

*roboty strzałowe, i-kon
elektroniczny system inicjowania*

Grzegorz RAJCAKOWSKI*
Tomasz ŻOŁĄDEK

ROBOTY STRZAŁOWE Z ZASTOSOWANIEM ZAPALNIKÓW ELEKTRONICZNYCH i-kon W KOPALNI GRANITU „GNIEWKÓW”

Prezentowane wyniki porównania strzelań z zastosowaniem inicjacji zapalnikami elektronicznymi i-kon oraz nieelektrycznymi Exel na Kopalni Granitu „Gniewków”. Przeprowadzona analiza wyników pokazała korzyści jakie daje zastosowanie zapalników elektronicznych w stosunku do zapalników nieelektrycznych w aspekcie zużycia paliwa przez kruszarkę wstępną, poprawę rozdrobnienia urobku, wzrost wydajności węzła wstępnego kruszenia oraz obniżenie drgań parasejsmicznych.

1. WPROWADZENIE

Od kilku lat trwa w Polsce dyskusja na temat zalet i opłacalności stosowania zapalników elektronicznych. Nie podjęto do tej pory próby pokazania od strony praktycznej jakie korzyści płyną ze stosowania systemów elektronicznych. Wydaje się, że pierwszą taką próbą była ekspertyza obejmująca serię 5 strzelań doświadczalnych z zastosowaniem inicjacji elektronicznej systemem i-kon, które w 2010 roku przeprowadziła firma Orica Poland na terenie Kopalni Granitu „Gniewków”. Jednocześnie były to pierwsze strzelania z zastosowaniem zapalników i-kon na Dolnym Śląsku.

Zdecydowano, że odpowiednim miejscem przeprowadzenia odpowiedniego eksperymentu będzie Kopalnia Granitu „Gniewków”. Od kilku lat usługi strzałowe na tej kopalni wykonuje Orica Poland, prowadzący roboty strzałowe posiadają dość dobrze rozpoznaną budowę geologiczną, oraz stosują dopracowane schematy inicjacji. Nie bez znaczenia był fakt, że zarząd CRH bardzo zainteresowany był wprowadzeniem systemu elektronicznej inicjacji i-kon licząc, że dzięki temu będzie możliwe zwiększenie maksymalnych ładunków materiałów wybuchowych (MW) przypadających na

* ORICA POLAND Sp. z o.o., 50-110 Wrocław, ul. Kiełbaśnicza 24,
grzegorz.rajczakowski@orica.com

jedno opóźnienie milisekundowe (potocznie zwłokę) i ładunku całkowitego odpalonego w serii.

Plan zakładał wykonanie 5 strzelań doświadczalnych z użyciem zapalników i-kon, na dwóch różnych poziomach, charakteryzujących się odmienną budową geologiczną oraz kilku strzelań z wykorzystaniem zapalników nieelektrycznych w podobnych miejscach jak strzelania z i-konami. Podczas odstrzałów prowadzony miał być pomiar drgań sejsmicznych. Założono wykonanie metodą fotometryczną analizy porównawczej stopnia rozdrobnienia usypów (przy użyciu programu PowerSieve®) oraz ustalono z kopalnią, że zostaną udostępnione wyniki zużycia paliwa na mobilnej kruszarce wstępnej i jej wydajność.

Strzelania z inicjacją elektroniczną były strzelaniami doświadczalnymi dlatego wystąpiła konieczność opracowania: dokumentacji strzałowej oraz uzyskania jej akceptacji przez Rzecznawcę ds. ruchu ZG oraz Dodatku do planu ruchu ZG „Gniewków” na strzelanie doświadczalne. Do współpracy w tej części projektu poproszono IGO Poltegor-Instytut. Strzelania zostały przeprowadzone w sierpniu i wrześniu 2010 roku, a prace zakończono w listopadzie 2010 r.

2. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU i-kon

System i-kon składa się z trzech podstawowych elementów: zapalnik i-kon, urządzenie logujące Logger i zapalarka Blaster. W pełni programowalnym zapalnikowi [2] można nadawać opóźnienia w zakresie od 0 do 15000 ms, w interwale 1 ms. Cechą charakterystyczną zapalnika elektronicznego jest bardzo duża dokładność, która w zakresie opóźnień od 0 do 500 ms zawiera się w przedziale $\pm 0,05$ ms, natomiast w przedziale powyżej 500 ms określana jest na poziomie $\pm 0,01\%$.

Każdy zapalnik elektroniczny typu i-kon posiada unikalny kod identyfikacyjny, który jest rozpoznawany przez urządzenie logujące Logger [2]. Urządzenie to umożliwia edycję (logowanie) zapalnika, przechowywanie w pamięci przypisanego danemu zapalnikowi opóźnienia oraz – w miarę potrzeb – swobodną jego reedycję. Logger sam w sobie nie posiada wbudowanej funkcji uzbrajania zapalnika, czy jego odpalania. Jest jedynie pośrednikiem w tej operacji, za którą odpowiada zapalarka typu Blaster [2]. Odpalenie zapalnika elektronicznego typu i-kon jest możliwe tylko i wyłącznie dzięki dostarczeniu do zapalnika odpowiednio wygenerowanego sygnału cyfrowego (tzw. kodowi aktywacyjnemu) i prądu odpalającego.

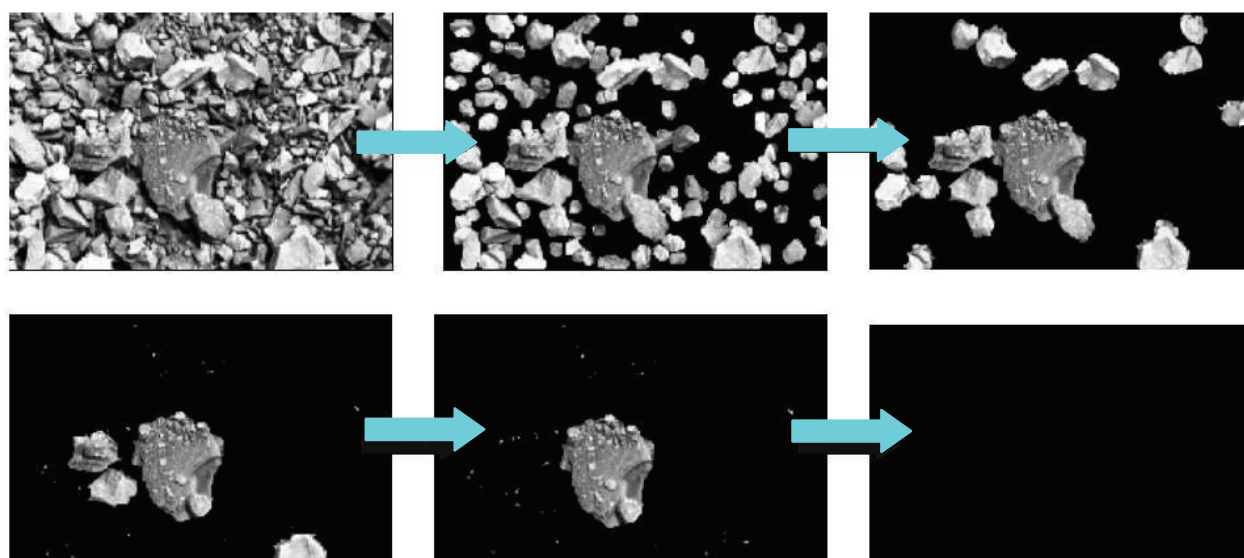
Logger i Blaster, posiadają funkcję stałego monitorowania obwodu, w celu zapewnienia pełnego bezpieczeństwa odpalania przy zadanych opóźnieniach. Najprostsza wersja zapalarki umożliwia odpalenie do 400 zapalników, przyłączonych do dwóch Loggerów, gdzie każdym z Loggerów można zalogować do 200 zapalników i takie właśnie urządzenia zostały wykorzystane w projekcie.

3. PROGRAM PowerSieve®

PowerSieve® jest programem służącym do analizy rozdrobnienia odstrzelonego urobku. Danymi wejściowymi są zdjęcia urobku z naniesioną skalą, dzięki której program identyfikuje rozmiar poszczególnych ziaren. Odpowiednio przygotowane zdjęcia (czarno-białe) zostają poddane analizie, poprzedzonej wyznaczeniem frakcji pylastych na zdjęciu. Frakcje te mogą być przez program błędnie odczytane jako duże ziarna.

Żeby analiza była prawidłowa, zdjęcia muszą być wykonane z tego samego miejsca, pod tym samym kątem, a aparat powinien być ustawiony prostopadle do przekroju usypu i z identycznym zbliżeniem; im większa ilość zdjęć, tym otrzymane wyniki są bardziej dokładne.

PowerSieve® analizując zdjęcie, działa identycznie jak sita podczas analizy sitowej, „przesiewa” ziarna, a następnie generuje krzywą składu ziarnowego oraz procentową zawartość poszczególnych frakcji (rys. 1). PowerSieve® można użyć jako analizę porównawczą kilku różnych odstrzałów, przy założeniu, że analizy wykonane zostały precyzyjnie i w ten sam sposób, a pod uwagę wzięto podobną powierzchnię dystrybucji. Nie jest to natomiast analiza ilościowa i nie wytycza dokładnie zawartości poszczególnych frakcji, podaje jedynie wynik, który dotyczy sfotografowanej powierzchni. Uzyskane dane można wykorzystać do optymalizacji parametrów strzelania.



Rys. 1. Zasada przeprowadzania analizy sitowej za pomocą PowerSieve® [1]

Fig. 1. PowerSieve® image analysis example

4. CHARAKTERYSTYKA KOPLANI GNIEWKÓW

W Kopalni „Gniewków” ze względu na sąsiedztwo istnieją ograniczenia maksymalnych ładunków MW na opóźnienie i całkowitego odpalanego w serii. Strzelania wykonane były w strefie, gdzie dopuszczone są maksymalne ładunki na opóźnienie 95 kg i 4621 kg w serii. Odległość od najbliższych zabudowań, objętych ochroną wynosi ok. 500 m (rys. 2). Złoże charakteryzuje się dużym zawodnieniem otworów strzałowych, stąd konieczność stosowania materiałów wybuchowych wodoodpornych, a przez to częstym jest strzelanie z zastosowaniem ładunków dzielonych, które w granicy w znaczący sposób wpływają na zwiększoną ilość nadgabarytów.

Dla porównania osiągniętych wyników wzięto 2 strzelania i-konami i 2 z zastosowaniem zapalników nieelektrycznych; w założonym czasie udało się wykonać tylko dwie pary strzelań w porównywalnych warunkach geologicznych (fot. 1).



Rys. 2. Mapa lokalizacji obszaru strzelań doświadczalnych z zaznaczonym miejscem monitoringu drgań [5]

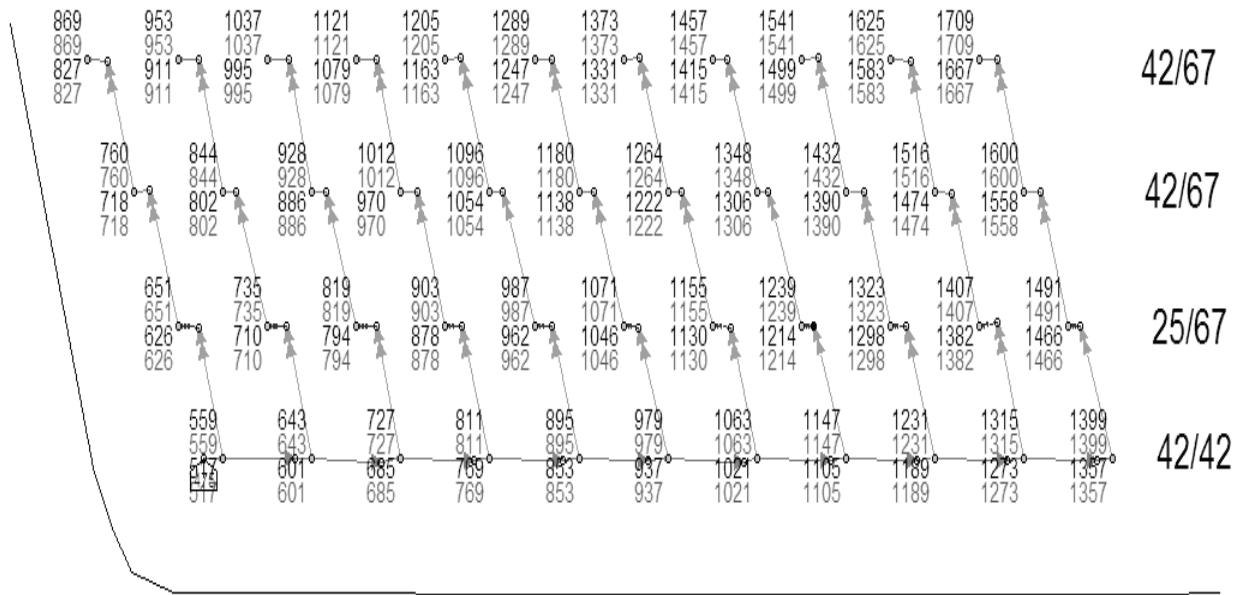
Fig. 2. Gniewków Quarry map with blasts and housing area location



Fot 1. Zdjęcie z naniesioną lokalizacją odstrzałów [1]
Fig 1. Picture of the quarry production levels and blasts location

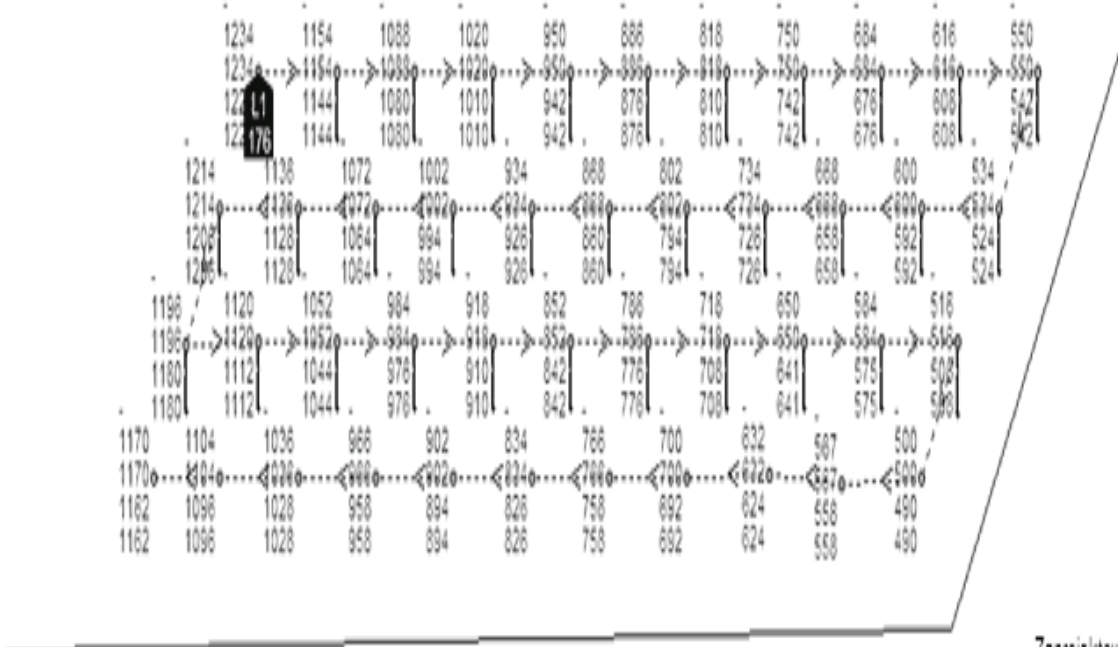
5. WYNIKI

Do pomiarów użyto urządzenia typu Vibraloc'a, zlokalizowanego w trakcie badań w stałym miejscu (rys 2.). Pomiarzy drgań sejsmicznych ze strzelań i-konami wykonywał IGO Poltegor-Institut, gdyż dodatkowo wykorzystane zostaną do opracowania ekspertyzy dotyczącej strzelania zapalnikami elektronicznymi i-kon. Wszystkie strzelania zostały wykonane za pomocą MW Centra Gold 100 i zaprojektowane z wykorzystaniem programu wspomagającego ShotPlus I Pro. Wyniki, parametry strzelań, schematy połączeń sieci strzałowych i wyniki pomiarów dokumentują rysunki 3–6 i tabela 1.



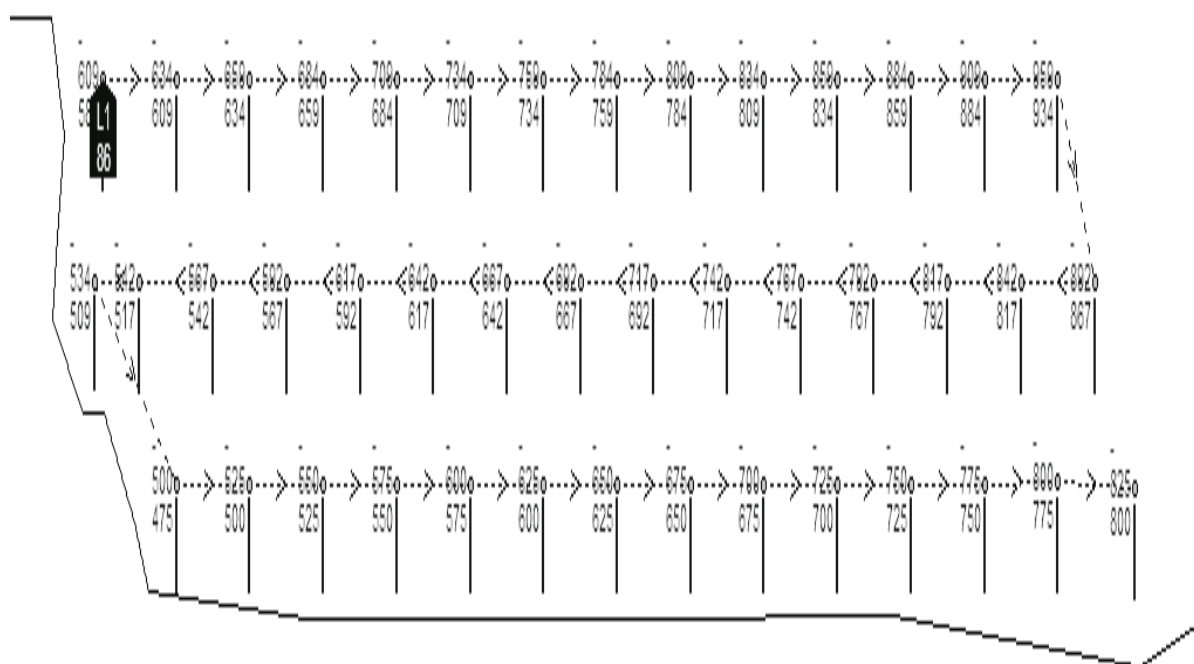
Zaprojektował:
Tomasz Żołądek

Rys. 3. Schemat strzelania Exel z 06.09.2010 r.
Fig. 3. Exel blast design, 06.09.2010



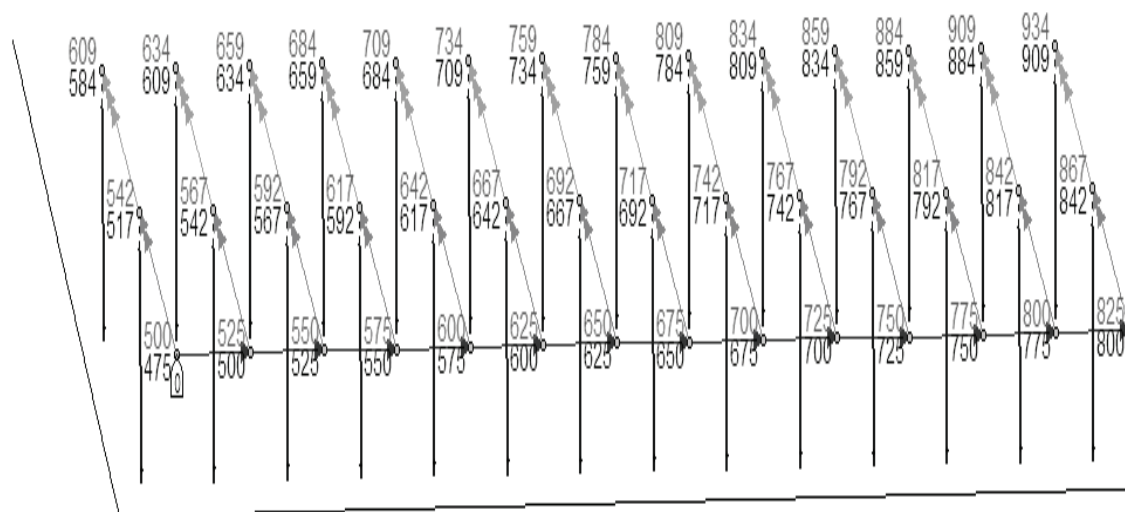
Zaprojektował:
Tomasz Żołądek

Rys. 4. Schemat strzelania i-kon z 17.08.2010 r.
Fig. 4. I-kon blast design, 17.08.2010



Zaprojektował:
Tomasz Żołądek

Rys. 5. Schemat strzelania i-kon z 20.08.2010 r.
Fig. 5. I-con blast design, 20.08.2010



Zaprojektował:
Tomasz Żołądek

Rys. 6. Schemat strzelania Exel z 17.09.2010 r.
Fig. 6. Exel blast design, 17.09.2010

Parametry strzelań na poziomie I i II

Parametr	Strzelanie na poziomie I		Strzelanie na poziomie II	
	Exel 06.09.10	i-kon 17.08.10	Exel 17.09.10	i-kon 20.08.10
zabior [m]	2,8	2,8	2,8	2,8
odległość między rzędami [m]	2,9	3,0	3,0	3,0
długość przybitki [m]	2,5	2,5	2,8	2,8
długość przesyпки* [m]	2,0	2,0	—	—
wysokość ściany [m]	19,0	20,0	17,0	17,0
długość otworu [m]	19,6	20,6	17,6	17,6
średnica otworu [mm]	89	89	89	89
kąt nachylenia otworu [°]	15	15	15	15
przewiert [m]	0,5	0,5	0,5	0,5
liczba otworów [szt.]	44	44	42	42
gęstość skały [g/m ³]	2,6	2,6	2,6	2,6
rodzaj środków inicjujących	Exel	i-kon	Exel	i-kon
dopuszczalny ładunek całkowity MW [kg]	4621	4621	4621	4621
dopuszczalny ładunek na zwłokę MW [kg]	95	95	95	95
ilość MW [kg]	4532	4356	3864	3942
objętość odstrzelonego urobku [m ³]	7022,4	7145,6	5997,6	5997,6
waga odstrzelonego urobku [t]	18258,24	18578,56	15593,76	15593,76
JEDNOSTKOWE zużycie MW [kg/m ³]	0,64	0,61	0,64	0,65

* Ze względu na ograniczenie ładunkiem na opóźnienie i zawodnienie otworów konieczne było wykonanie strzelania z zastosowaniem ładunku dzielonego.

Uzyskanie opóźnień między poszczególnymi szeregami i członami na poziomie 8 ms (tab. 2), które zastosowano dla strzelania z ładunkiem dzielonym z inicjacją i-konami jest praktycznie niemożliwe do osiągnięcia dla inicjowania systemami nieelektrycznymi. Dlatego dla strzelań wielorzędowych o dużym stopniu skomplikowania inicjacji, zapalniki elektroniczne w stosunku do zapalników nieelektrycznych dają nowe możliwości rozwiązań inicjacji, przez to istnieje możliwość uzyskania jeszcze lepszych wyników w rozdrobnieniu urobku, kierunkowaniu ułożenia usypów i poprawy bezpieczeństwa robót.

Wyniki procentowych zawartości poszczególnych frakcji w odstrzałach pokazuje tabela 3. Wyniki te uzyskano korzystając z programu PowerSieve®.

Tabela 2

Zestawienie opóźnień pomiędzy poszczególnymi szeregami i zapalnikami wewnątrz otworu/członu dla ładunku dzielonego

Data strzelania	System inicjowania	$\Delta t = \text{I-II}$ szereg [ms]	$\Delta t = \text{II-III}$ szereg [ms]	$\Delta t = \text{III-IV}$ szereg [ms]	Δt pomiędzy zapalnikami otworowymi [ms]	Sposób załadowania otworu
17.08.2010	i-kon	8	8	8	8 (między członami)	ładunek dzielony
06.09.2010	Exel	67	67	67	25–42 (między członami)	ładunek dzielony
20.08.2010	i-kon	42	67	–	8	ładunek ciągły
17.09.2010	Exel	42	67	–	25	ładunek ciągły

Po przeanalizowaniu uzyskanych wyników z programu PowerSieve® zaobserwowano, że na poziomie I nastąpił o 4,5% wzrost ziaren mniejszych niż 100 mm oraz spadek ziaren większych niż 500 mm o 5,7% dla strzelania i-konami w stosunku do strzelania z zastosowaniem inicjacji zapalnikami nieelektrycznymi. Natomiast dla poziomu II, charakteryzującego się większą jednolitością budowy złoża, dla strzelania z zastosowaniem zapalników i-kon nastąpił wzrost o 14,2% ziaren mniejszych od 100 mm i spadek o 7,9% ziaren większych niż 500 mm w stosunku do strzelania z zapalnikami nieelektrycznymi.

Z danych uzyskanych dotyczących wydajności pracy kruszarki wstępnej wynikało, że na poziomie I nastąpił wzrost wydajności o 1,2 t/h dla strzelania z zastosowaniem i-konów w stosunku do strzelania z zastosowaniem zapalników nieelektrycznych, a na poziomie II poprawa, również w przypadku strzelania z zastosowaniem i-konów wyniosła 19,4 t/h w porównaniu ze strzelaniem z zastosowaniem zapalników nieelektrycznych.

Przy strzelaniu i-konami, na poziomie I, zużycie oleju napędowego było o 0,04 l/h mniejsze niż wynik uzyskany dla strzelania z zastosowaniem zapalników nieelektrycznych, co daje 720 l oszczędności dla średniej wielkości odstrzału, wynoszącego 18 000 ton urobku. Na poziomie II zaobserwowano również mniejsze zużycie dla strzelania zapalnikami elektronicznymi i w tym wypadku wynosiło ono ok. 0,03 l/h, czyli oszczędność 540 l.

Zebrane wyniki pomiarów drgań sejsmicznych przedstawia tabela 4, można tutaj również zauważyć znaczące ograniczenie emisji drgań parasejsmicznych dla strzelań i-konami. Żaden z odstrzałów nie wywołał drgań przekraczających dopuszczalnych wartości określonych normami: PN-85/B02170 oraz DIN 4150.

Uzyskane wyniki zachęcają do przeprowadzenia dalszej ekonomicznej oceny wdrożenia zapalników elektronicznych.

Procentowa zawartość poszczególnych frakcji dla strzelań na dwu poziomach

Rozmiar ziaren [m]	Poziom I				Poziom II			
	i-kon 17.08.10		Exel 06.09.10		i-kon 20.08.10		Exel 17.09.10	
	zawartość frakcji		zawartość frakcji		zawartość frakcji		zawartość frakcji	
	[%]	kumulacyjna	[%]	kumulacyjna	[%]	kumulacyjna	[%]	kumulacyjna
0,1	25,2	25,2	20,7	20,7	34,3	34,3	19,8	19,8
0,2	9,1	34,3	8,8	29,5	14,1	48,3	13,3	33,1
0,3	8,0	42,3	7,3	36,8	12,1	60,4	12,7	45,8
0,4	6,7	49,0	7,4	44,1	8,6	69,0	10,6	56,4
0,5	7,1	56,1	6,8	50,9	6,6	75,6	8,3	64,7
0,6	6,4	62,5	5,9	56,8	4,8	80,4	7,8	72,5
0,7	5,2	67,8	5,7	62,6	3,3	83,7	4,9	77,3
0,8	4,9	72,6	5,1	67,6	2,8	86,6	4,2	81,5
0,9	2,4	75,0	3,2	70,9	1,7	88,3	2,6	84,1
1,0	2,4	77,4	2,7	73,6	1,1	89,4	1,7	85,8
1,1	2,1	79,5	2,5	76,1	1,7	91,1	2,1	87,9
1,2	2,2	81,7	2,3	78,4	1,4	92,5	2,4	90,3
1,3	0,9	82,7	1,2	79,6	0,8	93,3	0,8	91,1
1,4	1,6	84,3	1,6	81,2	1,9	95,2	1,3	92,3
1,5	1,6	85,9	2,1	83,3	1,4	96,7	1,1	93,5
1,6	5,7	91,6	1,8	85,1	0,6	97,3	1,3	94,7
1,7	0,2	91,8	1,5	86,6	0,2	97,5	0,6	95,3
1,8	1,1	92,8	0,2	86,8	0,0	97,5	0,0	95,3
1,9	0,5	93,3	1,1	88,0	0,0	97,5	0,0	95,3
2,0	2,0	95,3	1,6	89,6	1,0	98,5	0,8	96,1
2,1	0,7	95,9	1,9	91,5	0,0	98,5	1,0	97,1
2,2	1,1	97,0	0,7	92,2	0,0	98,5	2,3	99,4
2,3	0,0	97,0	0,7	92,9	0,0	98,5	0,0	99,4
2,4	0,4	97,4	3,6	96,5	0,0	98,5	0,0	99,4
2,5	1,2	98,6	0,0	96,5	0,2	98,7	0,6	100,0
2,6	1,4	100,0	3,5	100,0	0,3	99,0	0,0	100,0
2,7					0,0	99,0	0,0	100,0
2,8					1,0	100,0	0,0	100,0

Tabela 4

Wyniki pomiarów drgań sejsmicznych dla strzelań na poziomie I i II

	Prędkość	Częstotliwość	Prędkość	Częstotliwość
	[mm/s]	[Hz]	[mm/s]	[Hz]
poziom I	i-kon 17.08.10		Exel 06.09.10	
z	0,26	24	0,64	14
x	0,28	16,6	2,15	9,4
y	0,35	14,8	1,94	25
poziom II	i-kon 20.08.10		Exel 17.09.10	
z	0,82	16,8	1,49	25
x	0,38	15,6	2,09	38
y	0,44	25,2	1,80	25

6. PODSUMOWANIE

Analizując uzyskane wyniki z wykonanego projektu, nasuwa się szereg istotnych spostrzeżeń. W każdym badanym aspekcie, m.in. rozdrobnienia odstrzelonego urobku, zużycia paliwa w fazie wstępnego kruszenia, wzrostu wydajności kruszarki wstępnej oraz zmniejszenia emisji drgań sejsmicznych okazało się, że wyniki strzelań z zapalnikami elektronicznymi i-kon są lepsze od wyników strzelań z inicjacją systemami nieelektrycznymi. Należy się również spodziewać, że dzięki obniżeniu emisji drgań sejsmicznych przy strzelaniu zapalnikami elektronicznymi możliwe będzie zwiększenie ładunków na jeden stopień opóźnienia oraz całkowitego w serii.

Z pewnością poprawia się rozdrobnienie urobku w miejscach, gdzie uda się uniknąć strzelania z ładunkiem dzielonym, a przede wszystkim umożliwi zagospodarowanie tych części złóż, które ze względu na oddziaływanie drgań sejsmicznych nie mogły być eksploatowane lub stosowano urabianie droższą metodą mechaniczną.

Wstępny szacunek kosztów wskazuje na oszczędności wynikające z zastosowania inicjacji zapalnikami i-kon, nie tylko od strony technicznej, ale i ekonomicznej. Oszczędności te dotyczą również wpływu skrócenia czasu pracy wynikającego ze wzrostu wydajności wstępnego kruszenia, związany z poprawą rozdrobnienia urobku po strzelaniu. Rozdrobnienie to ma także wpływ na obniżenie kosztów remontów maszyn i wydłużenie ich żywotności, co jest nie bez znaczenia w ogólnym koszcie wydobycia. Możliwość zwiększenia ładunków MW odpalanych w serii ogranicza przeszkody związanymi z robotami strzałowymi.

Przeprowadzony projekt potwierdził opinie o przydatności oraz o korzyściach z zastosowania inicjacji systemami elektronicznymi oraz dostarczył kolejnych argumentów zwolennikom strzelania z zastosowaniem inicjacji elektronicznej w Polsce.

LITERATURA

- [1] ŁYSONŃ E., *Zalety stosowania zapalników elektronicznych typu i-kon w Kopalni Granitu „Gniewków”*, Orica Poland, 2010.
- [2] PRĘDKI S., RAJCZAKOWSKI G., *Projektowanie robót strzałowych z zastosowaniem elektronicznego systemu inicjowania typu i-kon oraz oprogramowanie wspomagające ShotPlus*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 125, Wrocław 2009.
- [3] Materiały szkoleniowe i techniczne ORICA Mining Service.
- [4] *Plan Ruchu Kopalni Granitu „Gniewków”*
- [5] *Badanie propagacji drgań oraz wyznaczenie maksymalnych wielkości ładunków MW w Kopalni Granitu „Gniewków”*. IGO – Poltegor.

BLASTING WITH i-kon DETONATORS USING IN “GNIEWKÓW” GRANITE QUARRY

The article presents the results of the comparison of i-kon electronic blasting and Exel nonelectric detonators in “Gniewków” granite quarry.