

*gnejs, kruszywa mineralne, badania,
wymagania, ocena jakości*

MARIA BRYCH*
KAMIL ROGOSZ

WYKORZYSTANIE LASEROWEGO SYSTEMU SKANUJĄCEGO W OPTYMALIZACJI PARAMETRÓW PROWADZENIA ROBÓT STRZAŁOWYCH

Przeprowadzono ocenę prowadzenia robót strzałowych w kopalni margli kredowych. Jej celem było ustalenie technologii urabiania, która doprowadziłaby do zmniejszenia poziomu generowanych drgań sejsmicznych oraz zasięgu rozrzutu odłamków skalnych, przy jednoczesnej poprawie efektywności strzelania w tym zwiększeniu objętości zabierki i optymalizacji ładunku MW. Integralną częścią pracy było stworzenie trójwymiarowego modelu urabianej partii złoża oraz zaprojektowanie serii strzałowych z uwzględnieniem zabioru. Na podstawie wyników badań z zaprojektowanych serii strzałowych podano szereg wytycznych prowadzących do poprawy efektywności urabiania.

1. WPROWADZENIE

Oddziaływania środowiskowe generowane przez kopalnię obejmują m.in. rozrzut odłamków skalnych, propagację powietrznej fali uderzeniowej i drgań sejsmicznych i ściśle zależą od zastosowanych parametrów robót wiertniczo-strzałowych. Celem badań prowadzonych przez Poltegor-Instytut, jest ustalenie wytycznych poprawiających efektywność urabiania przy zachowaniu oddziaływań na bezpiecznym poziomie i zmniejszeniu zużycia jednostkowego MW.

Poprawę efektywności urabiania można uzyskać zwiększając ładunek całkowity i zwiększając objętość zabierki uzyskanej z jednej serii strzałowej. Prowadzenie robót strzałowych serią składającą się z większej liczby otworów strzałowych zmniejsza częstotliwość odstrzałów, co przynosi wymierne efekty ekonomiczne i kopalni. Długa seria strzałowa lepiej profiluje ścianę eksploatacyjną, co z kolei poprawia jakość wiercenia kolejnej serii (jednakowe zabioru, nachylenie otworów w stosunku do nachyle-

* Poltegor-Instytut, Instytut Górnictwa Odkrywkowego, 51-516 Wrocław, ul. Parkowa 25,
maria.brych@igo.wroc.pl, kamil.rogosz@igo.wroc.pl

nia ociosu). Ma to istotny wpływ na ograniczanie stref zagrożeń rozrzutem i drganiami parasejsmicznymi [4].

Zagadnienie optymalizacji robót strzałowych jest uniwersalne dla każdego zakładu górniczego, lecz ocena i modyfikacja parametrów musi uwzględniać specyfikę każdej kopalni. możliwość zwiększenia ładunków jest ograniczona koniecznością zachowania bezpieczeństwa sejsmicznego pobliskich obiektów [2], stąd wykonano pomiary drgań sejsmicznych w przyległej zabudowie i na profilu pomiarowym.

W celu przeprowadzenia oceny i korekty aktualnego sposobu prowadzenia prac wiertniczo-strzałowych wykonano odstrzały badawcze, w których ładunek na jedno opóźnienie milisekundowe oraz liczba odpalanych otworów w serii były zróżnicowane. Pomiary przeprowadzono przy odpalaniu długich i zwykłych otworów pionowych, stosując inicjację górną lub dolną, ładunkiem ciągłym i dzielonym. Parametry geometryczne serii otworów (odległość między otworami, średnica otworów) były zbliżone i zgodne z przyjętą w kopalni technologią strzelania.

Podstawą do analizy sposobu prowadzenia prac strzałowych był matematyczny model propagacji drgań w górotworze, wiążący ze sobą prędkość drgań, tj. mierzalny efekt prowadzenia robót strzałowych, z odległością i ilością odpalanego ładunku MW, które to parametry były w projekcie przedmiotem optymalizacji:

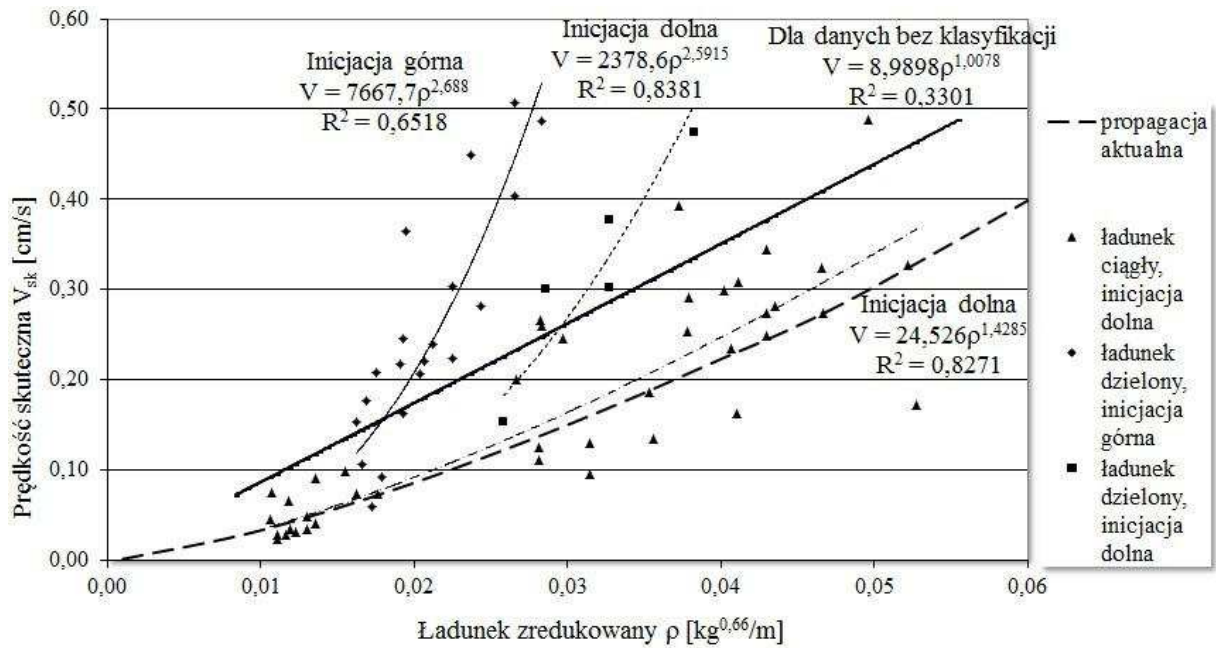
$$V = a \left(\frac{Q^n}{d} \right)^b \quad (1)$$

gdzie:

- V – prędkość drgań poziomych w punkcie, a i b – współczynniki korelacyjne propagacji sejsmicznej,
- Q – maksymalny ładunek MW przypadający na jeden stopień opóźnienia milisekundowego lub w serii strzałowej,
- n – współczynnik potęgowy zależny od warunków górniczo-geologicznych,
- d – odległość pomiędzy miejscem odpalenia ładunku MW a danym punktem pomiarowym,
- Q^n/d – wielkość nazywana jest często ładunkiem zredukowanym.

Równanie wyznaczone na podstawie wszystkich zarejestrowanych wielkości drgań w odniesieniu do ładunku zredukowanego nie osiągało wymaganej ufności. Duży rozrzut wartości wskazał na konieczność klasyfikacji danych wg zastosowanej metody strzelania. Poprawa współczynnika korelacji potwierdziła poprawność tezy, że metoda strzelania ma zasadniczy wpływ na wielkość drgań parasejsmicznych (rys. 1).

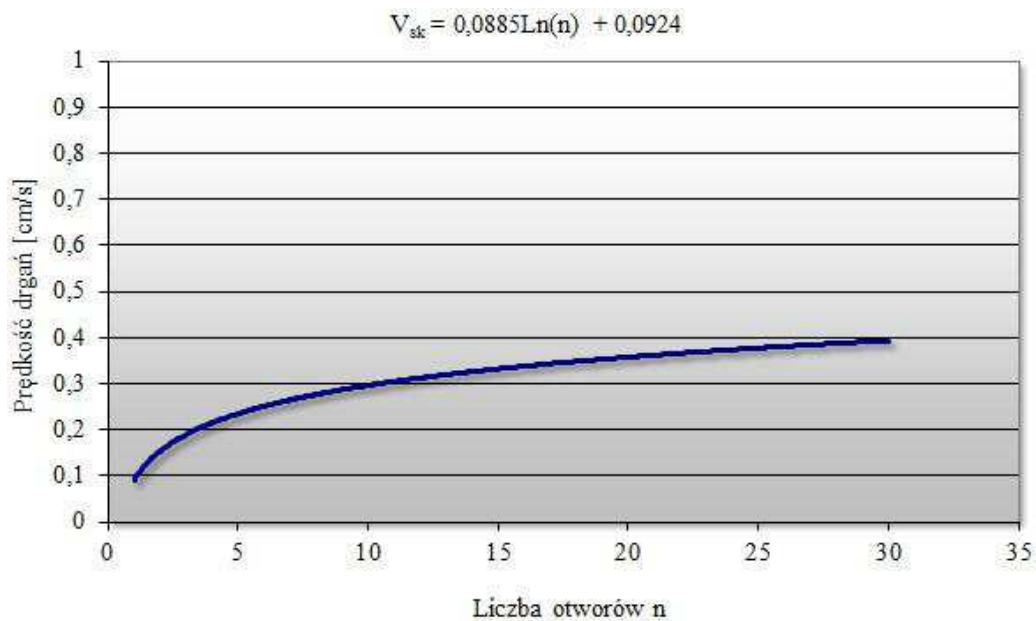
Następnie na podstawie otrzymanych zależności wyznaczono optymalne ładunki na opóźnienie milisekundowe. Okazało się, że zastosowanie górnej inicjacji MW w otworze strzałowym, krótkich serii strzałowych oraz dużego i nierównego zabioru, generowało drgania relatywnie największe, co prowadziło do ograniczenia ilości MW na opóźnienie aż o 60%.



Rys. 1. Modele propagacji dla ładunku na jedno opóźnienie milisekundowe przy różnych metodach odpalania

Fig. 1. Propagation models for a charge with one millisecond delay for different firing methods

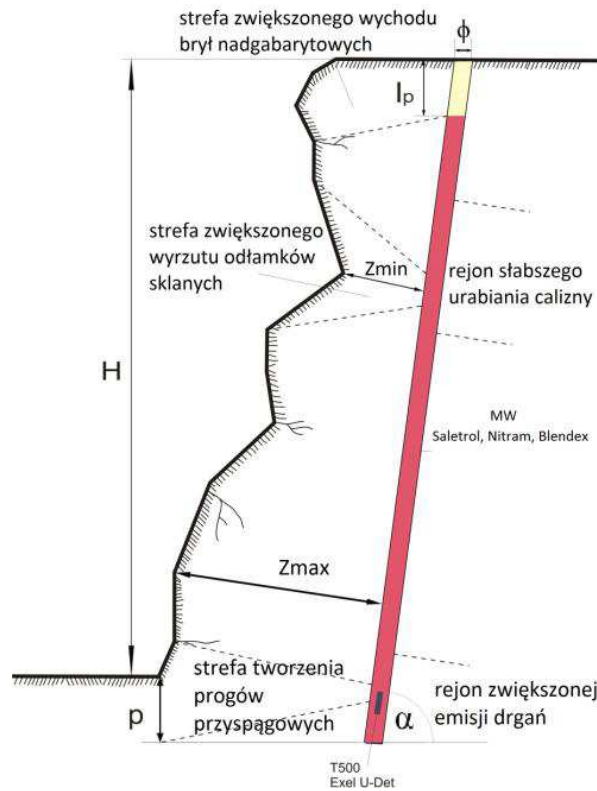
Wyniki badań analizowano również pod kątem wpływu liczby odpalanych otworów strzałowych na wielkość generowanych drgań. Zarejestrowane wartości prędkości skutecznej drgań V_{sk} przedstawiono na prostokątnym układzie współrzędnych w powiązaniu z liczbą otworów strzałowych w serii n (rys. 2).



Rys. 2. Wielkość emitowanych drgań w zależności od liczby otworów w serii strzałowej

Fig. 2. Relationship between emitted vibrations and the number of holes in shots series

W efekcie uzyskano zależność logarytmiczną, która wskazuje, że długość serii strzałowej ma ograniczony wpływ na wielkość emitowanych drgań parasejsmicznych, a bezpieczeństwo sejsmiczne budynków uzyskuje się głównie poprzez zachowanie dopuszczalnych ładunków na jedno opóźnienie milisekundowe oraz dokładne wykonanie prac wiertniczo-strzałowych [4].



Rys. 3. Rzeczywisty zabiór na całej długości otworu strzałowego
Fig. 3. Real burden along the blast hole

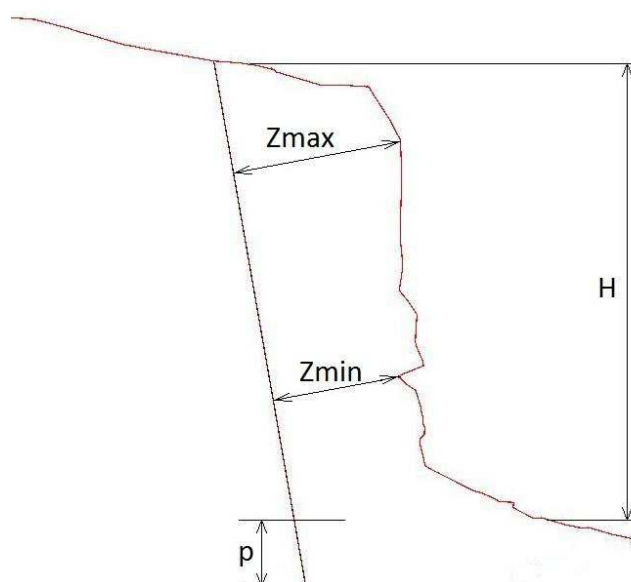
Zróżnicowane wielkość zabioru zauważone w trakcie odstrzałów badawczych, będące efektem budowy geologicznej złoża jak również stosowanej technologii urabiania, mogą również oddziaływać na wielkość generowanych drgań. Zbyt duże odsunięcie ładunku od powierzchni ociosu powoduje zwiększone zużycie energii wybuchu oraz powstawanie spękań wstecznych i fali sejsmicznej w głąb górotworu. Optymalizacja zabioru gwarantuje dobre rozdrobnienie urobku, a zarazem bezpieczeństwo ze względu na rozrzut odłamków skalnych. Na podstawie praktyki pomiarowej potwierdza się, że zabiór nie jest jednakowy na całej długości otworu strzałowego (rys. 3). Konsekwencją tego, oprócz powstawania progów przyspągowych czy nawisów skalnych, może być przede wszystkim niebezpieczny wzrost zasięgu rozrzutu odłamków. Powstała stąd potrzeba włączenia do badań nowoczesnej aparatury pomiarowej, dającej rzeczywisty obraz ociosu i weryfikacji projektowanych założeń serii strzałowych w powiązaniu z modelem zabierki.

2. SKANING NAZIEMNY W PROJEKTOWANIU ROBÓT STRZAŁOWYCH

Wstępne wyniki badań stały się podstawą do wykonania projektu siatki strzałowej. W celu uniknięcia nadmiernych drgań parasejsmicznych oraz zwiększonej strefy rozrzutu odłamków skalnych, dokonano optymalizacji parametrów strzelania. Do wytypowania miejsc na ociosie charakteryzujących się zwiększonym lub zmniejszonym zabiosem posłużono się skanerem laserowym QuarryMan Pro.

Sposób działania skanera laserowego jest analogiczny do aparatów cyfrowych i kamer, które zbierają informacje na temat koloru fotografowanej powierzchni. W przypadku skanera efektem działania jest pomiar odległości do skanowanej powierzchni znajdującej się w jego polu widzenia. Pozyskaną informację skaner gromadzi pod postacią punktu określonego trzema współzrędnymi. Wraz z innymi punktami tworzy on trójwymiarowe odwzorowanie danego obiektu. W wyniku dokonania triangulacji, tj. zbudowania powierzchni fasetkowej w postaci zbioru trójkątów, których wierzchołkami są zwektoryzowane punkty, otrzymano kształt modelu w skali 1:1, wiernie oddający rzeczywisty obraz ociosu piętra [5, 6].

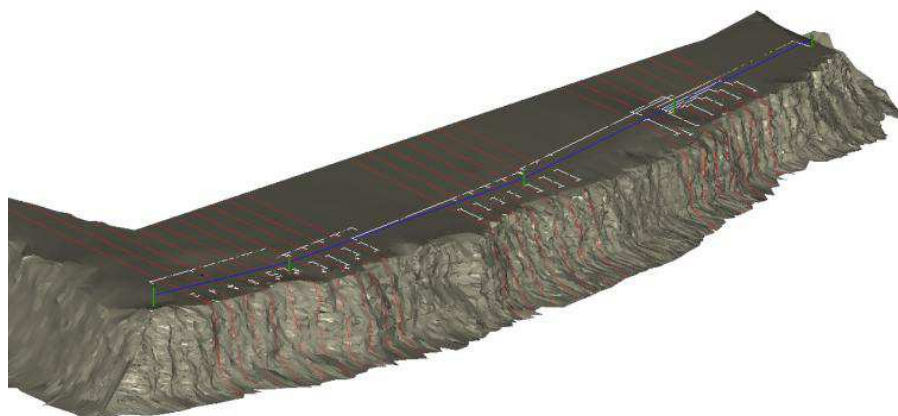
Na stropie zeskanowanej zabierki zostały wytyczone linie równoległe względem siebie i do spągu wyrobiska. Odległość między kolejnymi liniami odpowiadała odległości między projektowanymi otworami strzałowymi, tj. 3 m. Wytyczone linie zostały następnie zrzutowane na siatkę modelu tworząc modelowe profile ściany, które posłużyły do zaprojektowania każdego otworu strzałowego indywidualnie. Na podstawie profilu ociosu określono kąt wierconego otworu, jego długość i wielkość przewiertu, z lokalizacją ewentualnych wgłębień lub nawisów na ociosie (rys. 4).



Rys. 4. Przykładowy profil ociosu ze zróżnicowaną wartością zabioru
 Fig. 4. An example of profile with different values of burden

Kształt ściany i geometria otworu mogły posłużyć przy rozmieszczeniu materiału wybuchowego w otworze. Efektem ustalenia miejsc zmniejszonego zabioru było ograniczenie zagrożenia rozrzutem odłamków skalnych i dostosowania do niego wielkości odpalanego ładunku MW. W opisany sposób sporządzono siatkę otworów strzałowych dla trzech serii, zróżnicowanych pod względem metody inicjacji i konstrukcji kolumny ładunku MW.

Miejsce odwiertu każdego z otworów strzałowych zostało naniesione za pomocą odbiorników GPS na strop poziomym. Otwory strzałowe wiercono wg zaprojektowanej siatki urabiającej oraz z uwzględnieniem wytycznych wynikających z poprzednich badań (przewiert, zabiór). Ostatnim etapem był załadunek MW i łączenie w sieć strzałową serii otworów wg ustalonych wytycznych.



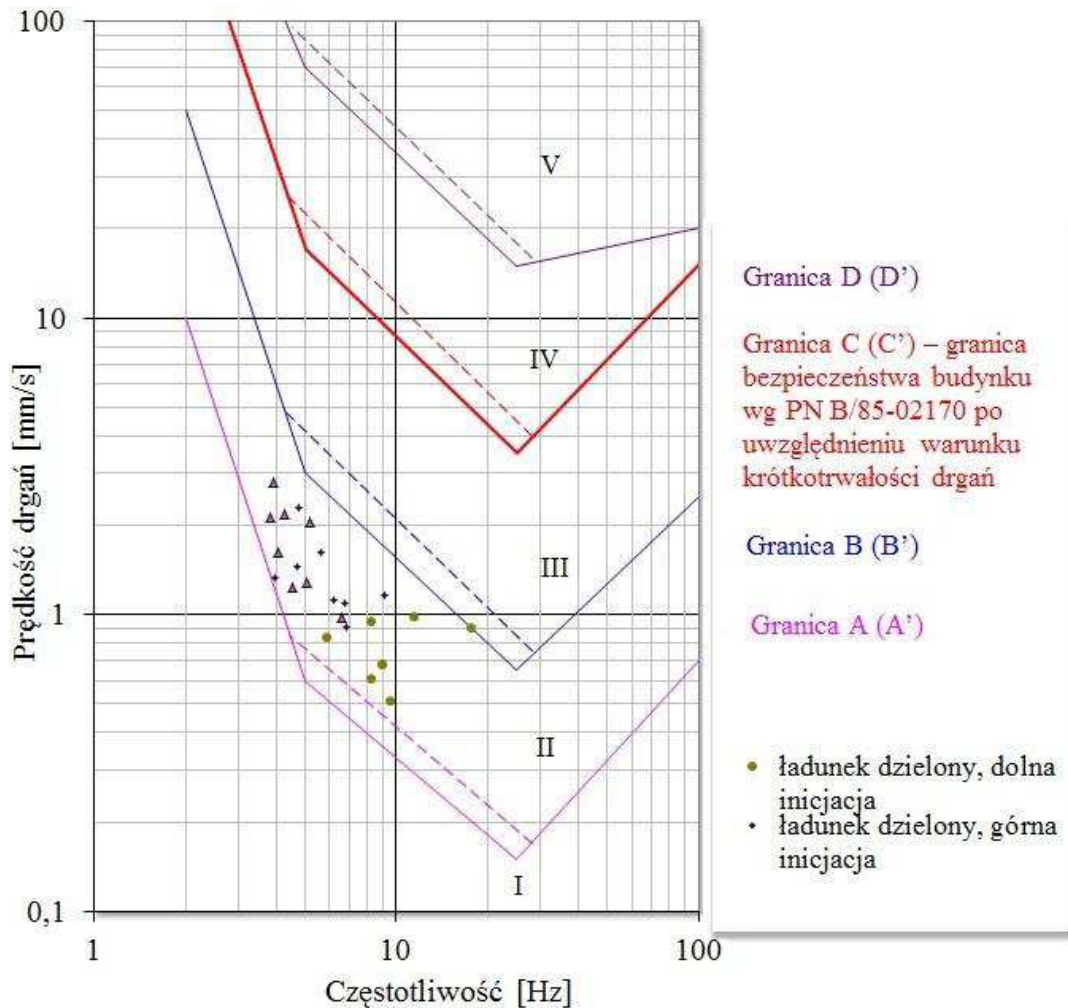
Rys. 5. Przestrzenny model frontu eksploatacyjnego z zaprojektowaną siatką otworów strzałowych
Fig. 5. A spatial model of the excavation front with designed blast holes

Analiza parametrów robót strzałowych po wykonaniu zaprojektowanych odstrzałów wykazała, że inicjacja od górnej części otworu strzałowego przy ładunku dzielonym powoduje zwiększenie emisji drgań od 40% do nawet 110% w porównaniu do strzelania z inicjacją w dolnej części otworu. Porównanie drgań przy strzelaniu ładunkiem ciągłym wskazuje, że przy większym ładunku na opóźnienie następuje niewielki wzrost emisji drgań pod warunkiem ścisłego przestrzegania wyznaczonych wielkości zabioru i przewiertu.

Praktyczne wyniki przedstawionej korekty metody strzelania milisekundowego długimi otworami w kontekście ochrony obiektów przedstawiono na rysunku 6.

Przeprowadzone badania potwierdziły, że korekta metody inicjacji i konstrukcji ładunku oraz dokładności prowadzenia robót strzałowych pozwoliła skorygować poziom oddziaływań środowiskowych. Z powyższego wynika, że warunkiem utrzymania oddziaływań na bezpiecznym poziomie jest stosowanie dolnej inicjacji ładunku MW oraz wykonanie prac wiertniczych z zachowaniem ustalonych przewiertów i zabiorów, utrzymaniem równoległości otworów do pochylenia ociosu. Poprawę efektu ekono-

micznego prowadzonych robót strzałowych można realizować więc też poprzez zwiększenie ładunku całkowitego odpalanej serii przy zachowaniu bezpieczeństwa sejsmicznego przyległych obiektów. Przedstawiona metoda pozwoliła zwiększyć ładunek serii strzałowej, co istotnie wpłynęło na ekonomiczny aspekt urabiania kopaliny z użyciem MW.



Rys. 6. Wyniki badań na skali SWD I
Fig. 6. The results on the SWD I scale

3. WNIOSKI

Wykorzystując możliwości nowoczesnych urządzeń i aparatury pomiarowej, przeprowadzono kompleksowe badania parametrów oraz sposobu prowadzenia robót strzałowych w powiązaniu z warunkami geologiczno-górnictwymi. Zaawansowane narzędzia pozwalają na optymalizację robót strzałowych w tym możliwość kontroli robót strzałowych poprzez zastosowanie technologii skaningu laserowego.

Uzyskane informacje o kształcie ociosów, geometrii otworu i wielkości zabioru umożliwiają sterowanie załadunkiem materiału wybuchowego w otworze, i m.in. określenie wielkości przesyпки oraz dobranie odpowiedniego MW ze względu na występowanie stref zwiększonego wyrzutu odłamków skalnych.

Przeprowadzone badania sejsmiczne wykazały, że inicjacja od górnej części otworu strzałowego przy ładunku dzielonym jest mniej korzystna. Jednocześnie stwierdzono, że skorygowana metoda inicjacji i konstrukcja ładunku oraz dokładność prowadzenia robót strzałowych wpływa na zmniejszenie poziomu oddziaływań środowiskowych. Warunkuje to możliwość poprawienia efektu strzelania poprzez zwiększenie ładunku całkowitego przy zachowaniu bezpieczeństwa sejsmicznego obiektów.

LITERATURA

- [1] BORKOWSKI A., PERSKI Z., WOJCIECHOWSKI T., WÓJCIK A., *Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk – przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne)*, Przegląd Geologiczny, nr 2/2012.
- [2] BRYCH M., MODRZEJEWSKI S., *Możliwości i sposoby zwiększania ufności prognozowania zasięgów oddziaływań parasejsmicznych powodowanych robotami strzałowymi w górnictwie odkrywkowym*, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 9/2007.
- [3] GRANICZNY M., KAMIŃSKI M., PIĄTKOWSKA A., SURAŁA M., *Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańnicy (gmina Lanckoro-na), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne*, Przegląd Geologiczny, nr 2/2012.
- [4] GRZEŠKOWIAK A., *Strzelania doświadczalne jako sposób zwiększenia ładunku całkowitego w serii strzałowej*”. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr. nr 119, Wrocław 2007.
- [5] PATLA S., *Zastosowanie skaningu laserowego do wyznaczania objętości zwałowisk i składowisk produktów na przykładzie Kopalni Piława Górna*”, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr., nr 125, Wrocław 2009.
- [6] ROGOSZ K., ŚLUSARCZYK S., *Laser na granicie*, Surowce i Maszyny Budowlane, nr 6/2011.

LASER SCANNING TECHNOLOGY FOR OPTIMIZING PARAMETERS OF BLASTING OPERATIONS

Evaluation of blasting operations was performed in a mine of chalk-marls. The main objective was to obtain proper rock breaking technology aiming at decrease of seismic vibrations and rocks spread with simultaneous improvement of blasting efficiency. An integral part of the study was to prepare 3D model of exploited deposit as well as designing of blasting series including burden. On the basis of obtained results, several guidelines aiming at increase of blasting operations efficiency have been proposed.