

# Analiza porównawcza kosztów eksploatacji przy wykonywaniu robót strzałowych z wykorzystaniem różnych systemów inicjowania ładunków MW

A comparative analysis of mining costs for blasting works with the application of different initiation systems



Dr inż. Józef Pyra<sup>\*)</sup>



Mgr inż. Michał Dworzak<sup>\*)</sup>



Mgr inż. Bartosz Papiński<sup>\*\*)</sup>

**Treść:** W artykule przedstawiono analizę wybranych kosztów produkcji kruszywa dolomitowego na przykładzie lokalnych warunków geologiczno-górnich w jednym z zakładów górniczych. Badania prowadzono przez okres dwóch miesięcy. Roboty strzałowe wykonywano z wykorzystaniem różnych środków strzałowych, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu inicjowania ładunków materiału wybuchowego. Zastosowanie różnych systemów inicjowania ładunków MW było podstawą do oszacowania różnicy w kosztach produkcji kruszywa, co stanowiło zarazem główny cel wykonywanych badań i analiz.

**Abstract:** This paper presents an analysis of operating costs for selected geological-mining conditions with an example of one mine extracting dolomite aggregate. The authors have been doing a research for two months during which blasting works have been performed by the use of different blasting agent, with particular emphasis on explosive charges initiation. Usage of different explosives initiation systems was the basis for estimating the differences in aggregate production costs, which was the main subject of this paper.

## Słowa kluczowe:

koszty eksploatacji, roboty strzałowe, elektroniczny system inicjowania

## Key words:

mining costs, blasting works, electronic initiation system

## 1. Wprowadzenie

W okresie obniżonego popytu na kruszywo zakłady górnicze szukają możliwości obniżenia kosztów ich produkcji. Analizowane są całe procesy produkcyjne pod kątem minimalizacji energochłonności poszczególnych jego elementów. Wydobycie surowców skalnych w Polsce prowadzone jest w przeważającym stopniu z wykorzystaniem materiałów wybuchowych (MW). Najczęstszą metodą urabiania jest wykonywanie robót strzałowych metodą długich otworów strzałowych. Ze względu na swoją efektywność w postaci uzysku dużej ilości równomiernie rozdrobnionego urobku jest ona najtańszym sposobem eksploatacji złóż. Wpływ na uzyskane efekty robót strzałowych, oprócz warunków geologiczno-górnich, mają m.in.: dobór właściwego rodzaju materiału wybuchowego, odpowiedni kształt i konstrukcja ładunków MW, należyte wykonanie przybitki, miejsce inicjacji ładunku MW oraz odpowiednio dobrane opóźnienia międzystrzałowe i rzeczywiste parametry geometryczne siatki

otworów strzałowych (Korzeniowski, Onderka 2006, Onderka 2001a, 2001b, Onderka i in. 2003).

Zakłady górnicze w ramach swoich możliwości starają się zmieniać dostawców środków strzałowych i porównywać koszty wykonywanych robót strzałowych pod kątem ich minimalizacji, przy jednoczesnym utrzymaniu odpowiedniej jakości ich wykonywania. Dostawcy usług wiertniczo-strzałowych, aby utrzymać się na rynku, starają się zaoferować jak najniższą cenę za świadczenie swoich usług. Działania takie mogą niestety doprowadzić do pogorszenia jakości świadczonych usług, a w konsekwencji – obniżenia poziomu bezpieczeństwa, co w odniesieniu do robót strzałowych może stanowić zagrożenie dla pracowników oraz otoczenia.

Do inicjowania ładunków MW oraz uzyskiwania odpowiednich opóźnień międzystrzałowych wykorzystywane są zapalniki. Ze względu na różnice w budowie oraz zasadzie ich działania wyróżniamy trzy różne systemy inicjowania (Morawa, Onderka 2013):

- elektryczny,
- nieelektryczny,
- elektroniczny.

<sup>\*)</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, <sup>\*\*)</sup> KGHM Polska Miedź SA.

Na chwilę obecną tylko nieliczne odkrywkowe zakłady górnicze stosują system elektryczny. Roboty strzałowe prowadzone w polskich kopalniach odkrywkowych w głównej mierze realizowane są z wykorzystaniem nieelektrycznego systemu inicjowania, który wykazuje znaczącą poprawę w obszarze bezpieczeństwa robót strzałowych, a jego zastosowanie stwarza nowe możliwości odpalania milisekundowego w stosunku do wcześniej powstałych systemów elektrycznych. System elektroniczny od 2008 roku w coraz większym stopniu jest wykorzystywany w kopalniach odkrywkowych, ale zakres jego stosowania w porównaniu do systemu nieelektrycznego jest w dalszym ciągu znikomy. W 2014 roku odkrywkowe zakłady górnicze zużyły 850 tys. szt. zapalników, z czego 730 tys. szt. to zapalniki nieelektryczne (Rawicki, Krzelowski 2016).

Prowadzona eksploatacja górnicza powinna opierać się na doborze odpowiednich środków technicznych, umożliwiających ekonomicznie opłacalne urabianie złoża wraz z utrzymaniem rygorów bezpieczeństwa prowadzonych prac (Strykowski, Winzer 2001). Spełnienie owych warunków umożliwiają powszechnie stosowane systemy nieelektryczne, jednak oprócz wielu zalet posiadają one również pewne ograniczenia w postaci ograniczonej precyzji opóźnień zapalników oraz z góry określonego wachlarza opóźnień międzystrzałowych. Stanowi to utrudnienie w uzyskaniu oczekiwanych efektów robót strzałowych, jakie można osiągnąć w wyniku precyzyjnie zadanych i odpowiednio dobranych opóźnień międzystrzałowych.

Zastosowanie elektronicznych systemów inicjacji MW może znacząco wpłynąć na poprawę rezultatów urabiania złoża. Zapalniki te w porównaniu do nieelektrycznych stanowią o wiele bardziej zaawansowane rozwiązanie techniczne, umożliwiając równocześnie niwelację niedoskonałości systemów nieelektrycznych. Pomimo wyższych kosztów zakupu systemów elektronicznych, zdążyły one zyskać renomę wśród służb strzałowych całego świata i znajdują coraz częstsze zastosowanie również w polskich kopalniach odkrywkowych (Pręcki 2010).

Morawa i Barański (2013a, 2013b) przeprowadzili teoretyczne symulacje ponoszonych kosztów robót strzałowych przy zmiennych środkach strzałowych (dwa odmienne mate-

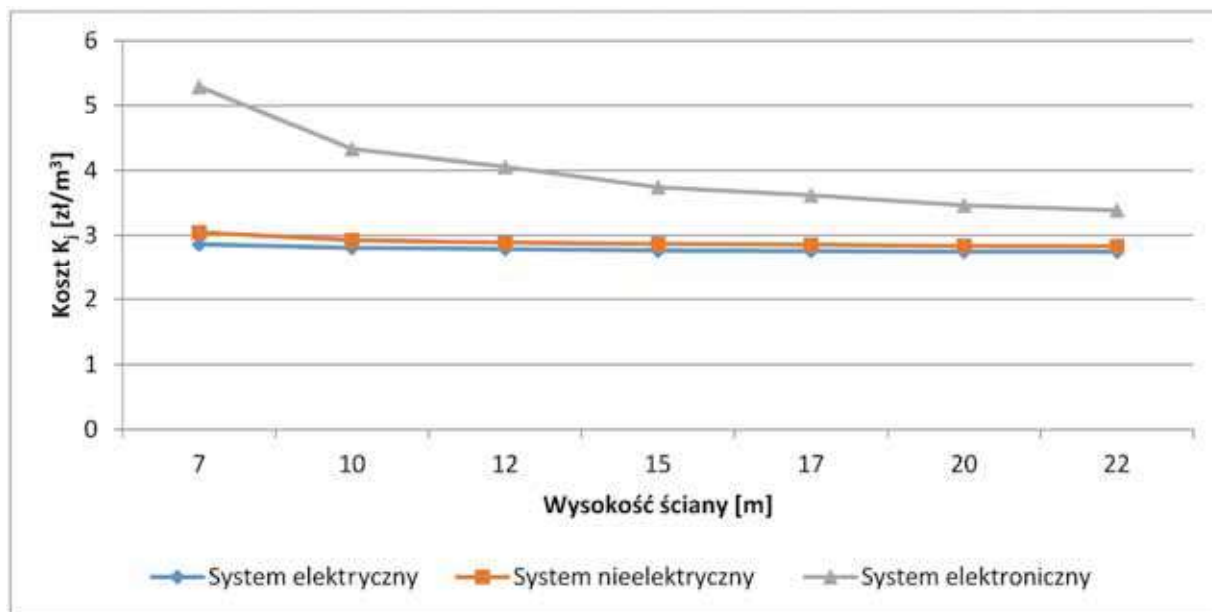
riały wybuchowe i trzy systemy inicjowania ładunków MW) i parametrach geometrycznych siatki otworów strzałowych. Rys. 1 przedstawia podsumowanie wyników jednej z symulacji dla materiału wybuchowego emulsyjnego przy zadanej średnicy otworu strzałowego.

Z przeprowadzonych analiz można wywnioskować, że najniższy koszt wykonania robót strzałowych (uwzględniając wyłącznie koszty zakupu środków strzałowych) można uzyskać w trakcie stosowania zapalników elektrycznych. Największa różnica występuje w odniesieniu do niskich pięter poziomów eksploatacyjnych i maleje wraz z ich wzrostem. Koszt wykonywania robót strzałowych z wykorzystaniem systemów elektronicznych jest najwyższy, ze względu na wysoki koszt jednostkowy zakupu zapalnika elektronicznego (Morawa, Barański 2013a, 2013b). Autorzy pracy przeprowadzili również weryfikację przedstawionych symulacji przy uwzględnieniu kosztów całego procesu produkcji kruszyw, ze szczególnym uwzględnieniem systemów inicjowania ładunków MW.

## 2. Metodyka badawcza

W celu przeprowadzenia analizy kosztów eksploatacji wytypowano odkrywkowy zakład górniczy, który prowadzi roboty strzałowe z wykorzystaniem tzw. systemu mieszanego, w którym prace strzałowe realizowane są w częściach przez służbę wiertniczo-strzałową zakładu górniczego (wiercenie otworów strzałowych, projektowanie oraz realizacja odstrzału) oraz podmiot zewnętrzny (dostawa całości środków strzałowych do zakładu górniczego). Rozwiązanie takie eliminuje konieczność utrzymywania składu materiałów wybuchowych przez kopalnię, gdyż dostawa środków strzałowych realizowana jest przez podmiot zewnętrzny bezpośrednio z wytwórni lub od przedsiębiorcy wykonującego działalność w zakresie dystrybucji MW.

Przedstawiona w artykule analiza ma na celu porównanie kosztów eksploatacji prowadzonej w wybranej kopalni w trakcie prac strzałowych wykonywanych z użyciem dwóch systemów nieelektrycznego inicjowania MW (pochodzących



Rys. 1. Koszt środków strzałowych potrzebnych do urobienia 1m<sup>3</sup> skały dla MWE i stałej średnicy otworu strzałowego d=110 mm (Morawa, Barański 2013a, 2013b)

Fig 1. The cost of blasting agents per 1 m<sup>3</sup> rock for emulsion bulk explosives and constant diameter d = 110 mm (Morawa, Barański 2013a, 2013b)

od różnych producentów) oraz jednego elektronicznego systemu odpalania. Podejmowana tematyka dotyczy zestawienia oraz oceny kosztów eksploatacji kopaliny w okresie dwóch miesięcy przy stosowaniu różnych systemów inicjowania materiału wybuchowego. W celu porównania oszacowanych kosztów eksploatacji przy zastosowaniu zmiennych systemów inicjowania wybrano szesnaście serii długich otworów strzałowych o zbliżonych parametrach. Połowa serii strzałowych odpalona została z wykorzystaniem systemu elektronicznego, zaś pozostałe serie inicjowano, korzystając z systemów nieelektrycznych dwóch producentów. Odpowiednia metodyka badawcza oparta na trafnym doborze serii strzałowych pozwoliła również na dokonanie analizy kosztów eksploatacji z wykorzystaniem tak stacjonarnego (wtórny węzeł kruszenia), jak i mobilnego zakładu przerobczego (kruszenie wstępne). Dane, które stanowiły podstawę do przeprowadzonej analizy, pochodziły z raportów dziennych pracy stacjonarnego zakładu przerobczego oraz maszyn stosowanych w warunkach ruchowych w procesie eksploatacji, tj. wiercenia otworów strzałowych, rozbijania oraz transportu brył nadgabarytowych, załadunku i odstawy urobku, rozdrabniania i przesiewania w mobilnym zakładzie przerobczym.

W wyniku przeprowadzonych analiz otrzymano informacje o kosztach poszczególnych etapów eksploatacji z wykorzystaniem odmiennych systemów inicjowania ładunków materiału wybuchowego. Zestawienie powyższych danych umożliwiło również porównanie kosztów produkcji kruszywa z wykorzystaniem stacjonarnego oraz mobilnego zakładu przerobczego, w odniesieniu do 1 Mg produktu końcowego urabianego z wykorzystaniem zmiennych systemów inicjowania MW.

### 3. Analiza porównawcza kosztów eksploatacji

Analizę oparto na wynikach uzyskanych dla szesnastu serii długich otworów strzałowych odpalanych w zbliżonych warunkach geologiczno-górnicych z wykorzystaniem syste-

mu elektronicznej inicjacji MW (tab. 1) i dwóch systemów nieelektrycznych (tab. 2). Na dobór danych do analizy wpływało również miejsce prowadzenia robót strzałowych, które bezpośrednio determinowało miejsce produkcji kruszywa – stacjonarny bądź mobilny zakład przerobczy. Zestawienie kosztów przedstawiono na przykładzie nieelektrycznego systemu inicjacji oznaczonego numerem I.

#### 3.1. Analiza robót wiertniczo-strzałowych

Analizę robót wiertniczo-strzałowych oparto na pomiarze czasu i zużycia paliwa wiertnicy oraz zużycia poszczególnych środków strzałowych do odpalania danej serii. W tab. 3 przedstawiono czas pracy wiertnicy, ilość zużytego paliwa oraz jego koszty. Cenę oleju napędowego przyjęto jako średnia hurtową cenę rynkową – 3,367 zł/l – ORLEN. W tab. 4 przedstawiono przykładowe zestawienie kosztów środków strzałowych wykorzystanych do odpalania serii o numerze ewidencyjnym 108/15. Należy zaznaczyć, iż koszty środków strzałowych zostały przyjęte na podstawie ogólnodostępnych cenników i mogą one odbiegać od rzeczywistych cen, po jakich są nabywane środki strzałowe przez zakład górniczy. Z wykorzystaniem powyżej przedstawionej metodyki przeanalizowano wszystkie szesnaście serii robót strzałowych przedstawionych w tab. 1 i 2.

#### 3.2. Analiza kosztów transportu i kruszenia brył nadgabarytowych

Na ocenę efektu końcowego urabiania kopaliny z wykorzystaniem materiałów wybuchowych istotny wpływ ma granulacja otrzymanego urobku. W razie zaistnienia potrzeby, bryły nadgabarytowe odstawiano z wykorzystaniem ładowarek, a następnie rozbijano z wykorzystaniem koparki z osprzętem w postaci młota hydraulicznego. W tab. 5 przedstawiono czas pracy ładowarek, zużycie paliwa oraz koszt poszczególnych operacji dla badanych serii, natomiast tab. 6 przedstawia koszty związane z rozbijaniem brył ponadgabarytowych.

**Tabela 1. Zestawienie parametrów odpalonych serii z wykorzystaniem elektronicznego systemu inicjacji MW**  
**Table 1. Summary of blasting series parameters fired by the use of electronic initiation system**

System inicjowania	Elektroniczny							
numer ewidencji	107/15	109/15	111/15	115/15	116/15	119/15	125/15	132/15
data	03/08/15	07/08/15	11/08/15	14/08/15	18/08/15	21/08/15	31/08/15	15/09/15
miejsce	III/IIIa	III/IIIa	III/IIIa	strop/Va	strop/Va	strop/Va	III/IIIa	strop/Va
typ otworów	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu
rodzaj ładunku	ciągły	ciągły	ciągły	dzielony	ciągły	dzielony	ciągły	dzielony
ilość otworów	29	36	26	16	23	14	29	16
kąt wiercenia	10°	10°	10°	12°	12°	10°	10°	12°
średnica otworów [mm]	95	95	95	95	95	95	95	95
długość otworów [m]	12,0	9,0	12,5	19,5	12,0	20,0	11,5	17,0
długość przybitki [m]	2,8	2,8	2,8	4,0	2,8	4,0	2,8	4,0
długość przewiertu [m]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
wymiary siatki strzałowej [m]	a	3,9	3,5	3,9	3,5	3,9	3,5	3,5
	b	2,6	3,0	2,6	-	2,6	-	3,0
	z	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
szacowana ilość odstrzelonego urobku [Mg]	11 500	10 000	10 500	10 000	9 000	9 000	10 500	8 700

(opracowanie własne)

**Tabela 2. Zestawienie parametrów odpalonych serii z wykorzystaniem nieelektrycznego systemu inicjacji MW**  
**Table 2. Summary of blasting series parameters fired by the use of non-electronic initiation systems**

System inicjowania	Nielektryczny I				Nielektryczny II			
	108/15	112/15	113/15	117/15	118/15	127/15	128/15	130/15
numer ewidencji odstrzału	108/15	112/15	113/15	117/15	118/15	127/15	128/15	130/15
data	03/08/15	11/08/15	14/08/15	18/09/15	21/08/15	03/09/15	08/09/15	11/09/15
miejsce	strop/Va	strop/Va	III/IIIa	III/IIIa	III/IIIa	strop/Va	III/IIIa	strop/Va
rodzaj otworów	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu	długie, odchylone od pionu
rodzaj ładunku	dzielony	dzielony	ciągły	ciągły	ciągły	ciągły	ciągły	dzielony
ilość otworów	12	17	33	30	30	26	30	18
kąt wiercenia	12°	12°	10°	10°	10°	10°	10°	12°
średnica otworów [mm]	95	95	95	95	95	95	95	95
długość otworów [m]	19,5	16,5	10,0	11,5	11,5	12,5	11,0	18,5
długość przybitki [m]	4,0	4,0	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	4,0
długość przewiertu [m]	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
wymiary siatki strzałowej [m]	a	3,5	3,5	3,5	3,5	3,9	3,9	3,5
	b	-	-	3,0	3,0	2,6	2,6	3,0
	z	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
szacowana ilość odstrzelonego urobku [Mg]	8 500	9 500	10 000	11 500	11 500	10 500	10 000	10 500

(opracowanie własne)

**Tabela 3. Zestawienie kosztów pracy wiertnicy**  
**Table 3. Summary of drilling rig labor costs**

System inicjowania	Nielektryczny I			
	D92_15	D96_15	D97_15	D101_15
numer odwiertu	D92_15	D96_15	D97_15	D101_15
numer ewidencji	108/15	112/15	113/15	117/15
data odwiertu	03/08/15	11/08/15	14/08/15	18/09/15
miejsce wiercenia	strop/Va	strop/Va	III/IIIa	III/IIIa
czas pracy wiertnicy [h]	13	15	17,5	19
zużycie paliwa [l]	342	419	483	519
koszt paliwa [zł]	1 151,51	1 410,77	1 626,26	1 747,47

(opracowanie własne)

**Tabela 4. Zestawienie środków strzałowych dla serii 108/15**  
**Table 4. Summary of blasting agents for 108/15 series**

	Nazwa	Ilość	Koszt [zł]
materiał wybuchowy	MW Emulsyjny T-500	1 952 kg 58 szt.	5 380,80 955,06
zapalniki	nielektryczny   21 m nielektryczny   12 m	29 szt. 29 szt.	724,37 529,89
konektory	42 ms – 4,8 m		397,29
linia strzałowa	rukna nieelektryczna	30 m	57,60
		łącznie koszt środków strzałowych	8 045,01

(opracowanie własne)

**Tabela 5. Czas pracy maszyn i koszty transportu brył nadgabarytowych**  
**Table 5. Time of machine operation and costs generated by oversized rock transport**

System inicjowania	Nielektryczny I			
	108/15	112/15	113/15	117/15
numer ewidencji odstrzału	108/15	112/15	113/15	117/15
czas pracy maszyn [h]	Ładowarka I	2	4	1
	Ładowarka II	1,5	-	1
	łącznie	3,5	4	2
zużycie paliwa [l]	Ładowarka I	38	80	21
	Ładowarka II	41	-	28
	łącznie	79	80	49
koszt paliwa [zł]	Ładowarka I	127,95	269,36	70,71
	Ładowarka II	138,04	-	94,27
	łącznie	265,99	269,36	164,98

(opracowanie własne)

**Tabela 6. Czas pracy maszyn i koszty w trakcie rozdrobnienia brył nadgabarytowych**

**Table 6. Time of machine operation and costs generated by oversized rock crushing**

System inicjowania	Nielektryczny I				
	numer ewidencji odstrzału	108/15	112/15	113/15	117/15
czas rozbijania brył ponadgabarytowych [h]	8	9	5	6	
zużycie paliwa [l]	104	109	65	81	
koszt paliwa [zł]	350,17	367,00	218,86	272,73	

(opracowanie własne)

### 3.3. Analiza kosztów ramowania ścian i usuwania nierówności spągu

Kolejną czynnością technologiczną poddaną analizie, wpływającą na całkowity koszt wykonywania robót strzałowych, jest proces związany z wykonywaniem ramowania ścian (tab. 7) oraz usuwaniem nierówności spągu (tab. 8). Prace wykonano z użyciem koparki będącej w posiadaniu przedsiębiorcy.

**Tabela 7. Czas pracy maszyny i koszty w trakcie ramowania ścian**

**Table 7. Time of machine operation and costs generated by bench leveling**

System inicjowania	Nielektryczny I				
	numer ewidencji odstrzału	108/15	112/15	113/15	117/15
czas ramowania ściany [h]	2,5	2,5	2	2	
zużycie paliwa [l]	59	61	47	46	
koszt paliwa [zł]	198,65	205,39	158,25	154,88	

(opracowanie własne)

**Tabela 8. Czas pracy maszyny i koszty usuwania nierówności spągu**

**Table 8. Time of machine operation and costs generated by toe leveling**

System inicjowania	Nielektryczny I				
	numer ewidencji odstrzału	108/15	112/15	113/15	117/15
czas czyszczenia progów przyspągowych [h]	2	3	-	1,5	
zużycie paliwa [l]	47	72	-	33	
koszt paliwa [zł]	158,25	242,42	-	111,11	

(opracowanie własne)

### 3.4. Analiza kosztów załadunku urobku

Miejsce prowadzenia robót strzałowych ściśle warunkowało miejsca procesu przerobczego, któremu została poddawana kopalina. Urobek uzyskany ze strzelań na poziomie strop/Va był transportowany do stacjonarnego zakładu przerobczego, natomiast pochodzący z poziomu III/IIIa rozdrabniano i klasyfikowano w mobilnych zakładach przerobczych zakładu górniczego. W tab. 9 i 10 przedstawiono czas pracy ładowarek, ilość zużytego paliwa oraz całkowity koszt załadunku samochodów technologicznych (tab. 9) i mobilnego zakładu przerobczego (tab. 10) urobkiem.

**Tabela 9. Czas pracy, zużycie paliwa i koszty załadunku samochodów technologicznych urobkiem**

**Table 9. Work time, fuel consumption and costs generated by muckpile loading of mining trucks**

System inicjowania	Nielektryczny I		
	numer ewidencji odstrzału	108/15	112/15
czas pracy maszyn [h]	Ładowarka 1	11	12
	Ładowarka 2	6	2
	Ładowarka 3	25	33
	łącznie	42	47
		89	
zużycie paliwa [l]	Ładowarka 1	220	245
	Ładowarka 2	161	53
	Ładowarka 3	602	776
	łącznie	983	1 074
		2 057	
koszt paliwa [zł]	Ładowarka 1	740,74	824,92
	Ładowarka 2	542,09	178,45
	Ładowarka 3	2 026,93	2 612,79
	łącznie	3 309,76	3 616,16
		6 925,92	

(opracowanie własne)

**Tabela 10. Czas pracy, zużycie paliwa i koszty załadunku mobilnego zakładu przerobczego urobkiem**

**Table 10. Work time, fuel consumption and costs generated by loading of mobile processing plant unit**

System inicjowania	Nielektryczny I		
	numer ewidencji odstrzału	113/15	117/15
czas pracy maszyn [h]	Ładowarka 1	19	17
	Ładowarka 2	25	30
	Ładowarka 3	3	6
	Ładowarka 4	-	2
	łącznie	47	55
		102	
zużycie paliwa [l]	Ładowarka 1	399	340
	Ładowarka 2	672	798
	Ładowarka 3	71	141
	Ładowarka 4	-	45
	łącznie	1 142	1 324
		2 466	
koszt paliwa [zł]	Ładowarka 1	1 343,43	1 144,78
	Ładowarka 2	2 262,62	2 686,87
	Ładowarka 3	239,06	474,75
	Ładowarka 4	-	151,52
	łącznie	3 845,11	4 457,92
		8 303,03	

(opracowanie własne)

### 3.5. Analiza kosztów odstawy urobku samochodami technologicznymi

Odstawa urobku pochodzącego z poziomu strop/Va odbywała się z wykorzystaniem samochodów technologicznych w postaci dwóch maszyn o ładowności 45 Mg (jeden egzemplarz stanowiący rezerwę technologiczną) oraz jednego samochodu o ładowności 30 Mg. Samochody technologiczne najczęściej pracowały w konfiguracji - jedna maszyna o ładowności 45 Mg i druga o ładowności 30 Mg. Liczba cykli, czas pracy oraz zużycie paliwa przedstawiono w tab. 11.

**Tabela 11. Czas pracy, zużycie paliwa i koszty odstawy urobku z wykorzystaniem samochodów technologicznych**

**Table 11. Work time, fuel consumption and costs generated by haulage with the use of muckpile transport by mining trucks**

System inicjowania numer ewidencji odstrzałów	Nielektryczny I	
	108/15	112/15
liczba cykli odstawy	264	297
łączy czas odstawy [h]	42	47
	89	
zużycie paliwa [l]	628	703
	1 331	
koszt paliwa [zł]	2 114,48	2 367,00
	4 481,48	

(opracowanie własne)

### 3.6. Analiza kosztów pracy stacjonarnego zakładu przerobczego

Analizę pracy stacjonarnego zakładu przerobczego oparto o kontrolę ilości produktu końcowego pochodzącego z przerobu danej partii urobku, obserwację wydajności owego procesu, jak i ocenę wielkości zużycia energii elektrycznej zużytej przez zakład przerobczy (tab. 12). Cenę energii elektrycznej przyjęto jako 0,4667 zł/kWh dla taryfy C11 (podstawowa) – Polska Grupa Energetyczna S.A.

**Tabela 12. Analiza kosztów pracy stacjonarnego zakładu przerobczego**

**Table 12. Operation costs of the processing plant unit**

System inicjowania numer ewidencji odstrzałów	Nielektryczny I	
	108/15	112/15
czas pracy zakładu przerobczego [h]	42	47
	89	
ilość produktu końcowego [Mg]	8 564	9 543
	18 107	
wydajność [Mg/h]	203,9	203,1
	203,4	
zużycie energii [kWh]	4 520	5 050
	9 570	
koszt energii [zł]	2 109,48	2 356,84
	4 466,32	

(opracowanie własne)

### 3.7. Analiza kosztów pracy mobilnego zakładu przerobczego

Urobek pochodzący ze strzelań realizowanych na poziomie III/IIIa podlegał procesowi przerobu z wykorzystaniem odpowiedniego zestawu mobilnego. W wytypowanej kopalni wyróżnić można było kilka zestawów odpowiadających za produkcję danej frakcji produktu, a mianowicie:

- zestaw I – frakcja: 0 – 63 mm,
- zestaw II – frakcja: 0 – 31,5 mm; 31,5 – 63 mm,
- zestaw III – frakcja: 0 – 31,5 mm; 31,5 – 63 mm,
- zestaw IV – frakcja: 0 – 31,5 mm.

**Tabela 13. Analiza kosztów pracy mobilnego zakładu przerobczego**

**Table 13. Operation costs of the mobile processing plant unit**

System inicjowania		Nielektryczny I	
numer ewidencji odstrzału		113/15	117/15
czas pracy [h]	Zestaw I	-	9
	Zestaw II	-	46
	Zestaw III	20	-
	Zestaw IV	28	-
	łącznie	48	55
		103	
ilość produktu końcowego [Mg]	Zestaw I	-	1 903
	Zestaw II	-	9 633
	Zestaw III	4 268	-
	Zestaw IV	5 728	-
	łącznie	9 996	11 536
		21 532	
wydajność [Mg/h]	Zestaw I	-	211,4
	Zestaw II	-	209,4
	Zestaw III	213,4	-
	Zestaw IV	204,6	-
	łącznie	208,3	209,7
		418,0	
zużycie paliwa [l]	Zestaw I	-	399
	Zestaw II	-	3 266
	Zestaw III	1 220	-
	Zestaw IV	1 649	-
	łącznie	2 869	3 665
		6 534	
koszt paliwa [zł]	Zestaw I	-	1 343,43
	Zestaw II	-	10 996,63
	Zestaw III	4 707,74	-
	Zestaw IV	5 552,18	-
	łącznie	9 659,92	12 40,06
		21999,98	

(opracowanie własne)

Zestawienie wyników kosztów uwzględniających użycie elektronicznego systemu inicjacji dla zmiennego węzła kruszenia. W tab. 14 i 15 zestawiono koszty prowadzonej eksploatacji w czasie wykonywania robót strzałowych z użyciem elektronicznego systemu inicjacji. Zostały one sklasyfikowane z uwzględnieniem miejsca przerobki kopaliny, tj. mobilny bądź stacjonarny zakład przerobczy.

**Tabela 14. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przerobką w stacjonarnym zakładzie przerobczym**

**Table 14. Costs statement of deposit mining including costs of processing in the processing plant unit**

System inicjowania		Elektryczny
ilość produktu końcowego [Mg]		36 957
wydajność stacjonarnego zakładu przerobczego [Mg/h]		211,2
koszt	wiercenie otworów strzałowych [zł]	5 097,64
	środki strzałowe [zł]	35 643,12
	odwożenie brył ponadgabarytowych [zł]	481,49
	rozbijanie brył ponadgabarytowych [zł]	885,53
	ramowanie ściany [zł]	397,30
	czyszczenie progów przyspagowych [zł]	276,10
	załadunek urobku na samochody technologiczne [zł]	13 232,32
	odstawa urobku [zł]	8 262,61
	praca stacjonarnego zakładu przerobczego [zł]	8 814,57
	Łącznie [zł]	73 090,68

Mając na uwadze ilość wyprodukowanego kruszywa i całkowity koszt produkcji uwzględniający wszystkie analizowane operacje technologiczne, możliwe jest wyznaczenie jednostkowego kosztu produkcji 1 Mg kruszywa w stacjonarnym zakładzie przerobczym, korzystając z zależności:

$$\frac{\text{koszt eksploatacji}}{\text{ilość produktu końcowego}} = \frac{73\,090,68 \text{ zł}}{36\,957 \text{ Mg}} = 1,98 \text{ zł/Mg}$$

Analogicznie jak dla zakładu stacjonarnego wyznaczono jednostkowy koszt produkcji 1 Mg w zakładzie mobilnym, który wynosił 2,72 zł/Mg.

Różnica kosztów rzędu ok. 1 zł przypadającego na 1 Mg produktu końcowego na niekorzyść mobilnych zestawów jest związana przede wszystkim z kosztami pracy samych zakładów produkcyjnych. Pomimo wyeliminowania odstawy odstrzelonego urobku do zakładu produkcyjnego (bezpośredni załadunek mobilnych zestawów przez ładowarki z urobku w usypie), koszty pracy mobilnych zestawów są znacznie wyższe, co w konsekwencji przełożyło się na wyższy koszt jednostkowy.

**Tabela 15. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przeróbką w mobilnym zakładzie przerobczym – elektroniczny system inicjowania**

**Table 15. Costs statement of deposit mining including costs of processing in the mobile processing plant unit – electronic initiation system**

System inicjowania		Elektroniczny
ilość produktu końcowego [Mg]		42 621
wydajność mobilnego zakładu przerobczego [Mg/h]		213,1
koszt	wiercenie otworów strzałowych [zł]	6 094,28
	środki strzałowe [zł]	49 971,78
	odwożenie brył ponadgabarytowych [zł]	255,89
	rozbijanie brył ponadgabarytowych [zł]	673,40
	ramowanie ściany [zł]	282,84
	czyszczenie progów przyspągowych [zł]	158,25
	załadunek urobku na zakład przerobczy [zł]	16 090,89
	praca mobilnego zakładu przerobczego [zł]	42 228,91
	Łącznie [zł]	115 756,24

**Tabela 16. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przeróbką w zakładzie stacjonarnym – nieelektryczne systemy inicjowania**

**Table 16. Costs statement of deposit mining including costs of processing in the processing plant unit – non-electric initiation systems**

System inicjowania		Nieelektryczny I	Nieelektryczny II
ilość produktu końcowego [Mg]		18 107	21 156
wydajność stacjonarnego zakładu przerobczego [Mg/h]		203,4	207,4
koszt	wiercenie otworów strzałowych [zł]	2 562,28	2 717,17
	środki strzałowe [zł]	16 459,40	17 946,96
	odwożenie brył ponadgabarytowych [zł]	535,35	387,21
	rozbijanie brył ponadgabarytowych [zł]	717,17	656,57
	ramowanie ściany [zł]	404,04	370,37
	czyszczenie progów przyspągowych [zł]	400,67	154,88
	załadunek urobku na samochody technologiczne [zł]	6 925,92	7 841,74 zł
	odstawa urobku [zł]	4 481,48	5 218,85
	praca stacjonarnego zakładu przerobczego [zł]	4 466,32	5 040,36
	Łącznie [zł]	36 952,63	40 325,11

(opracowanie własne)

**Tabela 17. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przeróbką w zakładzie mobilnym**

**Table 17. Costs statement of deposit mining including costs of processing in the mobile processing plant unit – non-electric initiation systems**

System inicjowania		Nieelektryczny I	Nieelektryczny II
ilość produktu końcowego [Mg]		21 532	21 637
wydajność mobilnego zakładu przerobczego [Mg/h]		209,0	208,0
koszt	wiercenie otworów strzałowych [zł]	3 373,73	3 457,91
	środki strzałowe [zł]	23 287,75	20 638,51
	odwożenie brył ponadgabarytowych [zł]	299,66	225,59
	rozbijanie brył ponadgabarytowych [zł]	491,59	518,52
	ramowanie ściany [zł]	313,13	309,77
	czyszczenie progów przyspągowych [zł]	111,11	242,42
	załadunek urobku na zakład przerobczy [zł]	8 303,03	8 521,87
	praca mobilnego zakładu przerobczego [zł]	21 999,98	22 222,19
	Łącznie [zł]	58 179,98	56 136,78

(opracowanie własne)

### 3.8. Zestawienie wyników kosztów uwzględniających użycie nieelektrycznych systemów inicjacji

Podobnie jak dla elektronicznego systemu inicjacji, przeprowadzono analizę kosztów poszczególnych procesów technologicznych dla zastosowanych dwóch systemów nieelektrycznych (tab. 16 i 17). Analogicznie, wyniki zróżnicowano ze względu na miejsce przeróbki (mobilny lub stacjonarny zakład przeróbczy).

Koszt jednostkowy produktu końcowego w czasie prowadzenia eksploatacji z wykorzystaniem nieelektrycznych systemów inicjacji ładunków MW i przeróbki w stacjonarnym zakładzie wyniósł odpowiednio 2,04 zł/Mg dla pierwszego systemu nieelektrycznego i 1,91 zł/Mg dla drugiego z zastosowanych systemów.

Koszt jednostkowy produktu końcowego w czasie prowadzenia eksploatacji z wykorzystaniem nieelektrycznych systemów inicjacji ładunków MW i przeróbki w mobilnych zestawach wyniósł odpowiednio 2,70 zł/Mg dla pierwszego systemu nieelektrycznego i 2,59 zł/Mg dla drugiego.

Dodatkowo, na rys. 2 i 3 przedstawiono jednostkowe koszty produkcji dla poszczególnych etapów produkcji odpowiednio z wykorzystaniem mobilnego (rys. 2) i stacjonarnego (rys. 3) zakładu przeróbczego.

## 4. Wnioski

Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, iż koszty produkcji 1 Mg kruszywa przy zastosowaniu różnych systemów inicjowania ładunków MW są do siebie zbliżone. Zastosowanie mobilnych zestawów do przeróbki podwyższa koszt jednostkowy średnio o 30% w porównaniu do stacjonarnego zakładu przeróbczego.

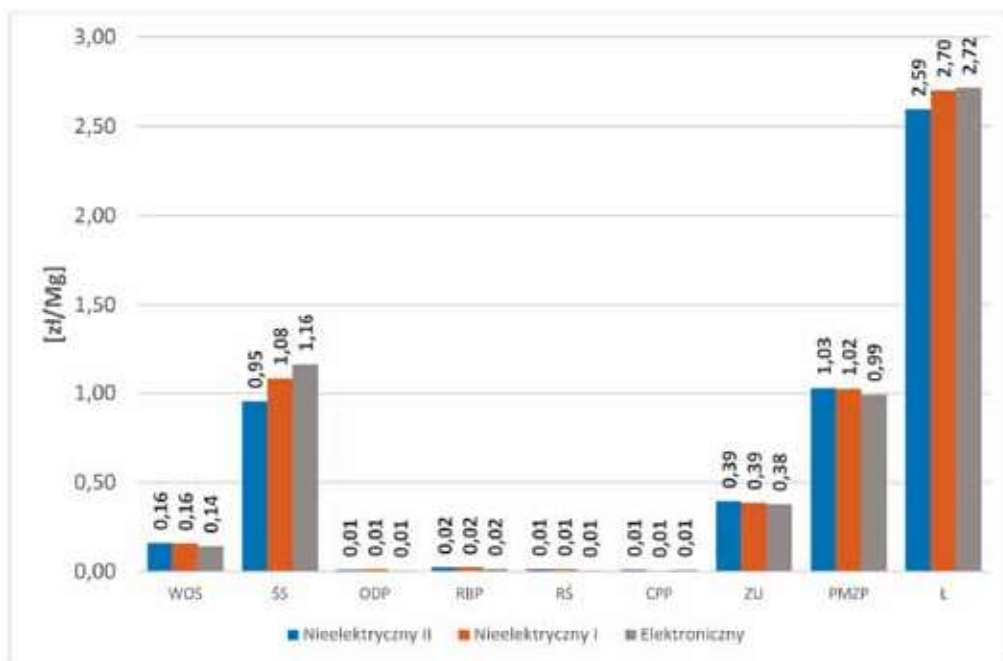
Analiza kosztów eksploatacji z wykorzystaniem mobilnego zakładu przeróbczego wykazała, iż najniższy koszt jednostkowy występuje podczas odpalania serii z użyciem nieelektrycznego systemu inicjowania nr II. Zbliżone koszty eksploatacji występują w przypadku zastosowania nieelektrycznego systemu inicjowania nr I oraz systemu elektronicznego, zatem różnica w kosztach prowadzenia eksploatacji nie jest wyraźna.

W przypadku prowadzenia operacji przeróbczych w stacjonarnym zakładzie przeróbczym, najniższy koszt jednostkowy został ponownie osiągnięty przy wykonywaniu robót strzałowych z wykorzystaniem nieelektrycznego systemu nr II. System nieelektryczny nr I okazał się rozwiązaniem droższym w warunkach prowadzonej analizy niżeli system elektroniczny.

Zastosowanie elektronicznego systemu inicjowania ładunków MW nie spowodowało znacznego podwyższenia kosztów produkcji kruszywa. Otrzymane różnice kosztów są na tyle niewielkie, iż zastosowanie systemu elektronicznego może okazać się opłacalną inwestycją, tym bardziej, iż podczas wykonywania badań, nie były optymalizowane siatki otworów strzałowych, a więc nie były wykorzystane do końca możliwości jakie nam oferują elektroniczne systemy inicjowania. Stosowane podczas badań parametry geometryczne siatki otworów strzałowych były wypracowane przez lata w zakładzie górniczym i dostosowane do możliwości stosowanych systemów nieelektrycznych. W związku z powyższym istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo, iż koszty jednostkowe po zoptymalizowaniu parametrów siatki uległyby obniżeniu.

Analiza poszczególnych etapów procesu eksploatacji dla zadanych warunków wykazała przewagę zastosowania systemu elektronicznego poprzez:

- wyższą wydajność stacjonarnego oraz mobilnego zakładu przeróbczego,
- krótszy czas pracy maszyn podczas ramowania ścian i usuwania nierówności spąg (mniejsza liczba progów),

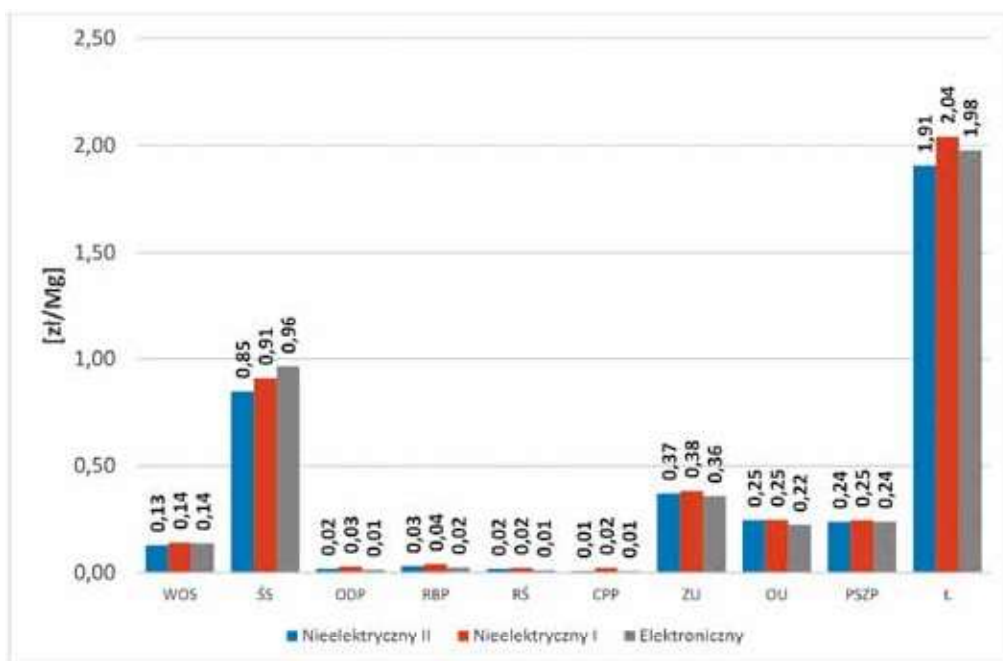


(WOS – wiercenie otworów strzałowych; ŚŚ – środki strzałowe; ODP – odwożenie brył ponadgabarytowych; RBP – robienie brył ponadgabarytowych; RŚ – ramowanie ścian; CPP – czyszczenie progów przyspągowych; ZU – załadunek urobku; OU – odstawa urobku; PSZP – praca stacjonarnego zakładu przeróbczego; Ł – koszty łącznie)

Rys. 2. Jednostkowe koszty produkcji z przeróbką w mobilnych zakładach przeróbczych

Fig. 2. Production unit costs for the mobile processing plant unit





(WOS – wiercenie otworów strzałowych; ŚS – środki strzałowe; ODP – odwożenie brył ponadgabarytowych; RBP – robienie brył ponadgabarytowych; RŚ – ramowanie ścian; CPP – czyszczenie progów przyspagowych; ZU – ładunek urobku; OU – odstawa urobku; PSZP – praca stacjonarnego zakładu przerobczego; Ł – koszty łącznie)

Rys. 3. Jednostkowe koszty produkcji z przeróbką w stacjonarnym zakładzie

Fig. 3. Production unit costs for the stationary processing plant unit

- mniejszą liczbę brył nadgabarytowych,
- mniejszą liczbę kursów potrzebnych do odstawy tej samej ilości urobku przez samochody technologiczne.

Koszt wymienionych procesów w kosztach całkowitych eksploatacji stanowiły ich niewielką część, co nie wpływa znacząco na uzyskanie znacznych korzyści ekonomicznych wynikających z użycia rozwiązań systemu elektronicznego.

Analiza czasów pracy maszyn pozwala na stwierdzenie, iż większy nakład godzinowy pracy występuje przy zastosowaniu systemów nieelektrycznych, co w dłuższym okresie czasu może wpłynąć na większe obciążenia maszyn, jak i zdecydowanie wyższe koszty ich eksploatacji.

Należy zaznaczyć, że otrzymane wyniki dotyczą określonych warunków geologiczno-górnich i mogą się znacznie różnić w innych warunkach. W celu uszczegółowienia wniosków należałoby wykonać powtórne analizy dla długich przedziałów czasowych oraz zmiennych systemów inicjowania ładunków MW, wraz z optymalizacją parametrów geometrycznych siatek otworów strzałowych. Jednakże, na podstawie przeprowadzonych obserwacji i analiz można spodziewać się, że wykorzystanie elektronicznego systemu inicjacji ładunków MW przyniesie wymierne korzyści dla zakładu górnego.

Publikacja zrealizowana w ramach działalności statutowej 11.11.100.597

## Literatura

- KORZENIOWSKI J.I., ONDERKA Z. 2006 - Roboty strzelnicze w górnictwie odkrywkowym. Wydawnictwa i Szkolenia Górnicze Burnat & Korzeniowski, Wrocław.
- MORAWA R., ONDERKA Z. 2013 - Górnicze środki strzałowe i sprzęt strzałowy. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków.

- MORAWA R., BARAŃSKI K. 2013a - Analiza kosztów środków strzałowych przy różnym sposobie inicjowania w metodzie strzelania długimi otworami. „Górnictwo Odkrywkowe” nr 3–4, s. 114–120.
- MORAWA R., BARAŃSKI K. 2013b - Analiza kosztów środków strzałowych przy różnym sposobie inicjowania w metodzie strzelania długimi otworami. „Materiały Wysokoenergetyczne”, t. 5, s. 45–58.
- ONDERKA Z. 2001a - Warunki efektywnego urabiania skał za pomocą MW. Konferencja Technika Strzelnicza w Górnictwie. Jaszowiec, s. 185–208.
- ONDERKA Z. 2001b - Efekt sejsmiczny strzelania – uwagi i zalecenia. Konferencja Technika Strzelnicza w Górnictwie. Jaszowiec, s. 435–454.
- ONDERKA Z., SIERADZKI J., WINZER J. 2003 - Wpływ robót strzelniczych na otoczenie kopalń odkrywkowych. Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.
- PRĘDKI S. 2010 - Techniczno-ekonomiczna analiza efektywności stosowania elektronicznych systemów inicjowania materiałów wybuchowych w warunkach polskich kopalń surowców skalnych. Praca doktorska (niepublikowana), GIG, Katowice.
- RAWICKI Z., KRZELOWSKI J. 2016 - Bezpieczeństwo robót strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych. Szkoła Górnictwa Odkrywkowego 2016 [Dokument elektroniczny]: Kraków, 4–5 luty 2016: materiały konferencyjne / Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie.
- STRYSZEWSKI M., WINZER P. 2001 - Metoda wyznaczania jednostkowych kosztów robót strzelniczych w kopalniach odkrywkowych. Konferencja: Technika strzelnicza w górnictwie: jubileusz Profesora Zbigniewa Onderki: Jaszowiec - Kraków: Agencja Wydawniczo-Poligraficzna „ART-TEKST”, s. 543–549.

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2016  
Artykuł akceptowano do druku 15.02.2017