

Received January 30, 2015; reviewed; accepted March 27, 2015

*technika strzelnicza, materiały wybuchowe,  
zarządzanie jakością*

Arkadiusz GRZEŚKOWIAK, Sławomir PATLA, Kamil ROGOSZ<sup>1</sup>

## **ZASTOSOWANIE METODY TAGUCHI W BADANIACH EFEKTÓW ROBÓT STRZAŁOWYCH**

Prezentujemy wykorzystanie metody Taguchi do oceny i optymalizacji warunków strzelania oraz analizy wpływu parametrów strzelania na emisję drgań parasejsmicznych i rozrzutu odłamków skalnych. Za pomocą wykresu Ishikawy wskazano istotne związki, zachodzące pomiędzy przyczynami niekorzystnych efektów strzelania oraz ustalono źródła niepowodzeń lub nieprawidłowego przebiegu procesu wybuchowego urabiania skał. Dokonano selekcji czynników istotnie wpływających na proces robót wiertniczo-strzałowych i przedstawiono wyniki pomiarów oddziaływań w trakcie strzelań.

### **1. WSTĘP**

Roboty strzałowe prowadzone w odkrywkowych zakładach górniczych stanowią istotną część procesu technologicznego, mającego na celu pozyskanie i przygotowanie kopaliny do dalszego przetwarzania. Działania poprawiające efektywność w zakresie robót wiertniczo-strzałowych stanowią zatem podstawowe wyzwanie dla menedżerów zakładów górniczych i służb strzałowych. Optymalizacja stanowi postępowanie mające na celu wyznaczenie najlepszego spośród dopuszczalnych rozwiązań danego zagadnienia, zgodnie z przyjętym kryterium lub każde postępowanie dla znalezienia najlepszych warunków realizacji badanego procesu z uwzględnieniem istniejących ograniczeń (Górecki, 1993). W eksploatacji kopalni sprowadza się to do określenia warunków realizacji badanego procesu technologicznego, zapewniających największą

<sup>1</sup> POLTEGOR-INSTYTUT Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław,  
arekg@igo.wroc.pl, slawomir.patla@igo.wroc.pl, kamil.rogosz@igo.wroc.pl

wydajność, najlepszą jakość, bądź najmniejszy koszt wytwarzania kruszywa przy spełnieniu oczekiwań jakościowych i wydajnościowych.

W technologii urabiania skał przedmiotem optymalizacji mogą być procesy: wiercenia, ładowania materiałów wybuchowych do otworów strzałowych lub inne zagadnienia organizacji strzelania, dające się modelować metodami numerycznymi. Optymalizowane mogą być parametry danego procesu w określonych warunkach techniczno-organizacyjnych produkcji (Górecki, 1993). W takim przypadku procedura optymalizacyjna wymaga przeprowadzenia doświadczeń *in situ* i oceny uzyskanych wyników. Przy badaniu złożonych technologii, jest to zwykle bardzo pracochłonne i trudne, a niekiedy wręcz niemożliwe do realizacji. Kryteriami optymalizacji najczęściej są kryteria techniczne, przeważnie ilościowe, jak wydajność urobku z odstrzału, równomierność rozdrobnienia, a także kształt usypu, ilość nadgabarytów lub wskaźnik zużycia MW. Miernikiem jakości strzelania może być także prędkość drgań parasejsmicznych czy zasięg rozrzutu odłamków skalnych.

Coraz większe zainteresowanie wzbudza stosowana w przemyśle statystyczna kontrola jakości i obniżania kosztów wyrobów lub procesów technologicznych, z której od lat korzystają międzynarodowe firmy i koncerny w ramach teorii eksperymentu; *design of experiment* – DOE (Pietraszek, 1999). Założeniem doświadczenia jest ustalenie parametrów, które w sposób istotny wpływają na badany obiekt czy proces. Pozwala to wyeliminować w kolejnych badaniach czynniki nieistotne, których uwzględnianie podnosi koszty i przedłuża czas prowadzenia badań. Po określeniu istotnych cech możliwe jest ustalenie związku matematycznego, wiążącego dane wejściowe i wyjściowe, które realizują oczekiwany stan parametrów procesu. W przypadku metody opracowanej przez Genichi Taguchi, część związana z określaniem związku aproksymacyjnego jest realizowana niejawnie i od razu przechodzi się do określania stanów optymalnych, związanych z rozważanym kryterium jakości. Wykorzystanie tej metody do badań i analizy parametrów robót strzałowych okazuje się bardzo korzystne.

## 2. METODY WYZNACZANIA ISTOTNYCH CECH TECHNOLOGII ROBÓT STRZAŁOWYCH

Do wyznaczenia istotnych parametrów procesu technologicznego można korzystać z wielu metod. Wymaga to najczęściej zastosowania zaawansowanych narzędzi do gromadzenia danych i przetwarzania tych informacji. W celu wyodrębnienia cech procesu, istotnie wpływających na uzyskiwane efekty oraz oszacowania strat z tytułu niedotrzymania jakości pożądanej przez klientów (odbiorców produktu, usług), zastosowano metodykę wykorzystującą funkcję strat jakości Taguchi'ego. Pozwala ona określać jakość od strony strat generowanych przez parametry, których wartości znajdują się na niezadowalającym poziomie (Korzyński, 2013). Poszerzenie jej o analizę

statystyczną i planowanie doświadczeń, umożliwia skrócenie czasu i redukcję kosztów badań. Pozwala to także na usystematyzowanie parametrów wpływających na jakość wybuchowego procesu urabiania skał. Istotą metody jest uzyskanie jak największej ilości wartościowych i wiarygodnych informacji o badanym obiekcie (wyrobie lub procesie) na podstawie doświadczeń.

Obszar badań robót strzałowych na ogół jest wyznaczany ograniczeniami technicznymi stanowisk badawczych, aparaturą pomiarową i możliwościami obserwacji badanych procesów ze względu na wymogi bezpieczeństwa. Coraz szersze stosowanie urządzeń do modelowania czy kontroli stanu zabierki, np. skanery laserowe, pozwala na lepszą ocenę stanu fragmentu calizny skalnej przewidzianej do odstrzału i wykorzystanie otrzymanych informacji do prac projektowych (Brych & Rogosz, 2012, Patla & Rogosz, 2013). Kontrola osiowości otworów strzałowych z wykorzystaniem sond otworowych, pozwala na uzyskanie istotnych informacji o przestrzennym kształcie otworu strzałowego i ewentualną korektę przyjętych założeń projektowych. Wykorzystanie skaningu laserowego ociosów i profilowania otworów przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa prowadzonych robót strzałowych oraz zwiększenia ekonomicznych efektów urabiania (Grześkowiak, 2013).

W celu wyodrębnienia cech procesu wiertniczo-strzałowego, istotnie wpływających na jakość oraz oszacowania strat z tytułu niespełnienia wymagań, oczekiwania, zaproponowano metodykę wykorzystującą funkcję strat jakości Taguchi'ego (określaną jako współczynnik  $S/N$  *signal-noise*).

Oczekiwaniem zakładu górniczego, zlecającego roboty firmie strzałowej, jest zapewnienie stałości cech nadawy dla zakładu przeróbczego; określonej ilości i jakości. Oczekiwaniem mieszkańców lub użytkowników przyległej infrastruktury jest zapewnienie przez ZG bezpieczeństwa prowadzonych robót oraz przynajmniej minimalizację oddziaływań środowiskowych.

### 3. ZAŁOŻENIA I CEL BADAŃ PARAMETRÓW STRZELANIA

Obserwacje autorów, konsultacje z osobami projektującymi i prowadzącymi roboty strzałowe, a także analizy wyników badań propagacji drgań parasejsmicznych oraz rozdrabniania i przemieszczania urobku w trakcie odstrzałów, nasuwają spostrzeżenia dotyczące ścisłej współzależności niektórych parametrów robót strzałowych. Sprawdzenia wpływu wybranych parametrów robót strzałowych na uzyskiwane efekty, dokonano poprzez przeprowadzenie odpowiednio zaprojektowanych badań eksperymentalnych.

Ustalenie wzajemnych związków parametrów strzelania z wynikami pomiarów i efektami działania MW w caliznie skalnej, było istotą zaprojektowania eksperymentu oraz oceny wyników pomiarów. Stworzenie kompletnego schematu badań jest procesem, na który składa się opis obiektu i jego cech, ustalenie zmiennych zależnych

i niezależnych oraz ewentualnych czynników (szumów) zakłócających badane relacje. Celem optymalizacji parametrów wyrobu i procesu produkcyjnego było znalezienie takich wartości wybranych parametrów, aby zapewnić oczekiwaną jakość strzelania, minimalizować oddziaływanie niekorzystnych efektów odstrzału i zapewnić stabilność urabiania. Kontrola założeń projektowych parametrów robót strzałowych często jest niewystarczająca w prawidłowej ocenie przebiegu tego procesu. Na efekty końcowe mogą także wpływać czynniki będące poza kontrolą lub będące trudne do ustalenia. Zastosowanie DOE do badania robót strzałowych jako procesu technologicznego okazuje się pomocnym i praktycznym rozwiązaniem.

Podstawowym celem robót strzałowych jest uzyskanie skruszonej skały o pożądanych cechach, brak nadgabarytów, odpowiedni kształt usypu, nienaganny stan ociosu i spągu. Pomimo osiągnięcia zakładanych celów zdarzają się przypadki związane ze zwiększonym rozrzutem odłamków skalnych czy szkodliwym oddziaływaniem drgań parasejsmicznych. Ponadto w robotach strzałowych konieczne jest zapewnienie stabilności procesu urabiania, co wymaga zminimalizowania zmienności cech wokół wartości nominalnych (Korzyński, 2013). Oznacza to konieczność zmniejszenia wrażliwości robót strzałowych na działanie zidentyfikowanych parametrów strzelania decydujących o efektach.

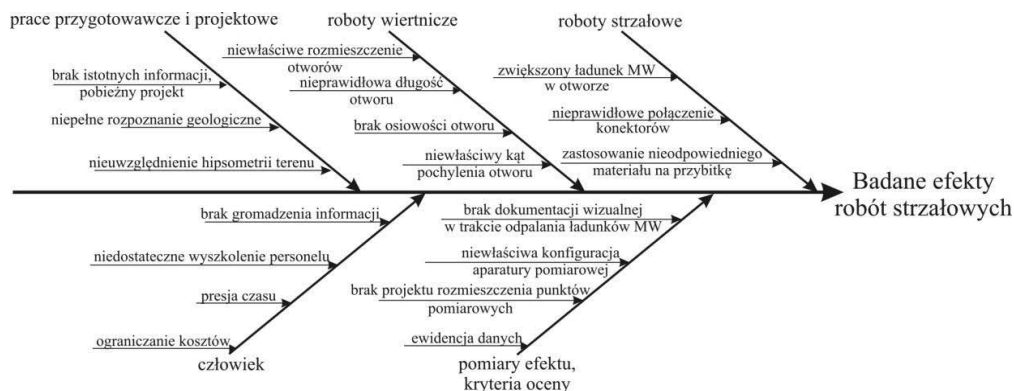
Niezbędny zakres badań zależny jest od liczby parametrów i relacji między nimi. Do wyznaczenia istotnych, albo odrzucenia mało istotnych parametrów, mogą służyć plany eliminacyjne; analiza FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) lub wykresy Pareto–Lorenza czy analiza wykresu Ishikawy (tzw. diagramu rybiej ości).

Do wyznaczenia istotnych cech procesu związanego ze strzelaniem, zaadaptowano diagram przyczynowo-skutkowy Ishikawy, charakteryzujący się prostotą i uniwersalnością. Za pomocą tego wykresu można wskazać wszelkie istotne związki zachodzące pomiędzy różnymi przyczynami oraz odkrywać źródła niepowodzeń lub nieprawidłowego przebiegu działań. Analiza diagramu umożliwia także rozpoznanie i klasyfikację wszelkich zagadnień oraz wskazanie przyczyn niedoskonałości procesu (Hamrol, 2005). Do analiz na wykresie Ishikawy, przyjęto negatywne skutki robót strzałowych w postaci nadmiernego rozrzutu odłamków skalnych ( $R_r$ ) oraz intensywność drgań parasejsmicznych ( $R_s$ ).

W celu rozpoznania przyczyn niekorzystnych oddziaływań wydzielono pięć kategorii przyczyn wpływających na proces robót wiertniczo-strzałowych:

- prace przygotowawcze i projektowe, roboty wiertnicze, roboty strzałowe,
- pomiary efektów i kryteria oceny, człowiek.

Na rysunku 1 przedstawiono diagram przyczyn i podprzyczyn będących podstawą do dalszych ewaluacji.



Rys. 1. Diagram Ishikawy

Fig. 1. Ishikawa's diagram

## PRACE PRZYGOTOWAWCZE I PROJEKTOWE

Na etapie przygotowania serii strzałowej wyróżniono podprzyczyny wpływające na negatywne efekty procesu, jakimi są drgania parasejsmiczne i rozrzut odłamków skalnych.

*Brak istotnych informacji, pobieżny projekt.* Posiadając informacje dotyczące budowy geologicznej, kształtu ociosu, przebiegu osi otworu strzałowego, zwięzłości górotworu w obrębie każdego otworu strzałowego minimalizuje się liczbę niewiadomych. W przypadku wykrycia odstępstw od założeń projektowych można dostosować projekt strzelania do tych warunków.

*Niepełne rozpoznanie geologiczne.* Oprócz analizy dokumentacji geologicznej, należy dokonać wizualnej oceny zabierki, a w szczególności występowanie zwiększonej liczby szczelin, zwietrzałych oraz skrasowiałych fragmentów calizny.

*Niewzględnienie hipsometrii terenu.* W przypadku stokowych wyrobisk, zasięg rozrzutu odłamków skalnych i propagacja drgań sejsmicznych ulega istotnym zmianom ze względu na deniwelacje terenu. Często drgania parasejsmiczne w bliskiej odległości (rozpatrywane w rzucie na płaszczyznę) są mniejsze niż w punktach położonych dalej. W uzasadnionych przypadkach kompleksowa ocena powinna uwzględnić składową pionową wektora prędkości.

## ROBOTY WIERTNICZE

Podczas prac wiertniczych występują różnice pomiędzy wytyczonymi a wykonanymi parametrami siatki otworów.

*Niewłaściwe rozmieszczenie otworów strzałowych.* Położenie kryz otworów, wyznaczanych kamieniami pokrytych farbą, może łatwo ulec przesunięciu. Niekiedy także brak możliwości ustawienia wiertnicy w prawidłowym położeniu powoduje

zmianę lokalizacji otworu. Nieuwzględnienie w dalszych etapach tych odstępstw może powodować nieoczekiwane efekty.

*Nieprawidłowa długość otworu.* Nieprawidłowa długość otworu wiąże się z przewiertem lub niedowiertem. Przy braku korekty przewiertu, należy spodziewać się zwiększonej emisji drgań parasejsmicznych. Niedowiert z kolei skutkuje najczęściej powstawaniem progów przyspągowych.

*Brak osiowości otworu.* Zmiana kierunku osi otworu jest szczególnie niepożądana, szczególnie występująca w kierunku do ociosu lub sąsiedniego otworu. Prowadzi to w poszczególnych miejscach do wzrostu lokalnej koncentracji MW powodującej zwiększony rozrzut. W przypadku obniżonej ilości MW, dochodzi do niewystarczającego kruszenia skały. Informacja o rzeczywistym przebiegu osi otworu i korekta załadunku MW pozwala przeciwdziałać potencjalnym negatywnym skutkom odstrzału.

*Niewłaściwy kąt pochylenia otworu.* Pochylenie otworu strzałowego wynika z profilu ociosu. Nieodpowiedni kąt może skutkować nieprawidłowym zabiorem w części otworu strzałowego.

#### ROBOTY STRZAŁOWE

*Zwiększony ładunek MW w otworze.* Nieuwzględnienie danych dotyczących możliwości występowania kawern, szczelin i spękań w rejonie otworu strzałowego doprowadzić może do nadmiernej koncentracji ładunku MW w niewielkiej przestrzeni górotworu.

*Nieprawidłowe połączenie konektorów powierzchniowych* powoduje często niezamierzone pokrywanie się czasów inicjacji poszczególnych ładunków MW i może zwiększać prędkość drgań parasejsmicznych. Niedostosowanie schematów połączeń, do rzeczywistych warunków powoduje szereg nieprawidłowości u trakcie strzelania.

*Zastosowanie nieodpowiedniego materiału przybitki.* Materiał na przybitkę powinien uniemożliwiać zbyt szybkie wydostawanie się gazów postrzałowych z otworu. Nieodpowiednia przybitka umożliwia wyprowadzenie nadmiaru i ciśnienia gazów postrzałowych z otworu, stanowi jednak stratę energii MW przewidzianą na kruszenie skały.

#### CZŁOWIEK

*Gromadzenie informacji.* Brak wymiany informacji, między osobami uczestniczącymi w poszczególnych etapach robót strzałowych (projektowych, wiertniczych, załadunku MW) wiązać się może z niepożądanymi wynikami odstrzału.

*Niedostateczne wyszkolenie personelu.* Niewiedza na temat wpływu parametrów robót wiertniczo-strzałowych na efekt końcowy, prowadzi do bagatelizowania istotnych informacji i braku świadomości konsekwencji.

*Presja czasu.* Prowadzenie prac wiertniczo strzałowych w trudnych warunkach geologiczno-górnicych wymaga zintensyfikowanych prac przygotowawczych. Zbie-

ranie, obróbka i analiza danych są pracochłonne, a ułatwieniem jest korzystanie ze specjalistycznego oprogramowania

*Ograniczanie kosztów.* Dążenie do urobienia jak największej objętości skały, najniższym nakładem prac przygotowawczych i wiertniczo-strzałowych skutkuje powstawaniem brył nadgabarytowych i zwiększoną emisją oddziaływań.

#### POMIARY EFEKTU, KRYTERIA OCENY

*Brak dokumentacji wizualnej w trakcie odpalania ładunków MW.* W wielu zakładach górniczych, w trakcie strzelania, załoga zobowiązana jest do przebywania w bezpiecznym miejscu (schron dla załogi), co uniemożliwia obserwację przebiegu odstrzału. Rejestrując przebieg każdego odstrzału można sprawdzić poprawność przyjętych parametrów oraz zweryfikować je podczas urabiania kolejnej zabierki.

*Niewłaściwa konfiguracja aparatury pomiarowej.* Podczas badań propagacji drgań należy uwzględnić rodzaj podłoża gruntowego, w którym stabilizuje się sejsmografy. Badając prędkość drgań bezpośrednio przy obiektach, należy stabilizować je w jednorodnym gruncie. Rozmieszczenie sejsmografów powinno być dostosowane do rodzaju podłoża stanowiącego falowód.

*Brak projektu rozmieszczenia punktów pomiarowych.* Prowadzenie badań zasięgów oddziaływań powinno być dostosowane do aktualnych oraz pożądanych parametrów robót wiertniczo-strzałowych. Rozmieszczenie punktów pomiarowych powinno uwzględniać odległości pomiędzy miejscem odpalenia MW, a obiektami chronionymi, hipsometrię terenu oraz warunki geologiczne.

*Ewidencja danych.* Brak odnotowywania odstępstw od ewidencji strzałowej uniemożliwia właściwą ocenę efektów. Parametry robót wiertniczo-strzałowych podczas strzelań z przekroczonymi zasięgami oddziaływań (drgań, a nawet rozrzutu) w ewidencji, zawsze są zgodne z dokumentacją projektową.

Po analizie diagramu ustalono, że czynniki wpływające na zwiększoną emisję oddziaływań można podzielić na dwie grupy przyczynowe. Do pierwszej zaliczamy parametry, na które nadzorujący ma ograniczony wpływ, jednak można je kontrolować i przeciwdziałać ich skutkom. Drugą stanowią przyczyny, które można łatwo eliminować. Danych wejściowych, objętymi dalszymi badaniami były: wielkość ładunku na opóźnienie milisekundowe w otworze strzałowym, wielkość ładunku MW w otworze, zabiór (rzeczywisty), przewiert oraz długość otworu strzałowego. Badanymi efektami były prędkość drgań parasejsmicznych oraz zasięg rozrzutu odłamków skalnych (zasięg, długość pryzmy usypu urobku). Czynnikiem wpływającym na podejmowanie działań zapobiegawczych jest świadomość występujących zagrożeń oraz znajomość metod ich rozpoznawania. Dotyczy to osób zaangażowanych nie tylko w wykonywane prace wiertniczo-strzałowe, ale także odpowiedzialnych za prawidłowe rozpoznanie geologiczne czy pomiary.

#### 4. WYBÓR PLANU BADAŃ WEDŁUG METODY TAGUCHI

Metoda Taguchi jest odmiennym od tradycyjnego sposobem podejścia do zagadnień optymalizacji. Celem tej metody nie jest stworzenie modelu procesu, lecz ustalenie wartości parametrów, które zapewniają uzyskanie najlepszej jakości wyrobu, czy usługi, według zdefiniowanego kryterium.

Kolejność działań w metodzie Taguchi obejmuje:

- identyfikacja istotnych cech, skutków ubocznych i czynników niepowodzeń, identyfikacja czynników zakłócających, badania warunków i cech jakościowych,
- określenie funkcji parametrów do optymalizacji oraz czynników kontroli i ich poziomów,
- wybór tablicy ortogonalnej macierzy eksperymentu,
- przeprowadzenie eksperymentu (wg planu),
- analiza danych, prognoza optymalnych poziomów,
- wykonanie eksperymentu weryfikacyjnego i plan działań na przyszłość

Identyfikacji istotnych cech i wzajemnych relacji parametrów strzelania dokonano po analizie diagramu Ishikawy. Czynniki zakłócającymi w przypadku badań propagacji drgań parasejsmicznych czy rozrzutu odłamków skalnych jest szczelność górotworu czy prędkość detonacji MW w otworze strzałowym.

Do badań przyjęto zaplanowane roboty strzałowe prowadzone w kopalniach granitu, amfibolitu, serpentynitu i dolomitu, przy urabianiu skał na kruszywo z zastosowaniem założonych, zróżnicowanych parametrów strzelania.

Istnieje sześć sposobów wykorzystania i ustalenia współczynnika  $S/N$ , w zależności od rodzaju badanej cechy: mniejsze-najlepsze, nominalne-najlepsze, największe-najlepsze, znakowany cel, częściowo niesprawne i uporządkowane kategorie. Do oceny efektów strzelania, ze względu na wielkość drgań parasejsmicznych i rozrzut odłamków skalnych wykorzystano oznaczenie współczynnika  $S/N$  mające na celu zminimalizowanie wystąpienia niepożądanych wartości, czyli najmniejsze-najlepsze (smaller-the-better).

$$S/N = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \longrightarrow \max$$

gdzie:

- $n$  – liczba obserwacji,
- $y_i$  – wartość  $i$ -tego czynnika.

Wybrano ortogonalną tablicę doświadczeń (eksperymentów)  $L_9$  – OA (ortogonal array), stanowiącą macierz numeryczną ułożoną z 9 rzędów i 4 kolumn. OA pomaga w prostym zaplanowaniu konstrukcji doświadczenia poprzez oznaczenie czynników symbolami kolumn z różnymi poziomami; wielkościami parametrów. Dla przedmio-



towego badania są to cztery parametry z trzema poziomami każdy. Kontrolowanymi wartościami parametrów, które zostały wybrane są: wielkość ładunku w otworze i na opóźnienie, zabiór, przewiert i długość otworu. W tabeli 1 przedstawiono wielkości i kombinacje wybranych parametrów strzelania.

Zgodnie z zaprojektowanym planem badań, wykonano pomiary prędkości drgań parasejsmicznych w punktach usytuowanych w odległości  $d = 300$  m od geometrycznego środka stropu zabierki. Do obliczeń przyjęto wielkość skuteczną drgań wyznaczoną ze składowych wektorów poziomych. Każdorazowo skanowano ocios po odstrzale.

Tab. 1. Parametry strzelania do metody Taguchi  
Tab. 1. Blasting parameters for Taguchi's methods

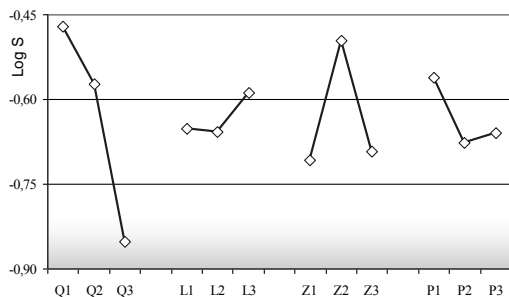
| Parametr               | Oznaczenie | Poziom |     |      |
|------------------------|------------|--------|-----|------|
|                        |            | 1      | 2   | 3    |
| MW w otworze [kg]      | $Q$        | 140    | 115 | 94   |
| długość otworu [m]     | $L$        | 19     | 17  | 15,5 |
| zabiór rzeczywisty [m] | $Z$        | 3,8    | 3,2 | 2,5  |
| przewiert [m]          | $p$        | 0,5    | 1   | 1,5  |

W większości przypadków uzyskano także dane z profilowania otworów strzałowych i sprawdzono rzeczywiste zabioiry; odległości osi otworów strzałowych pierwszego szeregu do ociosu. Odstrzały każdorazowo rejestrowano kamerą cyfrową, co pozwoliło na ocenę procesu inicjacji, kruszenia i przemieszczania urobku oraz zasięgu rozrzutu odłamków skalnych. W tabeli 2 zestawiono efekty pomiarów prędkości drgań oraz wyniki analizy dyspersyjnej dla wyznaczonych współczynników  $S/N$ .

Tab. 2. Zestawienie wyników pomiarów drgań i obliczeń  
Tab. 2. Summary of the results of vibration measurements and calculations

| Numer eksper. | Prędkość skuteczna drgań [mm/s] |       |       | Średnia | Odchylenie standardowe | Logarytm odchylenia | Współczynnik $S/N$ |
|---------------|---------------------------------|-------|-------|---------|------------------------|---------------------|--------------------|
|               | 1                               | 2     | 3     |         |                        |                     |                    |
| 1             | 1,237                           | 1,769 | 1,811 | 1,606   | 0,32                   | -0,49               | 4,23               |
| 2             | 1,885                           | 2,352 | 1,568 | 1,935   | 0,39                   | -0,40               | 5,85               |
| 3             | 3,023                           | 2,964 | 3,522 | 3,170   | 0,31                   | -0,51               | 10,05              |
| 4             | 2,077                           | 1,819 | 1,424 | 1,773   | 0,33                   | -0,48               | 5,07               |
| 5             | 2,013                           | 1,908 | 1,522 | 1,815   | 0,26                   | -0,59               | 5,23               |
| 6             | 2,062                           | 1,780 | 1,617 | 1,820   | 0,22                   | -0,65               | 5,24               |
| 7             | 1,506                           | 1,712 | 1,568 | 1,595   | 0,11                   | -0,98               | 4,07               |
| 8             | 1,388                           | 1,252 | 1,182 | 1,274   | 0,10                   | -0,98               | 2,12               |
| 9             | 1,495                           | 1,867 | 1,391 | 1,584   | 0,25                   | -0,60               | 4,07               |

Wartość wskaźnika  $S/N$  zmienia się w zakresie (2,12–10,05), co świadczy o wpływie zmiany czynników sterujących (wybranych parametrów) na prędkość drgań parasejsmicznych w punkcie. Na rysunku 2 przedstawiono efekt estymacji odchylenia standardowego będącego miarą zmienności w analizie statystycznej i wskazówką najlepszego układu zmiennych.

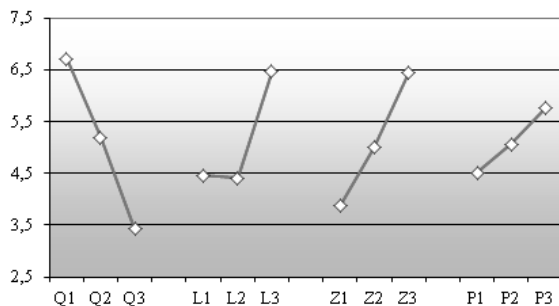


Rys. 2.. Estymacja wartości log S

Fig. 2. Estimation of log S value

Wyniki analizy wskazują, że najmniejsze oddziaływanie drgań występuje przy wielkość ładunku na opóźnienie Q3 oraz zabiorze na poziomie Z1. Parametry te mają największy wpływ na emisję drgań. Najniższy wpływ na oddziaływanie sejsmiczne ma przewiert P1. Wpływ długości otworu można uznać za mało istotny.

Analiza dyspersyjna wyników badań pozwala na ocenę, czy zmiana funkcji  $S/N$  spowodowana jest zmianą czynników sterujących, czy jest ona skutkiem wpływu innych, nieuwzględnionych czynników. Na rysunku 3 przedstawiono wynik estymacji wskaźnika  $S/N$ . Wykres wskazuje, że parametry  $Q_z$ ,  $Z$  i  $L$  mają istotny wpływ na wskaźniki  $S/N$  wyznaczone dla drgań parasejsmicznych. Analiza wskaźników wyróżnia dwa parametry, którymi są wielkość ładunku na opóźnienie oraz zabiór. Osiągnięcie najniższych wartości oddziaływania sejsmicznego można uzyskać stosując ograniczoną wielkość ładunku oraz minimalizując zabiór.



Rys. 3. Wykres wyznaczania wskaźnika  $S/N$

Fig. 3. Plot of factor effects on  $S/N$  ratio

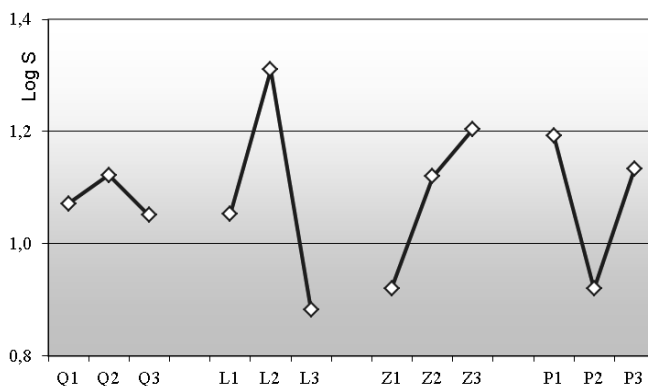
W tabeli 3 zestawiono efekty pomiarów rozrzutu odłamków skalnych oraz wyniki analizy współczynników  $S/N$ .

Tab. 3. Zestawienie wyników pomiarów rozrzutu odłamków i obliczeń  $S/N$

Tab. 3. Summary of the results of rocks throw and calculations  $S/N$

| Numer eksperymentu | Zasięg rozrzutu [m] |     |     | Średnio | Odchylenie standardowe | Logarytm odchylenia | Współczynnik $S/N$ |
|--------------------|---------------------|-----|-----|---------|------------------------|---------------------|--------------------|
|                    | 1                   | 2   | 3   |         |                        |                     |                    |
| 1                  | 115                 | 85  | 80  | 93      | 18,9                   | 1,28                | 39,52              |
| 2                  | 80                  | 65  | 95  | 80      | 15,0                   | 1,18                | 38,16              |
| 3                  | 50                  | 50  | 60  | 53      | 5,8                    | 0,76                | 34,57              |
| 4                  | 75                  | 82  | 105 | 87      | 15,7                   | 1,20                | 38,92              |
| 5                  | 60                  | 80  | 100 | 80      | 20,0                   | 1,30                | 38,24              |
| 6                  | 75                  | 84  | 90  | 83      | 7,5                    | 0,88                | 38,41              |
| 7                  | 100                 | 90  | 95  | 95      | 5,0                    | 0,70                | 39,56              |
| 8                  | 145                 | 160 | 105 | 137     | 28,4                   | 1,45                | 42,84              |
| 9                  | 100                 | 80  | 90  | 90      | 10,0                   | 1,00                | 39,12              |

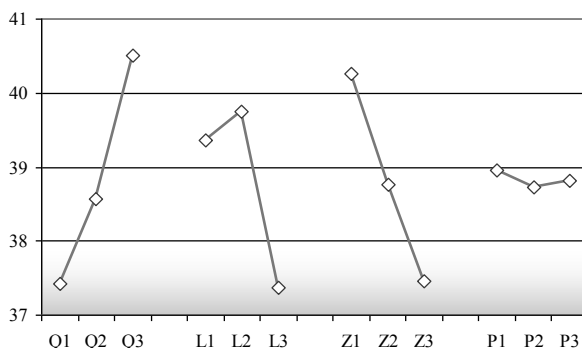
Dla obliczonych współczynników  $S/N$  przeprowadzono estymację logarytmu odchylenia standardowego, którą przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Estymacja wartości log S dla rozrzutu

Fig. 4 Estimation of log S for throw

Analiza odchyleń standardowych oraz obserwacje przemieszczania urobku w trakcie odstrzałów wskazują na silniejszą zależność długości otworu i zabioru, a w mniejszym stopniu przewiertu. Z rysunku 5 wynika także, że najmniejsze wartości rozrzutu związane są z największą długością otworów i zabiosem. Przewiert należy uznać w tym przypadku za parametr nieistotny w rozrzucie odłamków.



Rys. 5. Wykres estymacji wartości współczynnika S/N  
 Fig. 5. Estimation chart of S/N ratio

## 5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

W przypadku analizy parametrów robót strzałowych z wykorzystaniem metody Taguchiego możliwe jest ustalenie kombinacji parametrów dającej ograniczony efekt sejsmiczny i zasięg rozrzutu. W dotychczasowej metodyce predykcji i prognozowania drgań, kontrolerem wielkości oddziaływań parasejsmicznych jest ładunek MW na opóźnienie milisekundowe. Przeprowadzone doświadczenia wskazują, że do obiektywnej oceny oddziaływania jest to warunek niewystarczający. Badania weryfikujące, z uwzględnieniem istotnych parametrów strzelania, pozwalają na sprecyzowanie współzależności czynników; zabiór, przewiert czy długość przybitki.

Z przedstawionych badań wynika, że największe drgania parasejsmiczne odnotowano przy zastosowaniu największych ładunków MW na opóźnienie oraz przy zwiększonych zabiorach. Jednocześnie zabiór i wielkość ładunku MW w otworze wpływają bezpośrednio na obserwowane odległości przemieszczania urobku i rozrzut odłamków skalnych.

Parametry przyjęte do analizy nie wyczerpują konieczności zbadania wpływu innych warunków strzelania na uzyskiwane efekty. Zasadne może okazać się wykonanie badań z większą liczbą parametrów wyjściowych. Dążenie do zapewnienia lepszej jakości usług czy produktów, wymaga zastosowania nowych środków technicznych i organizacyjnych. Istotne jest zapewnienie stałego nadzoru nad procesem planowania, urabiania oraz stosowaniu metod kontrolnych.

## LITERATURA

- BRYCH M, ROGOSZ K., 2012, *Wykorzystanie laserowego systemu skanującego w optymalizacji parametrów prowadzenia robót strzałowych*, Górnictwo i Geologia XVII, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa PWr. nr 134, Studia i Materiały 41, 15–22.
- GRZEŚKOWIAK A., 2013, *Warunki optymalizacji technologii robót strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych*, XX Symp. Kruszywa, Cement, Wapno, Kielce.
- GÓRECKI H., 1993, *Optymalizacja systemów dynamicznych*, PWN, Warszawa.
- HAMROL A., 2005, *Zarządzanie jakością z przykładami*, PWN, Warszawa.
- KORZYŃSKI M., 2013, *Metodyka eksperymentu. Planowanie, realizacja i statystyczne opracowanie wyników eksperymentów technologicznych*, WNT, Warszawa.
- PATLA S., ROGOSZ K., 2013, *Wspomaganie optymalizacyjne techniki strzałowej za pomocą systemu laserowego i GPS*, Konf. Technika strzelnicza w górnictwie i Budownictwie, Ustroń.
- PIETRASZEK J., 1999, *Metoda Taguchi optymalizacji jakości*, [www.statsoft.pl](http://www.statsoft.pl)

## APPLICATION OF TAGUCHI METHOD IN BLASTING EFFECTS SURVEY

Paper presents the application of Taguchi method to evaluate and optimize the blasting conditions and to analyse of the impact of blasting parameters on created threats. Based on the Ishikawa diagram significant relationship among causes of adverse effects of blasts and sources of failures and malfunctioning of the blasting process of rock excavation were determined. Factors significantly affecting the process of drilling and blasting works were selected and measurements of blastings influence were presented.