

# METODY NOWOCZESNEGO WSPOMAGANIA PROJEKTOWANIA I BADANIA EFEKTÓW ROBÓT STRZAŁOWYCH W ODKRYWKOWYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

## MODERNISING METHODS OF PROJECT TASK SUPPORT AND MEASURING THE EFFECTS OF BLASTING IN QUARRIES

Arkadiusz Grześkowiak, Sławomir Patla – „Poltegor Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

*W artykule przedstawiono i omówiono metody wspomaganie prac projektowych, kontroli i oceny robót wiertniczo-strzałowych. Wskazano na istotne czynniki determinujące projekt strzelania i możliwości optymalizacji uzyskiwanych efektów przy urabianiu skał na kruszywo oraz prowadzeniu makroniwelacyjnych robót strzałowych. Wiedza, umiejętności oraz sprzęt będący w dyspozycji firm strzałowych lub kopalń w Polsce nie ustępuje standardom stosowanym na świecie, a ich lepsze wykorzystanie może przynieść korzyści wszystkim interesariuszom działalności górniczej.*

**Słowa kluczowe:** technika strzelnicza, materiały wybuchowe, projektowanie, monitoring oddziaływań

*The article describes the methodology of project tasks support as well as the control and evaluation of drilling and blasting work. Crucial factors were indicated, these determine the blasting project and the possibility of obtained effects from the optimisation of blasting for chipping and macroleveling. Knowledge, skills and equipment possessed by blasting companies or polish mines are not worse in quality than those used worldwide, and such usage may bring benefits to all stakeholders of mining activity.*

**Keywords:** blasting technique, explosive materials, projecting, effect monitoring

### Wprowadzenie

Wyznacznikiem postępu i wprowadzania nowatorskich rozwiązań w odkrywkowych zakładach górniczych są metody wspomagające i optymalizujące technologię robót strzałowych. Wykorzystanie nowoczesnych przyrządów pomiarowych, programów komputerowych oraz dostępnych na rynku środków strzałowych w połączeniu z monitorowaniem efektów wykonywanych działań i doświadczeniem służb strzałowych, wyznacza kierunek działań na przyszłość. Działania prowadzone przez jednostki naukowe oraz wyspecjalizowane firmy strzałowe mają na celu lepszą realizację oczekiwań i wzrost efektów prowadzonych robót strzałowych. Wyniki wieloletnich badań wykazują, że do osiągnięcia założonych celów konieczne jest wprowadzanie udoskonaleń na każdym etapie technologii wydobywania oraz ustalenie hierarchii i kryteriów ważności elementów składających się na cały proces eksploatacji.

Uzyskanie prawidłowego i pełnego efektu, wiąże się najczęściej z kompleksowym podejściem do zagadnień prowadzenia eksploatacji i zapewnienia wysokiej jakości produktów czy usług. W przypadku zarządzania jakościowego, pozytywne rezultaty wewnętrzne i zewnętrzne funkcjonowania zakładu górniczego dają stosowanie procesowego podejścia do operacji technologicznych [2]. Przy systematycznej poprawie i optymalizowaniu procesów w kopalni, korzyści odnoszą wszyscy interesariusze działalności górniczej. Należą do nich oprócz właściciela zakładu górniczego

także pracownicy, firmy dostarczające do kopalni swoje usługi czy produkty, środowisko naturalne i lokalne społeczności. W zakładach o niewłaściwej organizacji zarządzania powszechnie spotykane jest usuwanie skutków i nieprawidłowych efektów prowadzenia działalności, bez wnikliwego badania przyczyn ich powstawania. Na kompleksowe i prawidłowe wykonanie robót strzałowych oraz uzyskanie istotnych informacji składa się ciąg powiązanych ze sobą zagadnień, rozpoczynających się od oceny warunków geologiczno-górnich zabierki przewidzianej do odspojenia i rozdrobnienia, projektu robót wiertniczo-strzałowych, rozmieszczenia i inicjacji MW oraz pełnej oceny efektów strzelania. Poprawa procesu urabiania skał techniką strzelniczą, związana jest z minimalizacją niekorzystnych oddziaływań prowadzonych odstrzałów, ochroną przyległych obiektów i coraz lepszym wykorzystaniem energii MW w procesie urabiania i rozdrabniania skał [1].

Czynności dotyczące zaprojektowania, wykonania otworów, załadunku i odpalenia MW oraz ocena efektów strzelania, składają się na technologię robót strzałowych. Technologia ta jest połączeniem takich operacji (procesów) jak:

- rozpoznanie geologiczne i techniczne,
- projekt robót wiertniczo-strzałowych,
- wiercenie otworów,
- załadunek MW do otworów strzałowych i połączenie sieci strzałowej,

- zabezpieczenie terenu i odpalenie serii strzałowej,
- ocena efektów strzelania,
- roboty uzupełniające (wyrównanie ociosów, krawędzi).

Szczególną uwagę należy zwrócić na te elementy, które decydują o jakości danych czynności i usług, które mają wpływ na dalsze operacje techniczne i technologiczne, decydują o oddziaływaniu na otoczenie czy wpływają na wizerunek zakładu górniczego.

Ustalanie parametrów strzelania przy wykorzystaniu nowoczesnych metod projektowania i prognozy oddziaływań, pozwala na wzrost bezpieczeństwa eksploatacji oraz poprawę warunków ekonomicznych wydobycia i przeróbki. Dzięki zastosowaniu, na etapie projektowania, specjalistycznych programów komputerowych do analizy danych przestrzennych oraz wykorzystaniu możliwości najnowszych MW i środków strzałowych, ułatwiony jest dobór parametrów strzelania. Prowadzenie bieżącego monitoringu oddziaływań robót strzałowych za pomocą aparatury sejsmicznej, kamer cyfrowych lub termowizyjnych, ocena rozdrobnienia urobku i kształtu usypu, dają możliwość bieżącej korekty parametrów i ciągłego podnoszenia efektywności robót strzałowych.

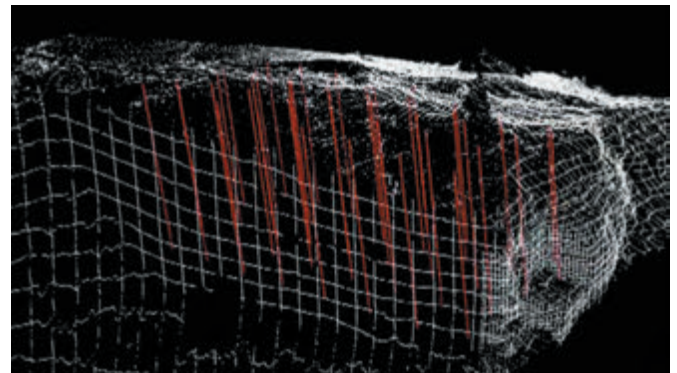
### Założenia i dane do projektu robót strzałowych

Określenie właściwości skał będących przedmiotem eksploatacji stanowi bardzo istotny element rozpoznania i przygotowania do eksploatacji. Od prawidłowego określenia podstawowych cech kopaliny, nadkładu i skał otaczających złoża, zależy cały szereg działań związanych z wydobyciem, a następnie przeróbką. Złożoność tych zagadnień jest od wielu lat tematem licznych badań i prac. Postęp techniczny w dziedzinie przyrządów pomiarowych oraz programów do oceny i analizy danych, pozwala na coraz lepsze, dokładniejsze opisy, oszacowania i oceny właściwości skał. Istotną cechą wpływającą na rozchodzenie się energii wybuchu jest szczelinowatość masywu skalnego. Do opisu szczelinowatości używa się: kąta upadu każdego z systemów spękań, odległości między szczelinami, rozwarcia szczelin, ciągłości spękań, wielkości szczelin i charakteru powierzchni szczelin, rodzaju materiału wypełniającego szczeliny [8]. Dopiero po określeniu tych cech skały, powinno się przystąpić do określania parametrów robót strzałowych. Im środowisko skalne jest bardziej anizotropowe, tym szybszy będzie zanik naprężeń wywołanych zastosowaniem MW, a więc gorsze wykorzystanie energii detonacji. Wraz ze zwiększającą się szczelinowatością spada prawdopodobieństwo powstania brył nadwymiarowych, maleje rola siły i prędkości detonacji MW, a wzrasta znaczenie ilości gazów postrzałowych.

Obecnie przy projektowaniu robót strzałowych, nie są stosowane żadne automatyczne metody oceny szczelinowatości, a metody planistyczne czy fotoplanistyczne stosowane są bardzo rzadko. Powszechnie używane parametry opisujące szczelinowatość oparte są na jakościowym opisie spękań górotworu lub bazują na podstawowych pomiarach ilościowych, dając ograniczoną ilość informacji [5]. Nowoczesne standardy i kierunki projektowania robót strzałowych w górnictwie odkrywkowym wymagają stosowania prawidłowych, dokładnych danych i założeń wstępnych oraz korzystania z odpowiedniego oprogramowania komputerowego. Pozyskiwanie informacji dotyczącej budowy geologicznej skał i parametrów wytrzymałościowych może odbywać się z zastosowaniem takich programów jak np. MineScape czy Geostar. Przede wszystkim

należy ustalić rzeczywiste warunki dotyczące zabierki, kształtu i pochylenia ociosu, spękań górotworu oraz różnego rodzaju anomalii w nim występujących, stanowi to ważny element wstępnych założeń projektu robót strzałowych. Wytypowanie miejsc osłabień calizny skalnej, lokalizacja uskoków czy zmienności struktury skały, stanowią istotne informacje przy projektowanych robotach. Pomocne w tym zakresie okazuje się skanowanie laserowe ociosów zabierki przeznaczonej do urabiania, poziomu lub wyrobiska [7]. Popularnymi urządzeniami są skanery MDL Quarry Man lub fototachimetry skanujące Trimble VX. Działanie tych urządzeń może być skorelowane z osnową geodezyjną za pomocą odbiornika GPS Topcon GRS-1. Obróbka danych, tworzenie modeli 3D odbywa się z wykorzystaniem takich programów jak: MicroStation V8iSS2, MoDel-ACE Quarry, Topcon Image Master itp.

W połączeniu z metodami fotogrametrycznymi czy geodezyjnymi, uzyskiwany jest przestrzenny cyfrowy model wybranego elementu odkrywki, a nawiązanie do istniejącej osnowy geodezyjnej pozwala na dokładne zorientowanie miejsca odstrzału oraz umieszczenie bieżącej sytuacji na mapach i planach prowadzenia eksploatacji. Dane te mogą być eksportowane do większości programów graficznych lub baz danych. Uzyskane w ten sposób modele przestrzenne stanowią wygodny i precyzyjny materiał do kolejnych etapów przygo-



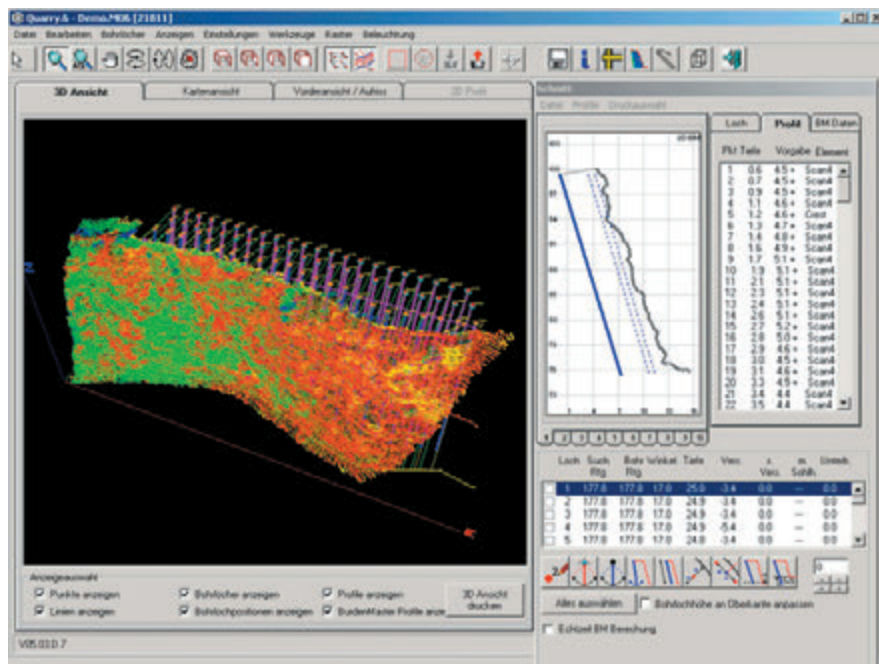
Rys. 1. Widok modelu zabierki po skanowaniu laserowym  
Fig. 1. View of bench model after scanning

towania robót strzałowych.

Rozmieszczenie siatki i pochylenie otworów, zabiory, przewierci, odległości między otworami i rozmieszczenie MW, a nawet czasy opóźnień w otworach, mogą być dzięki temu dobrane w najbardziej korzystny sposób, dając oczekiwane rozdrobnienie skały, kształt usypu oraz ograniczenie niekorzystnych oddziaływań. Obecnie dostępnych jest na rynku wiele programów ułatwiających wykonanie projektu strzelania. Zarówno specjalistyczne oprogramowania komputerowe jakiego mają działające w Polsce międzynarodowe firmy strzałowe, jak i wiele indywidualnych programów, aplikacji czy makr ułatwiających obliczenia, przyczyniają się do skrócenia czasu obliczeń oraz przyjęcia odpowiednich współczynników czy założeń.

### Metody projektowania i optymalizacji robót strzałowych

Nowoczesne programy pozwalają w prosty sposób dopasować otwory strzałowe do zadanej objętości i kształtu zabierki, dobierać czasy opóźnień milisekundowych czy wskazywać kierunek przemieszczania urobku przy odstrzale. Za ich pomocą można prognozować poziom i zasięg oddziaływania parasejsmicznego, rozdrobnienia urobku czy wielu innych elementów



Rys. 2. Przykładowy widok okna edycyjnego programu Quarry 6 Blast Design  
Fig. 2. Illustrative view of edition window in Quarry 6 Blast Design

odstrzału [3,9]. Najczęściej programy takie mają możliwość wczytywania, oprócz modelu przestrzennego zabierki, także dodatkowych danych np. skany ociosu, wyników badania osiowości otworów strzałowych, odległości do najbliższych obiektów chronionych czy oczekiwanych efektów rozdrobnienia. Pośród znanych i najczęściej stosowanych, można tu wymienić takie programy jak PORS, Maptek BlastLogic, Surpac Drill & Blast Design, Quarry 6 Blast Design, ShotPlus-i Pro, Paradigm, SoftBlast, Alpha Blast, I-Blast 7 Pro i in.

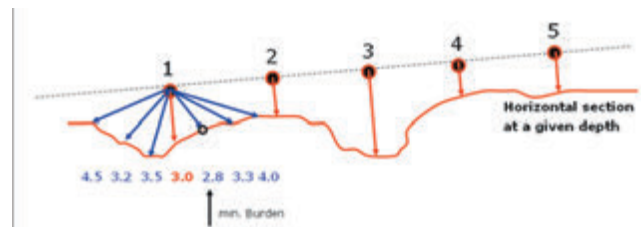
Stosowanie takich programów, mimo bardzo dużego ułatwienia prac projektowych, nadal nie wyklucza problemów związanych z zagrożeniami związanymi z rozrzutem odłamków skalnych, drganiami parasejsmicznymi czy optymalizacją robót wiertniczo-strzałowych. Opracowane na przestrzeni lat rozwiązania przyjmują do założeń projektowych coraz więcej informacji i dają coraz dokładniejsze prognozy efektów końcowych strzelania.

Założenia do projektu robót strzałowych determinują dalszy proces przygotowania i wykonania odstrzału oraz wpływają na kolejne etapy procesu załadunku i przeróbki surowca. Projekt parametrów strzelania jest najważniejszym elementem przygotowania całego procesu robót wiertniczo-strzałowych. Skupia on w sobie informacje, na podstawie których obliczane lub przyjmowane są najważniejsze parametry strzelania. Zawiera warunki i ograniczenia wykonywanych robót oraz ustalenia dotyczące oczekiwanych efektów. Dostępne na rynku programy do projektowania robót strzałowych, dają możliwość najkorzystniejszego wykorzystania zdobytych doświadczeń i rozwiązań. Nowoczesne środki strzałowe obejmujące nieelektryczne i elektroniczne systemy inicjacji, pozwalają na dobór czasu opóźnień, odpalenie ładunków MW i kierowanie przemieszczaniem urobku. Wpływa to korzystnie na racjonalizację i zwiększenie efektywności strzelania przy jednoczesnym ograniczeniu propagacji drgań parasejsmicznych [4]. Projektowanie i optymalizacja robót strzałowych obejmuje ustalenie parametrów strzelania pozwalających na uzyskanie najlepszych oczekiwanych efektów urabiania przy zachowaniu bezpieczeństwa i minimalizacji niebezpiecznych oddziaływań na otoczenie.

## Kontrola wiercenia otworów strzałowych

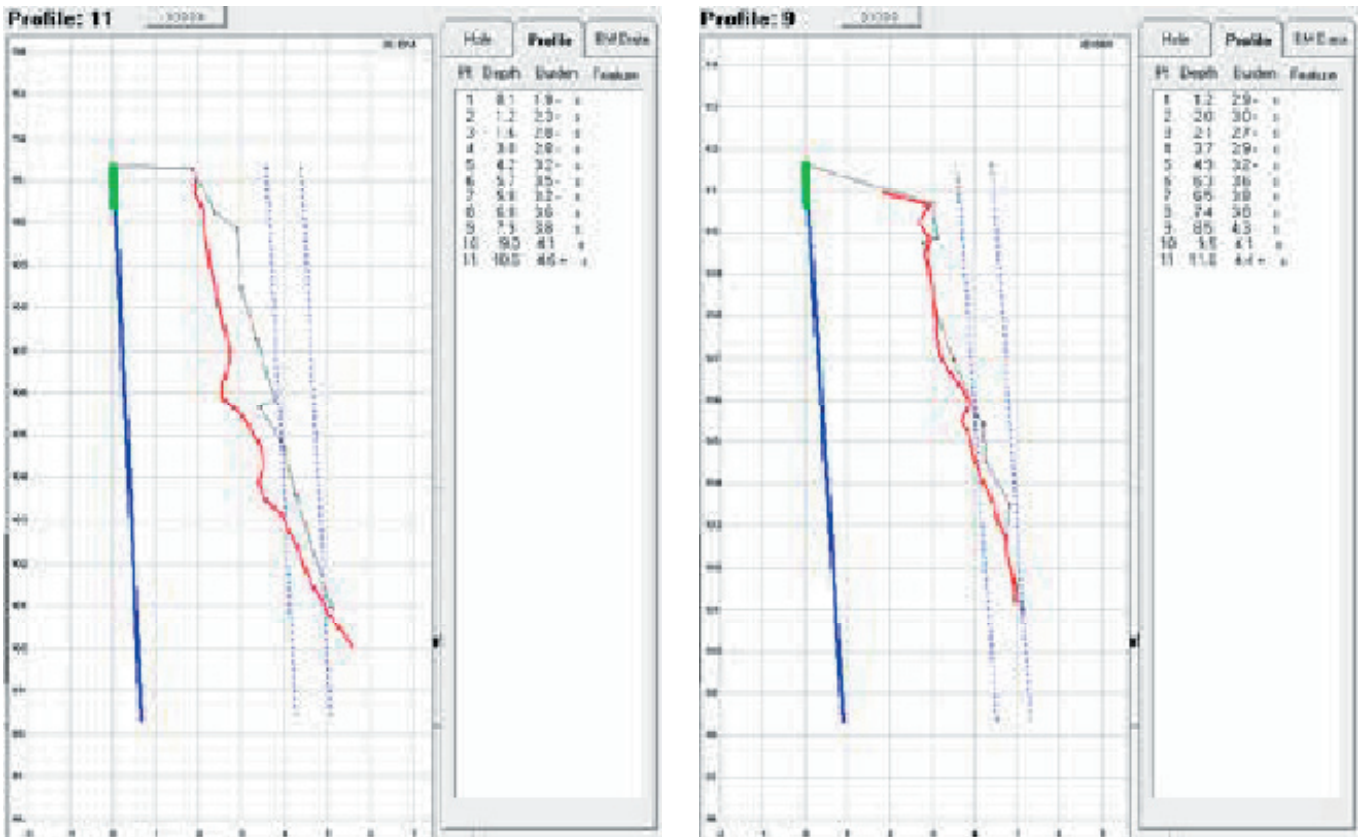
Wiercenie otworów strzałowych oprócz przygotowania zabierki do umieszczenia w niej MW, spełnia jeszcze jedno istotne zadanie. Jest pierwszym stopniem weryfikacji parametrów geologiczno-górnictwowych przyjętych w założeniach projektu robót strzałowych. Informacje takie, w postaci raportu, mogą decydować o liczbie i sposobie rozmieszczenia ładunków MW w zabierce oraz połączenia ich w sieci strzałowej. Bardzo istotną czynnością jest kontrola przekroju otworu na długości oraz jego osiowości. Przy dostępnych dziś sondach otworowych uzyskiwane są informacje o wzajemnym usytuowaniu otworów względem siebie oraz, co najistotniejsze, usytuowaniem otworu w stosunku do powierzchni ociosu. Ustalenie wielkości odległości umieszczenia ładunku MW w stosunku do najbliższej powierzchni odsłonięcia przekłada się na działania zapobiegające niebezpiecznym wyrzutom odłamków skalnych. Wieloletnie badania i obserwacje w tej materii wskazują, że różnice pomiędzy zakładanymi, a rzeczywistymi odległościami zabioru mogą być bardzo duże i wpływają na cały szereg niekorzystnych efektów. Na rys. 3 przedstawiono złożoność ustalania rzeczywistego zabioru w stosunku do kształtu ociosu.

Konieczność kontroli przebiegu otworów strzałowych jest



Rys. 3. Schemat obliczania zabioru w programie Quarry 6 Blast Design  
Fig. 3. Calculation scheme of burden in Quarry 6 Blast Design

podkreślana od bardzo wielu lat, jako czynność niezbędna przy prawidłowym wykonywaniu robót wiertniczo-strzałowych. Szczególnie istotne znaczenie ma kontrola otworów umieszczonych najbliżej ociosów. Do tego celu, wykorzystywane są



Rys. 4. Przykładowe schematy projektowania otworów strzałowych po skanowaniu ociosu  
Fig. 4. Example schems of design boreholes after scanning

różnego rodzaju sondy otworowe np. Boretrack, czy Pulsar Blasthole Probe Mk3 [6], które w połączeniu z laserowymi profilerni frontów dają rzeczywisty obraz przebiegu otworu strzałowego.

Przyrządami wspomagającymi prawidłowe wykonanie odwiertów są zaawansowane systemy sterowania, diagnostyki i monitorowania układu roboczego wiertnic. Należą do nich np. FGS – (ang. Fedder Guiding System) – system wspomagania pozycjonowania ramy wiertniczej i monitorowania procesu wiercenia, czy DMS (ang. Drilling Monitor System) – system monitorowania parametrów wiercenia w maszynach typu Face Master.

Zróźnicowanie właściwości fizyko-mechanicznych i specyfika kopalni eksploatowanych na kruszywo czy na potrzeby przemysłu cementowo-wapienniczego, nie pozwalają na prowadzenie wydobycia przy zdefiniowaniu parametrów strzelania w sposób uniwersalny. Wymagane jest zatem każdorazowe, prawidłowe dobieranie najistotniejszych wskaźników prowadzenia robót wiertniczo-strzałowych, w tym także optymalizujących ilość energii związanej z jednostkowym zużyciem MW, niezbędnej do odspojenia, skruszenia i przemieszczenia skały.

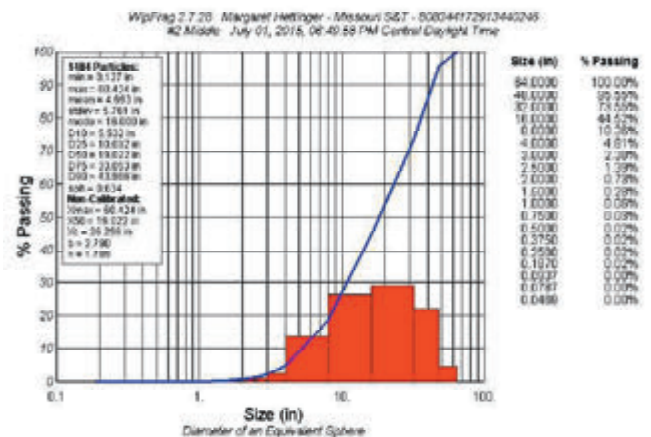
### Ocena wyników pomiarów i efektów odstrzału

Sprawdzanie efektów urabiania może być prowadzone za pomocą fotogrametrycznych metod cyfrowych oraz specjalistycznego oprogramowania np. programu PowerSieve, czy WipFrag [11] służących do analizy rozdrobnienia i składu ziarnowego odstrzelonego urobku.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowy efekt automatycznej detekcji krawędzi brył i analizy uziarnienia usypu w programie WipFrag.



Rys. 5. Wykrywanie krawędzi brył w programie WipFrag  
Fig. 5. Detecting of eage in WipFrag



Rys. 6. Przykładowy wynik analizy składu ziarnowego  
Fig. 6. WipFrag Graph from Test

Monitoring oddziaływań związanych z propagacją drgań sejsmicznych, powietrznej fali uderzeniowej oraz rozrzutem odłamków skalnych, prowadzony jest za pomocą automatycznych zestawów czuwających np. typu Vibraloc oraz kamer cyfrowych rejestrujących proces inicjacji ładunków, detonacji MW i przemieszczania urobku. Natężenie hałasu przy odstrzale może być rejestrowane miernikiem natężenia dźwięku Mentel FonS MI 6301. Pomiary drgań parasejsmicznych wykonywane w trakcie odstrzałów, wykorzystywane są do ustalenia zależności korelacyjnej propagacji i bezpiecznych wielkości ładunków MW lub porównania z wartościami dopuszczanymi według skal SWD. Coraz bardziej popularnym rozwiązaniem jest stosowanie automatycznych stacji monitoringu drgań [10], pozwalających na archiwizowanie i bieżącą kontrolę poziomu oddziaływań na obiekty chronione.

### Podsumowanie

Opisane programy, urządzenia, metody i procedury badawcze mogą być wykorzystywane w zakładach górniczych prowadzących wydobycie skał od wielu lat, a także w zakładach nowootwieranych i rozwijających fronty eksploatacyjne. Przedstawione rozwiązania techniczne mają zastosowanie także przy prowadzeniu makroniwelacyjnych robót strzałowych na

powierzchni terenu przy budowie np. szlaków komunikacyjnych.

Dzięki wykorzystaniu programów i procedur obliczeniowych ustalany może być zasięg strefy niebezpiecznych drgań parasejsmicznych skorelowany z odległością i wielkością odpalanych ładunków MW oraz uwzględniający poziom odporności na drgania obiektów podlegających ochronie. Ustalenia dotyczące poziomu oddziaływań stanowią równocześnie informację wyjściową do projektu kolejnych robót strzałowych, sygnalizując trendy zmian lub stanowią potwierdzenie prawidłowo przyjętych założeń. Poprzez kompleksowe i systemowe stosowanie procedur analizy warunków i efektów urabiania, uzyskiwane są przesłanki do optymalizacji parametrów strzelania oraz wykorzystania środków strzałowych przy ustalonych warunkach wydobywania. Złe lub niepełne wykorzystanie energii MW to nie tylko częściowa strata poniesionych kosztów strzelania, lecz dodatkowe koszty związane ze skutkami nieodpowiedniego urobienia skały, wzrostem zagrożeń i niekorzystnych oddziaływań oraz ciągnący się łańcuch problemów i wydatków.

Procesowe projektowanie i zarządzanie technologią robót wiertniczo-strzałowych uznawane jest jeszcze w naszym kraju jako nowatorskie, choć będące już w dyspozycji metody, środki i urządzenia nie odbiegają od stosowanych standardowo w krajach produkujących w rozwoju technologii urabiania skał.

### Literatura

- [1] Grześkowiak A., 2011 - *Możliwości ograniczania niekorzystnych oddziaływań od robót strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych*, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr. nr 132, Studia i Materiały nr 39. Wrocław
- [2] Hamrol A., 2007 - *Zarządzanie jakością z przykładami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa
- [3] Kutschera, J., Herkommer, M., 2009 - *Terrestrisches Laserscanning für sichere Sprengplanung*, Die Industrie der Steine + Erden 09/2009
- [4] Modrzejewski Sz., 2013 - *Procedury prognozowania stref zagrożeń od robót strzałowych w górnictwie odkrywkowym*. WUG, Bezpieczeństwo i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 6 (226), Katowice
- [5] Mania M., Modrzejewski Sz., 2011, - *Ochrona bloczności złoża z wykorzystaniem skaningu laserowego*, Górnictwo Odkrywkowe 1-2
- [6] Maranda A., Gołabek B., Rink P., Suszka J., 2014 - *Nowoczesne rozwiązania w technice strzelniczej*. Materiały Wyso-koenergetyczne T. 6
- [7] Patla S., Rogosz K., 2013 - *Wspomaganie optymalizacyjne techniki strzałowej za pomocą systemu laserowego i GPS*, *Technika Strzelnicza w Górnictwie i Budownictwie*, Ustroń
- [8] Pinińska J., 2007 - *Szczelinowatość masywów skalnych w świetle normy PN-EN ISO14689-1 – badania geotechniczne, rozpoznanie i klasyfikacja skał*, Geologos 11
- [9] Prędko S., Rajczakowski G., 2009 - *Projektowanie robót strzałowych z zastosowaniem elektronicznego systemu inicjowania typu i-kon oraz oprogramowania wspomagającego ShotPlus*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 125 Seria 35. Wrocław
- [10] Pyra J., Sołtys A., Winzer J., 2012 - *Monitorowanie oddziaływań robót strzałowych na otoczenie – nowe rozwiązania*. Materiały Wyso-koenergetyczne s. 50-59
- [11] Singh P.K., Roy M.P., Paswan R.K., Sarim M., Kumar S., 2012 - *Blast design and fragmentation control – key to productivity*. CSIR-Central Institute of Mining and Fuel Research, India