



Analiza kosztów eksploatacji przy prowadzeniu robót strzałowych z wykorzystaniem elektronicznego systemu inicjowania materiałów wybuchowych

Józef PYRA¹⁾, Bartosz PAPIŃSKI²⁾

¹⁾ Dr inż.; AGH University of Science and Technology, Kraków, Mickiewicza 30, 30-059, Poland; email: pyra@agh.edu.pl

²⁾ inż.; KGHM Polska Miedź SA.; email: papinskiartosz@gmail.com

DOI: 10.29227/IM-2016-02-06

Streszczenie

Artykuł przedstawia analizę wybranych kosztów eksploatacji prowadzonej w danych warunkach geologiczno-górnich na podstawie zakładu górnego eksploatującego kruszywo dolomitowe. Autorzy pracy zgromadzili przez okres dwóch miesięcy materiał badawczy dotyczący sposobu realizacji prac strzałowych, ze szczególnym uwzględnieniem sposobu inicjowania ładunków materiału wybuchowego, co stanowiło podstawę do oszacowania różnicy w kosztach w odniesieniu do zastosowanych parametrów prac strzałowych. Głównym celem badań, których wyniki przedstawiono w niniejszym artykule, była analiza wpływu zastosowania elektronicznego systemu inicjacji ładunków MW na koszty prowadzonej eksploatacji w zakładzie górnym.

Słowa kluczowe: koszty eksploatacji, roboty strzałowe, elektroniczny system inicjowania

Wprowadzenie

Eksploatacja złóż surowców skalnych w Polsce prowadzona jest w przeważającym stopniu z wykorzystaniem techniki strzelniczej. Powszechnie stosowaną metodą urabiania jest odpalanie ładunków MW z wykorzystaniem długich otworów strzałowych ze względu na swoją efektywność w postaci uzysku dużej ilości równomierne rozdrobnionego urobku. Wpływ na uzyskane efekty robót strzałowych, oprócz warunków geologiczno-górnich, mają m.in. dobór właściwego rodzaju materiału wybuchowego, odpowiedni kształt i konstrukcja ładunków, należyte wykonanie przybitki, właściwy punkt inicjacji oraz odpowiednio dobrane opóźnienia międzystrzałowe [1, 3, 4, 5].

Do inicjowania ładunków materiału wybuchowego (MW) oraz uzyskiwania odpowiednich opóźnień międzystrzałowych wykorzystywane są zapalniki. Ze względu na różnice w budowie oraz zasadzie działania zapalników wyróżniamy trzy różne systemy inicjowania [2]:

- elektryczny,
- nieelektryczny,
- elektroniczny.

Roboty strzałowe prowadzone w polskich kopalniach odkrywkowych w głównej mierze realizowane są z wykorzystaniem nieelektrycznego systemu inicjowania. Wykazują one znaczący postęp w obszarze bezpieczeństwa robót strzałowych oraz stwarzają nowe możliwości odpalania milisekundowego w stosunku do wcześniej powstałych systemów elektrycznych.

W wyniku postępu technicznego pod koniec XX wieku rozpoczęto stosowanie systemów inicjacji MW opartych o zapalniki elektroniczne. Systemy te mają na celu połącznie zalet dwóch wcześniejszych systemów inicjowania – elektrycznego oraz nieelektrycznego. Zapalniki elektroniczne różnią się sposobem zapoczątkowania impulsu detonacji oraz sposobem uzyskiwania dowolnych i bardzo precyzyjnych opóźnień międzystrzałowych. Owa precyzja wpływa na poprawę efektywności urabiania, jak i minimalizację oddziaływania robót strzałowych na otoczenie [6].

Prowadzona eksploatacja powinna opierać się na doborze odpowiednich środków technicznych, umożliwiających ekonomicznie opłacalne urabianie złoże wraz ze spełnieniem określonych wymogów bezpieczeństwa [7]. Spełnienie owych warunków umożliwiają powszechnie stosowane systemy nieelektryczne, jednak oprócz wielu zalet posiadają one również pewne ograniczenia. Ograniczona precyzja zapalników oraz z góry określony wachlarz opóźnień międzystrzałowych stanowi utrudnienie w uzyskaniu oczekiwanych efektów robót strzałowych, jakie można uzyskać w wyniku precyzyjnie zadanych i odpowiednio dobranych opóźnień międzystrzałowych.

Zastosowanie elektronicznych systemów inicjacji MW może znacząco wpłynąć na poprawę rezultatów urabiania złoże. Zapalniki elektroniczne w porównaniu do tych nieelektrycznych stanowią o wiele bardziej zaawansowane rozwiązanie techniczne, umożliwiając tym samym niwelację niedoskonałości systemów nieelektrycznych. Po-

Tab. 1. Zestawienie odstrzałów wykorzystujących elektroniczny system inicjacji MW

Tab. 1. List of blasting works in which electric detonators were used

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	95 mm	95 mm	95 mm	95 mm	95 mm	95 mm	95 mm	95 mm
długość otworów	12,0 m	9,0 m	12,5 m	19,5 m	12,0 m	20,0 m	11,5 m	17,0 m
długość przybitki	2,8 m	2,8 m	2,8 m	4,0 m	2,8 m	4,0 m	2,8 m	4,0 m
długość przewiertu	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m	1,0 m
wymiary siatki strzałowej	a	3,9 m	3,5 m	3,9 m	3,5 m	3,9 m	3,5 m	3,5 m
	b	2,6 m	3,0 m	2,6 m	-	2,6 m	-	3,0 m
	z	3,0 m	3,0 m	3,0 m	3,0 m	3,0 m	3,0 m	3,0 m
szacowana ilość odstrzelonego urobku	11 500 Mg	10 000 Mg	10 500 Mg	10 000 Mg	9 000 Mg	9 000 Mg	10 500 Mg	8 700 Mg

mimo jednak wyższych kosztów zakupu systemów elektronicznych, zdołały one zyskać renomę wśród służb strzałowych całego świata i znajdują coraz częstsze zastosowanie w polskich kopalniach odkrywkowych [6].

Metodyka badawcza

Analiza kosztów prowadzenie eksploatacji została dokonana na przykładzie odkrywkowej kopalni dolomitu, gdzie roboty strzałowe prowadzone są systemem mieszanym, tzn. część prac wykonywana jest przez służby strzałowe zakładu górniczego (wiercenie otworów strzałowych, projektowanie i wykonywanie robót strzałowych), a część przez podmiot zewnętrzny (dostawa wszystkich środków strzałowych). Takie rozwiązanie niesie za sobą wiele korzyści finansowych, a główną z nich jest brak konieczności utrzymywania składu MW przez kopalnię. Tym samym dostawa środków strzałowych odbywa się specjalistycznymi samochodami bezpośrednio z wytwórni lub od przedsiębiorców zajmujących się ich dystrybucją. Oprócz przyjęcia odpowiednich zasad organizacyjnych istotny wpływ na koszty prowadzonej eksploatacji mają również coraz to nowsze technologie wprowadzane przez firmy obsługujące roboty strzałowe, które mogą mieć istotny wpływ na ich redukcję.

Analiza ma na celu przedstawienie porówna-

nia kosztów eksploatacji w wytypowanej kopalni podczas wykonywania robót strzałowych z zastosowaniem systemów nieelektrycznych (dwa systemy różnych producentów) i elektronicznego systemu inicjacji MW. Analiza porównuje koszty eksploatacji kopaliny w okresie dwóch miesięcy podczas prowadzenia prac z wykorzystaniem różnych systemów inicjowania. Eksploatacja w pierwszym miesiącu, wedle założeń, miała być prowadzona z wykorzystaniem wyłącznie systemu elektronicznego, dla którego to miesiąca wyniki porównano z danymi uzyskanymi w kolejnym miesiącu, w którym to miał znaleźć zastosowanie system nieelektryczny. W rzeczywistości jednak w analizowanych okresach wykorzystywane zostały zarówno systemy nieelektryczne, jak i system elektronicznej inicjacji MW. Metoda, która umożliwiła porównanie kosztów eksploatacji z wykorzystaniem systemu elektronicznego w odniesieniu do poszczególnych systemów nieelektrycznych, oparta została na wyborze szesnastu odpalonych serii długich otworów strzałowych o zbliżonych parametrach. Połowa odpalonych serii została zainicjowana systemem elektronicznym, a druga część prac prowadzona została z wykorzystaniem systemów nieelektrycznych. Odpowiedni dobór serii badawczych umożliwił analizę kosztów eksploatacji zarówno z wykorzystaniem

Tab. 2. Zestawienie kosztów pracy wiertnicy

Tab. 2. Operation costs statement of long-hole drilling rig unit

system inicjowania	elektroniczny							
numer odwiertu	D91_15	D93_15	D95_15	D99_15	D100_15	D103_15	D109_15	D116_15
numer ewidencji	107/15	109/15	111/15	115/15	116/15	119/15	125/15	132/15
data odwiertu	30/07/2015	03/08/2015	05/08/2015	11/08/15	13/08/15	18/08/15	28/08/15	11/09/15
miejsce wiercenia	III/IIIa	III/IIIa	III/IIIa	strop/Va	strop/Va	strop/Va	III/IIIa	strop/Va
czas pracy wiertnicy	18 h	17 h	17 h	16 h	14 h	14,5 h	17,5 h	14 h
zużycie paliwa	468 l	439 l	445 l	408 l	366 l	379 l	458 l	361 l
koszt paliwa	1 575,76 zł	1 478,11 zł	1 498,32 zł	1 373,74 zł	1 232,32 zł	1 276,09 zł	1 542,09 zł	1 215,49 zł

Tab. 3. Zestawienie środków strzałowych 107/15

Tab. 3. List of explosives 107/15

	nazwa	ilość	koszt
materiał wybuchowy	MW Emulsyjny	1 952 kg	7 417,60 zł
	T-500	58 szt.	1 628,64 zł
zapalniki	elektroniczny 15 m	29 szt.	2 408,45 zł
	elektroniczny 6 m	29 szt.	2 232,71 zł
linia strzałowa	Przewody izolowane	80 m	67,97 zł
łączny koszt środków strzałowych			13 755,37 zł

stacjonarnego, jak i mobilnego zakładu przerobczego. Wykorzystane w analizie dane pochodzą z raportów dziennych pracy stacjonarnego zakładu przerobczego, jak i maszyn wykorzystywanych na co dzień w kopalni do procesów związanych z prowadzoną eksploatacją takich jak: wiercenie otworów strzałowych, rozbijanie oraz odwożenie brył ponadgabarytowych, załadunek oraz odstawa urobku, jak i pracy maszyn wchodzących w skład mobilnego zakładu przerobczego. Oprócz pracy mobilnego zakładu przerobczego przeanalizowana została również praca stacjonarnego zakładu, który jest drugim elementem odpowiadającym za przeróbkę kopaliny.

Przeprowadzona analiza ma na celu uzyskanie danych o kosztach poszczególnych etapów eksploatacji podczas zastosowania systemu elektronicznego, jak i systemów nonelektrycznych. Zestawienie wszystkich danych umożliwi porównanie kosztów poszczególnych etapów eksploatacji, jak i uzyskanie danych o kosztach produkcji przez stacjonarny oraz mobilny zakład przerobczy 1 Mg produktu końcowego dla urabiania złoża z wykorzystaniem poszczególnych systemów inicjacji MW.

Analiza porównawcza kosztów eksploatacji

Analiza została oparta na ośmiu procesach wykonywania robót strzałowych z wykorzystaniem systemu elektronicznej inicjacji MW (Tabela 1). Oprócz doboru strzelań wykorzystujących dany system, wpływ na dobór danych do analizy mia-

ło miejsce prowadzenia robót strzałowych, które bezpośrednio wpływało również na docelowe miejsce produkcji produktu końcowego – stacjonarny bądź mobilny zakład przerobczy.

Roboty wiertniczo-strzałowe

Analiza robót wiertniczo-strzałowych oparta była na pomiarze czasu i zużycia paliwa wiertnicy oraz zużycia poszczególnych środków strzałowych do danej serii. W tabeli 2 przedstawiono, dla poszczególnych serii, czas pracy wiertnicy, ilość zużytego paliwa i koszty. Cena oleju napędowego przyjęta została jako średnia hurtowa cena rynkowa – 3,367 zł/l – ORLEN. W tabeli 3 przedstawiono przykładowe zestawienie kosztów środków strzałowych wykorzystanych do odpalenia serii o numerze ewidencyjnym 107/15. Należy zaznaczyć, iż ceny środków strzałowych zostały przyjęte na podstawie ogólnodostępnych cenników i mogą się różnić od rzeczywistych cen, po jakich są nabywane środki strzałowe przez kopalnię. W taki sposób zostały przeanalizowane wszystkie serie przedstawione w tabeli 1.

Transport i kruszenie brył ponadgabarytowych

Na efekt końcowy urabiania kopaliny z wykorzystaniem materiałów wybuchowych istotny wpływ ma granulacja odstrzelonego urobku. W razie zaistnienia potrzeby, po dokonaniu odstrzału, bryły ponadgabarytowe odstawiane były przy pomocy ładowarek, a potem rozbijane z wy-

Tab. 4. Odwożenie brył ponadgabarytowych

Tab. 4. Transport of oversize rock

system inicjowania		elektroniczny							
numer ewidencji odstrzału		107/15	109/15	111/15	115/15	116/15	119/15	125/15	132/15
czas pracy maszyn	Ładowarka 1	-	1 h	2 h	1 h	2 h	-	1 h	-
	Ładowarka 2	-	-	-	-	-	2 h	-	1 h
	łącznie	-	1 h	2 h	1 h	2 h	2 h	1 h	1 h
zużycie paliwa	Ładowarka 1	-	19 l	39 l	21 l	37 l	-	18 l	-
	Ładowarka 2	-	-	-	-	-	55 l	-	30 l
	łącznie	-	19 l	39 l	21 l	37 l	55 l	18 l	30 l
koszt paliwa	Ładowarka 1	-	63,97 zł	131,31 zł	70,71 zł	124,58 zł	-	60,61 zł	-
	Ładowarka 2	-	-	-	-	-	185,19 zł	-	101,01 zł
	łącznie	-	63,97 zł	131,31 zł	70,71 zł	124,58 zł	185,19 zł	60,61 zł	101,01 zł

Tab. 5. Rozbijanie brył ponadgabarytowych

Tab. 5. Oversize rock crushing

system inicjowania		elektroniczny							
numer ewidencji odstrzału		107/2015	109/2015	111/2015	115/2015	116/2015	119/2015	125/2015	132/2015
czas rozbijania brył ponadgabarytowych		3 h	4 h	6 h	6 h	6 h	4 h	1 h	3 h
zużycie paliwa		41 l	62 l	83 l	81 l	85 l	57 l	14 l	40 l
koszt paliwa		138,05 zł	208,75 zł	279,46 zł	272,73 zł	286,20 zł	191,92 zł	47,14 zł	134,68 zł

korzystaniem koparki z osprzętem w postaci młota hydraulicznego.

W tabeli 4 przedstawiono czas pracy samochodów technologiczny, zużycie paliwa oraz koszt poszczególnych operacji dla badanych serii, natomiast w tabeli 5 przedstawiono koszty związane z rozbijaniem brył ponadgabarytowych.

Ramowanie ściany, czyszczenie progów przyspawanych

Kolejną czynnością poddaną analizie, która wpływa na całkowity koszt wykonywania robót strzałowych jest proces związany z wykonywaniem ramowania ścian (Tabela 6) oraz usuwaniem progów przyspawanych (Tabela 7), które wykonano korzystając z koparki będącej w posiadaniu przedsiębiorcy.

Ładunek urobku

Miejsce prowadzenia robót strzałowych ściśle wpływa na długość drogi odstawy do zakładu przerobczego, któremu została poddawana kopalina. Urobek ze strzelań na poziomie strop/Va był transportowany do stacjonarnego zakładu przerobczego, natomiast ten pochodzący z poziomu III/IIIa przerabiany był w mobilnych zakładach przerobczych kopalni. W tabelach 8 i 9 przedstawiono czas pracy ładowarek, ilość zużytego paliwa i całkowity koszt załadunku na samochody technologiczne (Tabela 8) i na mobilny zakład przerobczy (Tabela 9).

kowity koszt załadunku na samochody technologiczne (Tabela 8) i na mobilny zakład przerobczy (Tabela 9).

Odstawa urobku z wykorzystaniem samochodów technologicznych

Odstawa urobku pochodzącego z poziomu strop/Va odbywała się z wykorzystaniem samochodów technologicznych tj.: dwóch maszyn o ładowności 45 Mg, z którego jeden stanowił zapasowy egzemplarz, stojący w parku maszyn oraz jednej maszyny o ładowności 30 Mg. Samochody technologiczne najczęściej pracowały w konfiguracji: jedna maszyna o ładowności 45 Mg i druga o ładowności 30 Mg. Liczba cykli, czasy pracy oraz zużycie paliwa przedstawiono w tabeli 10.

Praca stacjonarnego zakładu przerobczego

Analiza pracy stacjonarnego zakładu przerobczego opierała się o kontrolę ilości produktu końcowego pochodzącego z przerobu danej partii urobku, obserwację wydajności owego procesu jak i wielkość zużycia energii elektrycznej napędzającej zakład przerobczy (Tabela 11). Cenę energii elektrycznej przyjęto jako 0,4667 zł/kWh – taryfa: C11 Podstawowa – Polska Grupa Energetyczna S.A.

Tab. 6. Ramowanie ściany

Tab. 6. Bench wall leveling

system inicjowania	elektroniczny							
numer ewidencji odstrzału	107/2015	109/2015	111/2015	115/2015	116/2015	119/2015	125/2015	132/2015
czas ramowania ściany	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h	1 h	0,5 h	2 h
zużycie paliwa	23 l	25 l	25 l	24 l	22 l	26 l	11 l	46 l
koszt paliwa	77,44 zł	84,18 zł	84,18 zł	80,81 zł	74,07 zł	87,54 zł	37,04 zł	154,88 zł

Tab. 7. Usuwanie nierówności spągu

Tab. 7. Toe leveling

system inicjowania	elektroniczny							
numer ewidencji odstrzału	107/2015	109/2015	111/2015	115/2015	116/2015	119/2015	125/2015	132/2015
czas czyszczenia progów przyspągowych	1 h	-	1 h	1 h	1 h	0,5 h	-	1 h
zużycie paliwa	22 l	-	25 l	24 l	24 l	13 l	-	21 l
koszt paliwa	74,07 zł	-	84,18 zł	80,81 zł	80,81 zł	43,77 zł	-	70,71 zł

Tab. 8. Załadunek urobku na samochody technologiczne

Tab. 8. Mock pile loading on mining trucks

system inicjowania	elektroniczny			
numer ewidencji odstrzału	115/15	116/15	119/15	132/15
czas pracy maszyn	Ładowarka 1	14 h	8 h	16 h
	Ładowarka 2	2 h	3 h	-
	Ładowarka 3	31 h	32 h	27 h
	łącznie	47 h	43 h	43 h
zużycie paliwa	175 h			
	Ładowarka 1	264 l	109 l	305 l
	Ładowarka 2	56 l	80 l	-
	Ładowarka 3	742 l*	768 l*	653 l*
	łącznie	1062 l	957 l	958 l
koszt paliwa	3930 l			
	Ładowarka 1	888,89 zł	367,00 zł	1 026,94 zł
	Ładowarka 2	188,55 zł	269,36 zł	-
	Ładowarka 3	2 498,31 zł	2 585,86 zł	2 198,65 zł
	łącznie	3 575,75 zł	3 222,22 zł	3 225,59 zł
		13 232,32 zł		

Praca mobilnego zakładu przeróbczego

Urobek pochodzący ze strzelań na poziomie III/IIIa podlegał procesowi przerobu z wykorzystaniem odpowiedniego zestawu mobilnego zakładu przeróbczego. W kopalni wyróżnionych zostało kilka zestawów odpowiadających za produkcję danej frakcji produktu.

Stosowane zestawy mobilnego zakładu przeróbczego na zakładzie górniczym oraz produkowane frakcje:

- 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.

Zestawienie wyników

W Tabelach 13 i 14 zestawione zostały koszty prowadzonej eksploatacji w czasie wykonywania robót strzałowych z wykorzystaniem elektronicznego systemu inicjacji. Zostały one podzielone ze

Tab. 9. Załadunek urobku na mobilny zakład przeróbczy

Tab. 9. Mock pile loading on the mobile processing plant

system inicjowania		elektroniczny			
numer ewidencji odstrzału		107/15	109/15	111/15	125/15
czas pracy maszyn	Ładowarka 1	19 h	14 h	13 h	16 h
	Ładowarka 2	24 h	24 h	34 h	25 h
	Ładowarka 3	11 h	7 h	2 h	8 h
	Ładowarka 4	-	1 h	-	-
	łącznie	54 h	46 h	49 h	49 h
198 h					
zużycie paliwa	Ładowarka 1	359 l	269 l	248 l	220 l
	Ładowarka 2	651 l	669 l	947 l	698 l
	Ładowarka 3	271 l*	172 l*	52 l*	199 l*
	Ładowarka 4	-	24 l	-	-
	łącznie	1281 l	1134 l	1247 l	1117 l
4779 l					
koszt paliwa	Ładowarka 1	1 208,75 zł	905,72 zł	835,02 zł	740,74 zł
	Ładowarka 2	2 191,92 zł	2 252,52 zł	3 188,55 zł	2 350,17 zł
	Ładowarka 3	912,46 zł	579,12 zł	175,08 zł	670,03 zł
	Ładowarka 4	-	80,81 zł	-	-
	łącznie	4 313,13 zł	3 818,17 zł	4 198,65 zł	3 760,94 zł
16 090,89 zł					

Tab. 10. Odstawa urobku z wykorzystaniem samochodów technologicznych

Tab. 10. Mock pile transport by mining truck

system inicjowania		elektroniczny			
numer ewidencji odstrzałów		115/15	116/15	119/15	132/15
liczba cykli odstawy		306	276	277	262
łączy czas odstawy		47 h	43 h	43 h	42 h
175 h					
zużycie paliwa		662 l	604 l	599 l	589 l
2454 l					
koszt paliwa		2 228,95 zł	2 033,67 zł	2 016,83 zł	1 983,16 zł
8 262,61 zł					

Tab. 11. Praca stacjonarnego zakładu przeróbczego

Tab. 11. Operation coasts of processing plant unit

system inicjowania		elektroniczny			
numer ewidencji odstrzałów		115/15	116/15	119/15	132/15
czas pracy zakładu przeróbczego		47 h	43 h	43 h	42 h
175 h					
ilość produktu końcowego		10 054 Mg	9 006 Mg	9 098 Mg	8 799 Mg
36 957 Mg					
wydajność		213,9 Mg/h	209,4 Mg/h	211,6 Mg/h	209,5 Mg/h
211,2 Mg/h					
zużycie energii		5 050 kWh	4 624 kWh	4 698 kWh	4 515 kWh
18 887 kWh					
koszt energii		2 356,84 zł	2 158,02 zł	2 192,56 zł	2 107,15 zł
8 814,57 zł					

Tab. 12. Praca mobilnego zakładu przerobczego
Tab. 12. Operation coasts of processing plant unit

system inicjowania		elektroniczny			
numer ewidencji odstrzału		107/15	109/15	111/15	125/15
czas pracy	Zestaw I	12 h	-	8 h	-
	Zestaw II	42 h	-	41 h	-
	Zestaw III	-	34 h	-	14 h
	Zestaw IV	-	12 h	-	35 h
	łącznie	54 h	46 h	49 h	49 h
		200 h			
ilość produktu końcowego	Zestaw I	2 560 Mg	-	1 776 Mg	-
	Zestaw II	8 964 Mg	-	8 774 Mg	-
	Zestaw III	-	7 464 Mg	-	2 966 Mg
	Zestaw IV	-	2 562 Mg	-	7 555 Mg
	łącznie	11 524 Mg	10 026 Mg	10 550 Mg	10 521 Mg
		42 621 Mg			
wydajność	Zestaw I	213,3 Mg/h	-	222,0 Mg/h	-
	Zestaw II	213,4 Mg/h	-	214,0 Mg/h	-
	Zestaw III	-	219,5 Mg/h	-	211,9 Mg/h
	Zestaw IV	-	213,5 Mg/h	-	215,9 Mg/h
	łącznie	213,4 Mg/h	218,0 Mg/h	215,3 Mg/h	214,7 Mg/h
		213,1 Mg/h			
zużycie paliwa	Zestaw I	528 l	-	365 l	-
	Zestaw II	3 021 l	-	2 911 l	-
	Zestaw III	-	2 102 l	-	847 l
	Zestaw IV	-	706 l	-	2 062 l
	łącznie	3 549 l	2 808 l	3 276 l	2 909 l
		12 542 l			
koszt paliwa	Zestaw I	1 777,78 zł	-	1 228,96 zł	-
	Zestaw II	10 171,71 zł	-	9 801,34 zł	-
	Zestaw III	-	7 077,43 zł	-	2 851,85 zł
	Zestaw IV	-	2 377,10 zł	-	6 942,75 zł
	łącznie	11 949,48 zł	9 454,54 zł	11 030,29 zł	9 794,60 zł
		42 228,91 zł			

względu na miejsce otrzymania produktu końcowego tj.: mobilny bądź stacjonarny zakład przerobczy.

Mając na uwadze ilość wyprodukowanego kruszywa i całkowity koszt wszystkich analizowanych operacji można wyznaczyć jednostkowy koszt produkcji 1 Mg kruszywa w stacjonarnym zakładzie przerobczym korzystając z zależności:

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

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

Różnica prawie 1 zł 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 (bezpośred-

ni załadunek mobilnych zestawów przez ładowarki z odstrzelonego urobku), koszty związane z samą pracą mobilnych zestawów są znacznie wyższe co przełożyło się na wyższy koszt jednostkowy.

Zestawienie wyników kosztów podczas prowadzenia eksploatacji z użyciem nieelektrycznego systemu inicjacji.

Podobnie jak dla elektronicznego systemu inicjacji, tak dla dwóch rodzajów systemu nieelektrycznego przeprowadzono analizę kosztów dla poszczególnych procesów. W tabelach 15 i 16 zestawione zostały koszty prowadzonej eksploatacji z wykorzystaniem dwóch nieelektrycznych systemów inicjacji pochodzących od różnych producentów. Zostały one również podzielone ze względu na miejsce produkcji produktu końcowego tj.: mobilny bądź stacjonarny zakład przerobczy.

Koszt jednostkowy produktu końcowego w czasie prowadzenia eksploatacji z wykorzystaniem nieelektrycznych systemów inicjacji ładunków MW i przeróbki w stacjonarnym zakładzie wyniósł

Tab. 13. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przeróbką w stacjonarnym zakładzie przeróbczym

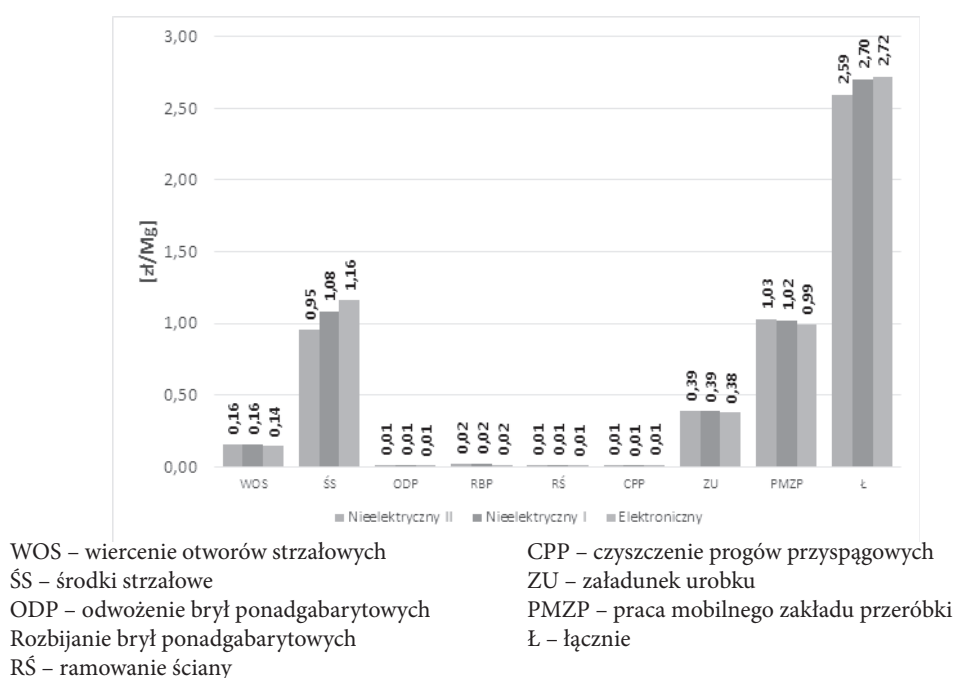
Tab. 13. Coasts statement of deposit mining include with coasts of processing in processing plant unit

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

Tab. 14. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przeróbką w mobilnym zakładzie przeróbczym

Tab. 14. Coasts statement of deposit mining include with coasts of processing in mobile processing plant unit

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



Rys. 1. Jednostkowe koszty produkcji z przeróbką na mobilnym zakładzie

Fig. 1. Unit coast of production with coasts of processing in mobile processing plant unit

Tab. 15. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przeróbką w stacjonarnym zakładzie przeróbczym
Tab. 15. Coasts statement of deposit mining include with coasts of processing in processing plant unit

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

Tab. 16. Zestawienie kosztów eksploatacji złoża z przeróbką w mobilnym zakładzie przeróbczym
Tab. 16. Coasts statement of deposit mining include with coasts of processing in mobile processing plant unit

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

odpowiednio 2,04 zł/Mg dla pierwszego systemu nieelektrycznego i 1,91 zł/Mg dla drugiego.

Koszt jednostkowy produktu końcowego w czasie prowadzenie 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 rysunkach 1 i 2 przedstawiono jednostkowe koszty produkcji dla poszczególnych etapów eksploatacji i uzyskania produktu końcowego odpowiednio dla mobilnego (rys. 1) i stacjonarnego (rys. 2) zakładu przeróbki.

Wnioski

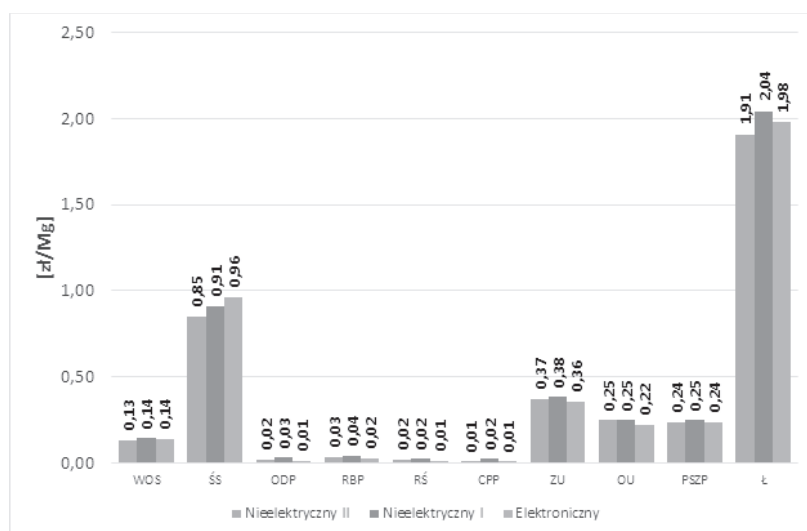
Na podstawie uzyskanych danych o kosztach produkcji 1 Mg produktu końcowego można zauważyć, iż zarówno w wariacie pracy z stacjonarnym jak i mobilnym zakładzie przeróbczym, ceny eksploatacji z wykorzystaniem poszczególnych systemów są do siebie zbliżone. Eksploatacja z wykorzystaniem do przerobu mobilnego

zakładu przeróbczego jest wyższa średnio około 30%, niż z wykorzystaniem stacjonarnego zakładu przeróbczego.

W pracy z wykorzystaniem mobilnego zakładu przeróbczego najtańsza eksploatacja została osiągnięta z wykorzystaniem nieelektrycznego systemu nr II. Na zbliżonym poziomie jest eksploatacja z wykorzystaniem nieelektrycznego systemu nr I i systemu elektronicznego.

W przypadku pracy z wykorzystaniem stacjonarnego zakładu przeróbczego ponownie najtańsza eksploatacja osiągnięta została przy wykorzystaniu nieelektrycznego systemu nr II. System nieelektryczny nr I, okazał się droższy w zastosowaniu w okresie prowadzonej analizy niż system elektroniczny.

Eksploatacja z wykorzystaniem systemu elektronicznego w odniesieniu do systemów nieelektrycznych, nie okazała się wiele droższa niż eksploatacja z użyciem systemów nieelektrycznych. Różnice są na tyle małe, iż mogą okazać się opłacalną inwestycją dla służb strzałowych kopalni ze



WOS – wiercenie otworów strzałowych
 ŚS – środki strzałowe
 ODP – odwożenie brył ponadgabarytowych
 Rozbijanie brył ponadgabarytowych
 RŚ – ramowanie ścian

CPP – czyszczenie progów przyspągowych
 ZU – załadunek urobku
 OU – odstawa urobku
 PSZP – praca stacjonarnego zakładu przeróbki
 Ł – łącznie

Rys. 2. Jednostkowe koszty produkcji z przeróbką na stacjonarnym zakładzie

Fig. 2. Unit coast of production with coasts of processing in processing plant unit

względem na korzyści związane zarówno z bezpieczeństwem, jak i precyzją robót strzałowych, które tym samym wpływają na minimalizację negatywnych oddziaływań prac strzałowych.

Wydajności stacjonarnego oraz mobilnego zakładu przerobczego są zdecydowanie wyższe przy eksploatacji wykorzystującej system elektroniczny do robót strzałowych. Zdecydowanie niższe czasy pracy przy procesach takich jak: ramowanie ścian, czyszczenie progów przyspągowych, odstawianie i rozbijanie brył ponadgabarytowych przy eksploatacji z wykorzystaniem systemu elektronicznego. Koszt wymienionych procesów w całości eksploatacji stanowi bardzo małą część, co nie wpływa znacząco na uzyskanie znacznych korzyści wynikających z rozwiązań systemu elektronicznego.

Odstawa urobku z wykorzystaniem systemu elektronicznego przyczyniła się do redukcji ilości cykli potrzebnych do odstawy tej samej ilości urobku samochodami technologicznymi, niż przy zastosowaniu systemu nielektrycznego.

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

Należy zaznaczyć, że otrzymane wnioski dotyczą konkretnych warunków geologiczno-górnich i mogą się znacznie różnić w innych warunkach. Dodatkowo, do analizy były brane pod uwagę tylko wybrane reprezentatywne serie, a nie tak jak założono na początku, iż będą to dane pochodzące z badań realizowanych przez okres miesiąca. W celu uszczegółowienia wniosków należałoby powtórzyć analizy dla dłuższych przedziałów czasowych, w których to będą wykorzystywane po kolei określone systemy inicjowania ładunków MW, jednakże na podstawie przeprowadzonych obserwacji i analiz można spodziewać się, że wykorzystanie elektronicznego systemu inicjacji ładunków MW przyniesie wymierne korzyści dla zakładu górniczego.

Literatura – References

1. Korzeniowski J. I., Onderka Z.: Roboty strzelnicze w górnictwie odkrywkowym, Wydawnictwa i Szkolenia Górnicze Burnat & Korzeniowski, Wrocław 2006
2. Morawa R., Onderka Z.: Górnicze środki strzałowe i sprzęt strzałowy, Agencja Wydawniczo-Poligraficzna ART-TEKST, Kraków 2013
3. Onderka Z.: Warunki efektywnego urabiania skał za pomocą MW. Konferencja Technika Strzelnicza w Górnictwie. Jaszowiec 2001, str. 185-208
4. Onderka Z.: Efekt sejsmiczny strzelania – uwagi i zalecenia, Konferencja Technika Strzelnicza w Górnictwie. Jaszowiec 2001, str. 435-454
5. Onderka Z., Sieradzki J., Winzer J.: Wpływ robót strzelniczych na otoczenie kopalń odkrywkowych, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2003
6. Prędko S.: Techniczno-ekonomiczna analiza efektywności stosowania elektronicznych systemów inicjowania materiałów wybuchowych w warunkach polskich kopalń surowców skalnych : Praca doktorska, GIG: Katowice, 2010
7. Strykowski M., Winzer P.: Metoda wyznaczania jednostkowych kosztów robót strzelniczych w kopalniach odkrywkowych, str. 544-550

Analysis of Operating Costs Concerning Blasting Works Using Electronic Initiation System for Explosives

The article presents an analysis of the operating costs in the specified geological-mining conditions on the basis of the mine exploiting dolomite aggregate. The authors gathered/acquired for two months research material on the execution method of blasting works, with particular emphasis on how to initiate explosive charges, which constituted the basis for evaluating the difference regarding applied blasting work parameters. The main objective of the research, for which the results are presented in this article was the impact analysis of applying the electronic initiation of explosive charges on the mining activity costs in the mining plant.

Keywords: operating costs, blasting works, electronic initiation system