdalne odpalanie ładunków. Możliwość zadawania niemal dowolnych czasów opóźnień zapewnia wysoką dokładność działania, a wprowadzenie

programatora i zapalarki stanowi zabezpieczenie przed przypadkowym zainicjowaniem reakcji wybuchowej [4,6]. Dlatego system ten powinien być stosowany w pracach strzelniczych w których wymagana jest wysoka precyzja czasów opóźnień i poprawy warunków np. rozdrobnienia urobku. Z przeprowadzonej analizy zasadne wydaje się stosowanie elektronicznego systemu inicjowania przy wysokościach ścian przekraczających 15 m.

Przy doborze systemu inicjowania dla konkretnych warunków prowadzenia prac strzałowych należy kierować się także innymi kryteriami, przede wszystkim względami bezpieczeństwa, niezawodnością i dokładnością działania, możliwością kontroli sieci, oraz pozostałymi wadami i zaletami systemów strzałowych. Dlatego dobór odpowiedniego systemu powinien być poprzedzony wnikliwą analizą wyżej wymienionych czynników oraz oceną warunków geologiczno-górnich danej kopalni.

Poszukiwanie rozwiązań optymalnych często sprowadza się do stosowania rozwiązań pośrednich będących kompromisem pomiędzy wszystkimi czynnikami negatywnymi i pozytywnymi danego systemu, co doskonale potwierdza powód dla którego nieelektryczny system inicjowania jest obecnie najczęściej stosowany w odkrywkowych zakładach górniczych.

Prawdopodobnie w najbliższej przyszłości należy oczekiwać spadku cen zapalników systemu elektronicznego, który w dalszym ciągu jest stosunkowo nowym narzędziem prowadzenia prac strzałowych w Polsce, co spowoduje wzrost opłacalności tego systemu oraz sukcesywne wypieranie systemów elektrycznych i nieelektrycznych z rynku.

Literatura

- [1] Korzeniowski J. Onderka Z., *Roboty strzelnicze w górnictwie odkrywkowym*, Wydawnictwa i Szkolenia Górnicze Burdat&Korzeniowski, 2006
- [2] Maranda A. Gołębek B. Kasperski J., *Materiały wybuchowe emulsyjne*, Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-techniczne, 2008
- [3] Morawa R., *Analiza możliwości obniżenia kosztów produkcji kruszyw łamanych z wykorzystaniem robót strzałowych* Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr 132, 2011
- [4] Morawa R., *Kierunki rozwoju środków strzałowych dla poprawy bezpieczeństwa w wykonywanych pracach strzałowych* Materiały konferencyjne I Międzynarodowej Konferencji Naukowej IPO 2004
- [5] Morawa R., Janik M., *Wymierne korzyści z zastosowania zapalników elektronicznych* Bezpieczeństwo Robót Strzałowych, GIG 2010
- [6] Rozporządzenia Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 1 kwietnia 2003 r., w sprawie nabywania, przechowywania i używania środków strzałowych w zakładach górniczych. (Dz. U. Nr 72, poz. 655 z 2003 r.)
- [7] <http://www.oricaminingservices.com/pl/pl> - strona internetowa firmy ORICA Poland Sp. z o.o.