



Zastosowanie informatycznych systemów firmy Austin Powder do optymalizacji odpalania siatek wieloszeregowych z użyciem zapalników elektronicznych E*Star

Anna SOŁTYS¹⁾, Barbara GOŁĄBEK²⁾, Tomasz ŻOŁĄDEK³⁾

¹⁾ dr inż.; AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; email: soltys@agh.edu.pl

²⁾ dr inż.; Austin Powder Polska Sp. z o.o.

³⁾ mgr inż.; Austin Powder Polska Sp. z o.o.

DOI: 10.29227/IM-2017-02-25

Streszczenie

Stosowanie materiałów wybuchowych do urabiania złóż w kopalniach surowców skalnych nieodzwrotnie wiąże się z zastosowaniem odpowiedniego systemu inicjowania, umożliwiającego odpalenie ładunków materiału wybuchowego z opóźnieniem czasowym (milisekundowym). Taki sposób detonacji ładunków daje szerokie możliwości przy projektowaniu wieloszeregowych siatek strzałowych, a jednocześnie wpływa korzystnie na minimalizację oddziaływania robót strzałowych na zabudowania w otoczeniu kopalni. Dobór właściwego opóźnienia milisekundowego powinien bazować przede wszystkim na sejsmogramach drgań wzbudzanych w czasie odpalania pojedynczych ładunków materiału wybuchowego i analizie struktury częstotliwościowej tych drgań. W artykule przedstawiono procedurę komputerowej optymalizacji opóźnień milisekundowych, przy obecnie stosowanych, nowoczesnych, elektronicznych systemach inicjowania, w oparciu o dane pozyskiwane z odpalania pojedynczych ładunków materiału wybuchowego. Taki tok postępowania daje możliwość weryfikacji, poprzez pomiary rzeczywiste, przyjętego przez projektanta modelu symulacji (wartości prognozowanych) wieloszeregowych siatek strzałowych. Należy zaznaczyć, że zarówno zmienność warunków geologiczno-górnictwa kopalni jak również liczba czynników mających wpływ na efekt wykonywanych robót strzałowych, stwarza konieczność budowania szerokiej bazy informacji dla programu komputerowego. Wskazano również, jako ważny efekt zastosowanej procedury projektowania, możliwość zminimalizowania oddziaływania drgań wzbudzanych w czasie robót strzałowych, do poziomu drgań pomijalnych w ocenie wpływu na budynek. Ponadto możliwość elastycznego projektowania opóźnień milisekundowych w elektronicznych systemach inicjowania, przy wsparciu programów komputerowych stanowi także duży potencjał dla optymalizacji i sterowania efektami robót strzałowych w zakresie uzyskiwania pożądanej granulacji urobku.

Słowa kluczowe: górnictwo, technika strzelnicza, strzelanie milisekundowe, minimalizacja drgań

Wprowadzenie

Zastosowanie materiałów wybuchowych (MW) w procesie urabiania złóż surowców skalnych jest, szczególnie przy odpalaniu ładunków w długich otworach, źródłem drgań, które mogą oddziaływać na zabudowania w otoczeniu odkrywkowego wyrobiska górnictwa. Dążeniem każdego zakładu górnictwa jest z jednej strony minimalizacja tego oddziaływania, a z drugiej strony stosowanie dużych mas MW do strzelania, gdyż gwarantuje to obniżenie kosztów prowadzenia robót strzałowych. Wprowadzenie do stosowania nowoczesnych MW, mechanicznego załadunku MW do otworów strzałowych, elektronicznych systemów odpalania, stwarza możliwości do prawidłowego i bezpiecznego dla otoczenia prowadzenia robót strzałowych.

Z końcem lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku do praktyki górnictwa w polskich kopalniach surowców skalnych wprowadzono nieelektryczny system odpalania ładunków MW, co stanowiło dużą zmianę jakościową w stosunku do systemu elektrycznego (Biessikowski i in. 2001). System nieelektryczny umożliwił rozszerzenie wyboru opóźnienia milisekundowego, pozwolił

z wielokrotnie liczbę otworów odpalanych w serii, zapewnił optymalne projektowanie robót strzałowych z zabezpieczeniem oczekiwanej granulacji urobku jak i minimalizacji oddziaływania na zabudowania w otoczeniu.

Na początku obecnego stulecia (Batko, Winzer 2008) w polskim górnictwie odkrywkowym rozpoczęto stosowanie elektronicznego systemu odpalania ładunków MW. Możliwości, jakie stwarza ten system to przede wszystkim uelastycznienie wyboru opóźnienia milisekundowego, poszerzenie zakresu projektowania wielootworowych siatek strzałowych z użyciem programów komputerowych. Można zaryzykować stwierdzenie, że system elektroniczny pozwala na sterowanie procesem urabiania z lepszym wykorzystaniem energii MW i zabezpieczeniem otoczenia przed negatywnymi skutkami użycia MW.

Podstawowym problemem dobrego wykorzystania nowoczesnych systemów odpalania jest świadomy wybór opóźnienia milisekundowego. Jest to szczególnie ważne w przypadkach, gdy roboty prowadzone są wieloszeregowo, przy użyciu dużej liczby ładunków MW (Landman 2010, Persson i in. 1993). Należy zdawać so-



Rys. 1. Elementy składowe systemu E*Star

Fig. 1. Elements of the E*Star system

bie sprawę, że sam fakt użycia systemu elektronicznego nie jest rozwiązaniem samym w sobie. Nieodpowiednie użycie zapalników elektronicznych, przy ich precyzji zadawania opóźnień, może prowadzić do całkowicie niepożądanych efektów (Sołtys 2017).

Kilka lat doświadczeń w wdrażaniu zarówno systemu nieelektrycznego jak i elektronicznego pozwala stwierdzić, że wprowadzenie tych systemów winno być poprzedzone serią badań, które pozwalają na wybór optymalnego opóźnienia dla robót strzałowych w warunkach konkretnej kopalni (Winzer i in. 2016). W czasie takich badań należy zwrócić uwagę na podstawowe charakterystyki drgań wzbudzanych w wyrobisku i propagowanych do otoczenia. Charakterystyki takie można uzyskać na podstawie analizy drgań wzbudzanych odpaleniem pojedynczych ładunków MW. Pomiar drgań należy prowadzić w kilku punktach w otoczeniu kopalni, o ile to możliwe zarówno w podłożu (gruncie) jak i na fundamencie wybranych obiektów budowlanych. Ładunki należy odpalać w kilku miejscach wyrobiska, gdyż mogą wystąpić istotne różnice w charakterystykach drgań. Jest to związane z budową geologiczną zarówno złoża jak i środowiska w jego otoczeniu.

Taki sposób postępowania przyjęty został w algorytmie programu Blasting Solutions (BS) firmy Austin Powder.

Elektroniczny system odpalania E*Star i program Blasting Solutions

W skład elektronicznego systemu odpalania ładunków MW E*Star wchodzi następujące elementy (rys. 1.):

- zapalnik elektroniczny
- przewód obwodowy
- logger
- zapalarka (połączenie z siecią przewodowe lub bezprzewodowe)
- tester

Najważniejsze zalety systemu E*Star to przede wszystkim szeroki wybór i precyzja zadawanych opóź-

nień oraz bezpieczeństwo stosowania. Opóźnienia można wybierać w zakresie od 1 ms do 10000 ms z interwałem co 1 ms; opóźnienia zadawane są z precyzją 0,01% deklarowanego czasu detonacji. System posiada pełne zabezpieczenie przed nieuprawnionym uruchomieniem lub niezamierzoną detonacją i jest bezpieczny wobec prądów błądzących.

Jak już wspomniano podstawowym problemem dobrego wykorzystania nowoczesnych systemów odpalania jest świadomy wybór opóźnienia milisekundowego, a to oznacza, że mając do dyspozycji wysokiej klasy narzędzie należy je w odpowiedni sposób wykorzystać. Dlatego też dla systemu E*Star, projektowanie opóźnień w siatce ładunków MW, odbywa się z zastosowaniem programu komputerowego BS, który na podstawie informacji bazowych dokonuje symulacji efektów strzelania (granulacja urobku i oddziaływanie na otoczenie), proponując szereg rozwiązań. Ostateczna decyzja wyboru należy do projektującego strzelanie, który winien mieć dostępne dodatkowe narzędzia analityczne wspomagające procedurę wyboru optymalnego opóźnienia.

Optymalizacja opóźnienia milisekundowego w większości przypadków dotyczy wymagań, co do:

- oczekiwanej granulacji (fragmentacji) urobku,
- zapewnienia minimalizacji oddziaływania detonacji ładunków MW na otoczenie,
- ułożenia urobku pod ścianą (kształtu usypu).

Ważnym elementem pracy programu BS jest ciągłe rozwijanie (uzupełnianie) i korzystanie z bazy informacji o warunkach lokalnych kopalni i otoczenia. Można powiedzieć, że każde następne strzelanie uzupełnia bazę programu, dzięki czemu zwiększa się skuteczność matematycznego modelowania i osiągane efekty są coraz bardziej zbliżone do efektów prognozowanych (symulowanych).

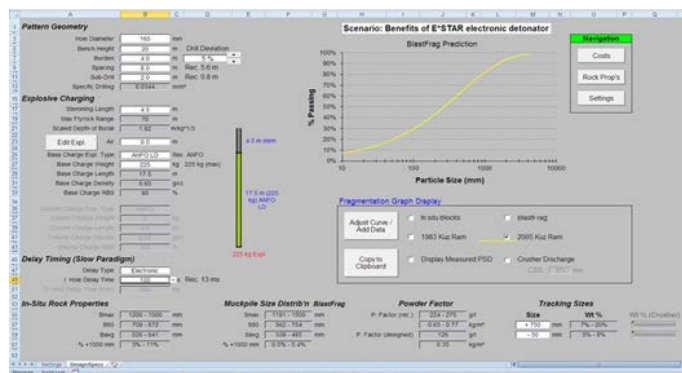
Procedura pracy programu Blasting Solutions

Projektowanie siatki otworów w przypadku elektro-



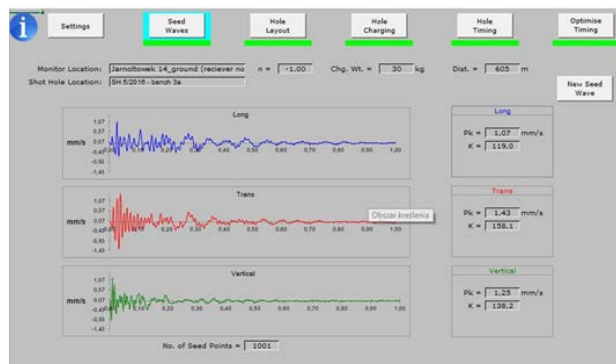
Rys. 2. Lokalizacja i układ projektowanej serii otworów, miejsce odpalenia pojedynczego ładunku MW

Fig. 2. Location and layout of the projected series of blasthole, firing location of a single charge of explosive



Rys. 3. Parametry planowanego odstrzału (okno dialogowe programu BS)

Fig. 3. The parameters of the planned blasting (BS program dialog)



Rys. 4. Wprowadzenie zapisu drgań wzbudzonych odpaleniem pojedynczego ładunku MW (okno dialogowe programu BS)

Fig. 4. Introduction of vibration recordings induced of the firing of a single explosive charge (BS program dialog)

nicznego systemu E*Star rozpoczyna się od wprowadzenia do programu Blasting Solutions następujących informacji bazowych, dotyczących:

- lokalizacji serii otworów strzałowych i lokalizacji obiektów chronionych (rys. 2.),
- parametrów planowanego odstrzału (rys. 3.):
- długość otworów, ich liczba i rozmieszczenie,
- zabiór, odległość między otworami i szeregiami,
- rodzaj MW, ładunek MW w otworze, jego konstrukcja, długość przybitki i przewiertu,

- zapisu drgań wzbudzonych odpaleniem pojedynczego ładunku MW o lokalizacji zbliżonej do rejonu projektowanej siatki otworów (rys. 4.),
- wskazania efektu sejsmicznego serii o zbliżonej lokalizacji.

W dalszej kolejności operator programu może narzucić pewne ograniczenia wynikające z uwarunkowań technicznych wykonywania robót strzałowych – przykładowo wskazać zakres zmienności opóźnień między

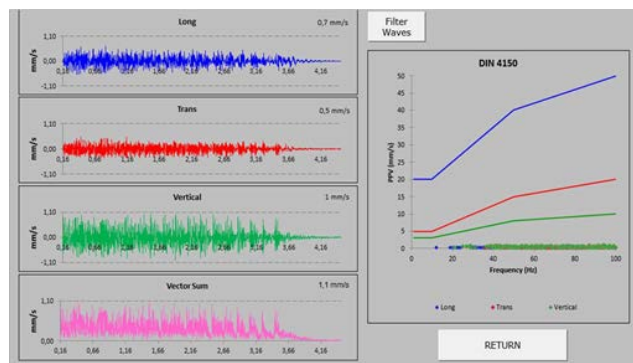
Tab. 1. Efekt obliczeń programu Blasting Solutions (fragment)

Tab. 1. The Blasting Solutions calculation (fragment)

I-R	I-H	PpvX	PpvY	PpvZ	FreqX	FreqY	FreqZ	Duration	MinInterval	PVS
114	26	1,534	3,365	3,144	38	67	36	1,879	6	4,300
141	32	1,732	1,341	2,368	40	39	35	2,017	6	2,476
96	36	1,761	3,633	2,458	37	61	35	1,983	12	4,1884
95	36	1,769	3,907	2,428	42	62	38	1,981	10	4,198
64	36	1,773	3,234	2,428	42	62	38	1,981	11	4,0477
64	46	1,792	1,701	2,608	35	48	37	2,051	14	2,683
64	38	1,818	3,198	2,637	37	58	37	1,947	12	3,8298
107	32	1,821	1,195	2,642	36	39	35	1,949	10	2,862
59	36	1,856	3,686	2,952	45	57	48	1,909	10	4,223
60	36	1,879	3,589	2,976	39	64	41	1,911	12	4,238
62	37	1,912	2,866	2,465	42	47	37	1,929	12	3,449

proponycja opóźnień

Prognozowany efekt sejsmiczny



Rys. 5. Prezentacja graficzna wybranego rozwiązania (okno dialogowe programu BS)

Fig. 5. Graphical presentation of the chosen solution (BS program dialog)

detonacjami kolejnych ładunków MW (np. minimalne opóźnienie nie może być mniejsze niż 8 ms, a maksymalne nie większe niż 200 ms). Ważnym uzupełnieniem informacji bazowych dla programu BS jest wybór (przez operatora programu) sposobu odpalania ładunków – włóm boczny czy środkowy oraz wskazanie wartości parametrów opisujących propagację drgań, wynikających z dotychczasowych doświadczeń (parametry n i K) (rys. 4.).

Program, na podstawie wskazanych powyżej danych wyjściowych dokonuje symulacji przebiegu drgań podłoża z zastosowaniem różnych kombinacji opóźnień wskazując, jako wynik końcowy maksymalne wartości prędkości drgań i skorelowane z nimi częstotliwości. Wynik obliczeń może być uzupełniony dodatkowo współczynnikami, które pomagają w dokonywaniu wyboru rozwiązania.

Efekt obliczeń programu BS jest propozycja czasem ponad tysiąca i więcej kombinacji opóźnień między ładunkami MW i między szeregami. Fragment zestawienia propozycji różnych kombinacji przedstawiono w tabeli 1.

Każda propozycja rozwiązania może zostać zaprezentowana w postaci przebiegów drgań na poszczególnych składowych oraz wykresu zmienności w czasie wektora przestrzennego prędkości drgań (rys.

5). Wyniki obliczeń prezentowane są także na skali DIN 4150.

Algorytm programu BS umożliwia transfer danych w postaci plików (przebiegi drgań w czasie), a to pozwala na przeprowadzanie dalszych analiz, które wspomagają trafność podejmowanych wyborów i decyzji.

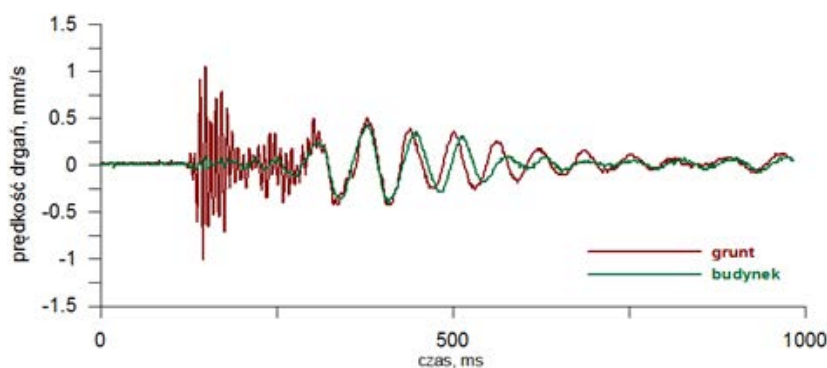
Zadaniem projektującego strzelanie jest dokonanie wyboru rozwiązania, które przyniesie oczekiwane efekty. Jak wybrać optymalne rozwiązanie ?

Procedura wyboru optymalnego rozwiązania

Wybór optymalnego rozwiązania jest najważniejszym momentem pracy projektującego strzelanie. Dokonanie wyboru spośród tysiąca rozwiązań musi być z jednej strony poparte szerszymi analizami, a z drugiej strony konieczna jest weryfikacja wybranego rozwiązania przez pomiar drgań w wybranym punkcie w otoczeniu kopalni i porównanie efektu prognozowanego z rzeczywistym.

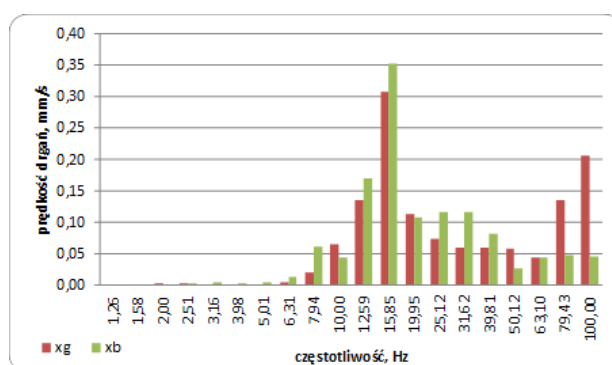
Dwa lata stosowania programu BS do projektowania odpalania wieloszerogowych siatek ładunków MW pozwoliło na wypracowanie następującej procedury wyboru optymalnego rozwiązania:

- analiza dotychczasowych badań pod kątem intensywności i struktury drgań podłoża i funda-



Rys. 6. Sejsmogram drgań podłoża i fundamentu budynku, wzbudzonych pojedynczym ładunkiem MW

Fig. 6. Seismogram of ground and building foundation vibrations induced by firing a single blasthole



Rys. 7. Struktura drgań podłoża i fundamentu budynku, wzbudzonych pojedynczym ładunkiem MW

Fig. 7. Structure of ground and building foundation vibrations induced by firing a single blasthole

mentu budynku,

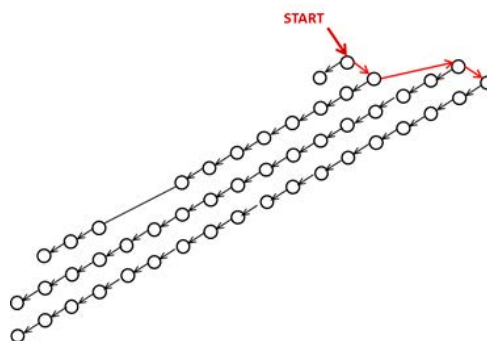
- analiza interakcji układu budynek-podłoże,
- wskazanie pożądanej intensywności i struktury drgań podłoża,
- określenie wskaźników pozwalających na wyselekcjonowanie grupy rozwiązań spełniających oczekiwania,
- analiza szczegółowa kilku kombinacji opóźnień,
- wybór optymalnego rozwiązania,
- wykonanie strzelania z zastosowaniem wybranego rozwiązania,
- weryfikacja symulacji drgań przez wykonywanie pomiarów kontrolnych.

Badania intensywności drgań wzbudzanych robotami strzałowymi oraz wyznaczenie dopuszczalnych ładunków MW są elementem składowym działalności profilaktycznej kopalń odkrywkowych w zakresie minimalizacji oddziaływania na zabudowania w otoczeniu. W badaniach tych koniecznym jest prowadzenie analizy struktury drgań wzbudzanych w podłożu jak i drgań przenoszonych do budynków. Rozpoznanie zjawiska interakcji układu budynek-podłoże stanowi niejednokrotnie klucz do poszukiwania optymalnych rozwiązań. Jak wykazano w szeregu publikacji (Pyra i in. 2014, Pyra i in. 2015, Sołtys i in. 2015) opóźnienie

milisekundowe ma istotny wpływ na strukturę drgań, czyli za pomocą opóźnienia między detonacjami kolejnych ładunków MW można zmieniać strukturę wzbudzanych drgań, a tym samym poszukiwać rozwiązań pozwalających na silne tłumienie drgań przy przejściu do fundamentu budynku.

Dlatego tak ważną informacją dla programu jest przebieg drgań wzbudzanych detonacją pojedynczego ładunku MW. Program BS opiera symulacje na zapisie drgań podłoża, ale dla projektującego strzelanie, jednocześnie ważną informację niesie uzyskany w wyniku pomiaru zapis drgań fundamentu. Analiza takich sygnałów i porównanie struktury drgań podłoża i fundamentu mogą wskazać drogę do poszukiwania optymalnych rozwiązań. Przykładowy sejsmogram drgań podłoża i fundamentu, wraz z porównaniem struktury częstotliwościowej, przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

Jak wynika z rysunków 6 i 7 są to drgania złożone z dwóch faz: w fazie początkowej dominują częstotliwości wyższe 79,43 Hz i 100,00 Hz; w fazie późniejszej dominują częstotliwości niższe 12,59 Hz i 15,85 Hz. Zwraca uwagę fakt, że przy przejściu drgań z podłoża do fundamentu drgania o wyższej częstotliwości ulegają silnemu tłumieniu, natomiast w zakresie częstotliwości niższych zjawisko tłumienia nie występuje, a nawet można zauważyć ich lekkie wzmocnienie.



Rys. 8. Projektowana siatka otworów strzałowych

Fig. 8. Design of the blasting pattern

Analiza drgań wzbudzonych pojedynczym ładunkiem MW wskazuje na kierunek, w jakim można poszukiwać optymalnych rozwiązań – wzbudzić w podłożu drgania o jak najwyższej intensywności, gdyż zostaną one wytłumione, a unikać drgań w zakresie częstotliwości 12,59 Hz i 15,85 Hz, gdyż można spodziewać się, że przejdą do fundamentu bez żadnego tłumienia.

W efekcie takiego spostrzeżenia można poszukiwać rozwiązań, które przyniosą niską intensywność drgań, ale jednocześnie o wysokiej częstotliwości. Dla danych zawartych w tabeli 1, można obliczyć współczynnik t według wzoru:

$$t = \frac{f}{ppv} \quad (1)$$

gdzie:

f – częstotliwość drgań, Hz

ppv – maksymalna prędkość drgań, mm/s

i poszukiwać jego maksymalnych wartości.

Taka wstępna selekcja propozycji programu pozwala na ograniczenie danych do analizy. Można wybrać 3 do 4 rozwiązań proponowanych przez program BS i wykonane przez program symulacje poddać bardziej szczegółowym analizom.

Analizy wspomagające wybór rozwiązania przedstawiono poniżej na przykładzie projektu wykonanego dla jednej z kopalń odkrywkowych.

Przykład projektu doboru opóźnień milisekundowych – studium jednego przypadku

W jednej z kopalń odkrywkowych do odpalania ładunków MW stosowany jest system elektroniczny E*Star, a projekty odpalania siatek przygotowywane są przy użyciu programu Blasting Solutions. Badania prowadzone są od roku 2015, każde strzelanie projektowane jest programem BS i przy każdym strzelaniu prowadzone są pomiary wzbudzanych drgań, a więc każdy projekt i dokonany wybór opóźnień podlegają weryfikacji.

W miesiącu lipcu 2017 roku do odpalenia przygotowano serię 48 otworów na poziomie IIIa. Przewidziano

załadowanie do otworów strzałowych 1560 kg MW. Układ ściany preferował inicjację z włodem bocznym. Projektowaną siatkę otworów strzałowych przedstawiono na rysunku 8.

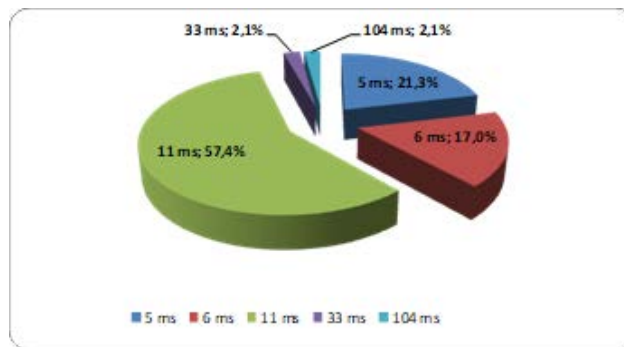
Obliczenia przeprowadzone przez program BS wskazały na 3 zbliżone do siebie kombinacje opóźnień (wybór na podstawie maksymalnej wartości współczynnika t obliczonego według wzoru (1)):

- opóźnienie między otworami 11 ms a między szeregami 115 ms,
- opóźnienie między otworami 15 ms a między szeregami 110 ms,
- opóźnienie między otworami 15 ms a między szeregami 129 ms.

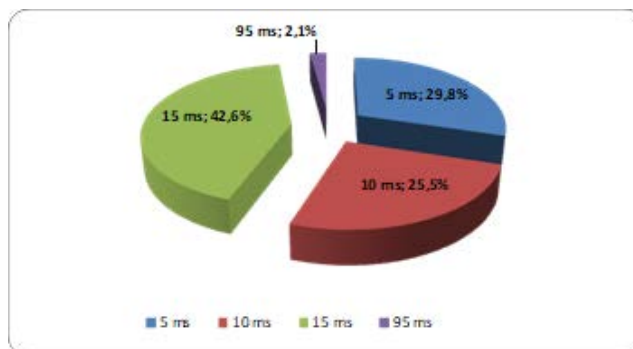
Dla tych trzech wariantów przeprowadzono szczegółowe analizy dotyczące rzeczywistego rozkładu opóźnień milisekundowych, struktury symulowanych drgań podłoża oraz dokonano porównań, które pozwoliły na wybór optymalnego rozwiązania. Dla przykładu na rysunkach 9, 10 i 11 przedstawiono rozkład procentowy rzeczywistych opóźnień milisekundowych między kolejnymi ładunkami MW, a na rysunku 12 graficzne porównanie struktury drgań wysymulowanych przez program BS dla analizowanych wariantów.

Jak wynika z rysunków, opóźnienia milisekundowe są bardzo małe – ponad 95% opóźnień zamyka się w wartościach do 15 ms, a w przypadku wariantu (1) nawet do 11 ms.

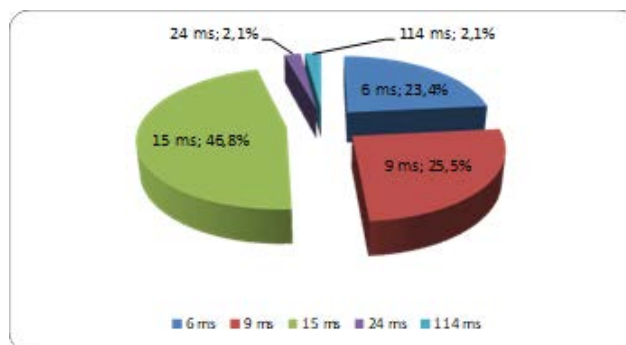
Ostatecznie wybrano do realizacji wariant (1), a wybór został podyktowany analizą przedstawioną na rysunku 12, z którego wynika, że poziom drgań w zakresie niższych częstotliwości (15,85 Hz) jest prawie identyczny dla wszystkich wariantów, natomiast zdecydowanie najniższy dla wariantu (1) w zakresie częstotliwości wyższych. Dodatkowym argumentem przemawiającym za wyborem wariantu (1) były wysokie częstotliwości drgań podłoża 100 Hz i więcej, co wskazywało na możliwość wystąpienia silnego ich tłumienia przy przejściu do fundamentu budynku. Można



Rys. 9. Rozkład opóźnień milisekundowych – wariant 11 ms i 115 ms
 Fig. 9. Distribution of milliseconds time delay – 11 ms and 115 ms



Rys. 10. Rozkład opóźnień milisekundowych – wariant 15 ms i 110 ms
 Fig. 10. Distribution of milliseconds time delay – 15 ms and 110 ms



Rys. 11. Rozkład opóźnień milisekundowych – wariant 15 ms i 129 ms
 Fig. 11. Distribution of milliseconds time delay – 15 ms and 129 ms

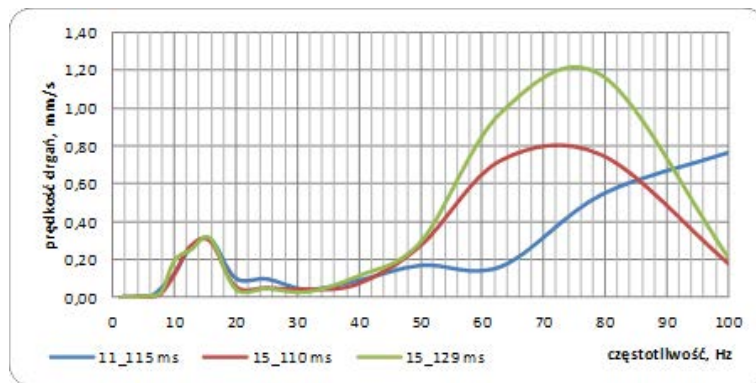
zaryzykować stwierdzenie, że jest to wariant spełniająca wstępne założenia projektu.

Końcową wersję projektu odpalania siatki ładunków MW według wariantu (1) przedstawiono na rysunku 13.

Jak już wspomniano, w czasie wykonywania robót strzałowych prowadzone są pomiary intensywności drgań w wyznaczonym punkcie w podłożu i na fundamencie budynku, co pozwala na weryfikację projektu i ocenę jakości pracy programu BS. Sejsmogram drgań podłoża i fundamentu budynku, dla składowej poziomej x, przedstawiono na rysunku 14, a porównanie struktury tych drgań na rysunku 15.

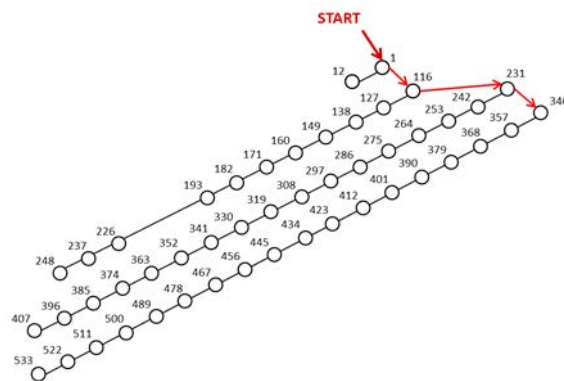
Bardzo ważnym elementem pracy programu kom-

puterowego jest możliwość weryfikacji modelu przyjętego przez projektanta. Weryfikacja w warunkach przemysłowych jest szczególnie trudna, gdyż liczba czynników mających wpływ na efekt sejsmiczny strzelania jest bardzo duża. Jednak algorytm programu BS pozwala na uczenie się zarówno przez program jak i projektującego. Zebrane doświadczenia pozwalają na uzyskiwanie coraz większej zgodności efektu prognozowanego z efektem rzeczywistym, czego przykładem jest rysunek 16, na którym przedstawiono porównanie struktury drgań symulowanych przez program i zmierzonych aparaturą pomiarową w czasie wykonywania strzelania serii ładunków MW według wariantu (1).



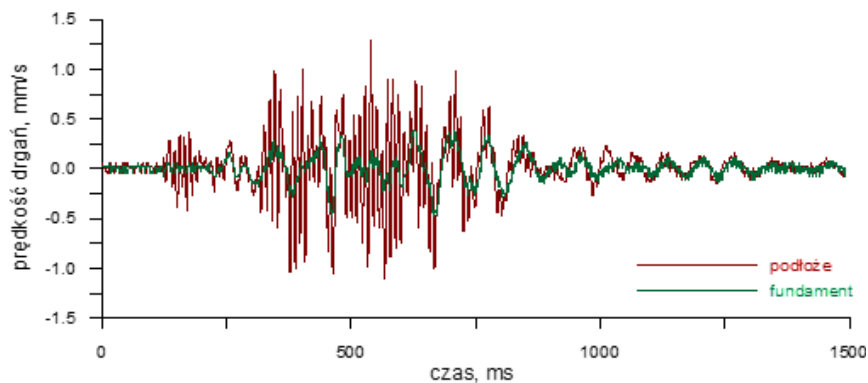
Rys. 12. Porównanie struktury drgań dla składowej poziomej x

Fig. 12. Comparison of the vibrations structure for horizontal component x



Rys. 13. Schemat odpalania siatki 48 ładunków MW według wariantu (1)

Fig. 13. Scheme of firing a pattern 48 of explosive charges according to variant (1)



Rys. 14. Sejsmogram drgań podłoża i fundamentu budynku

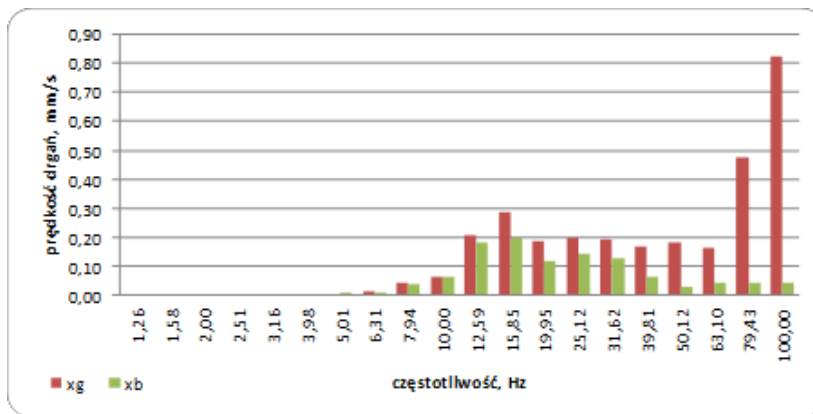
Fig. 14. Seismogram of ground and building foundation vibrations

Efekty współpracy Blasting Solutions i systemu E*Star

Badania prowadzone od roku 2015 w jednej z kopalń odkrywkowych, zgodnie z procedurą opisaną powyżej, pozwoliły na zminimalizowanie oddziaływania drgań wzbudzanych w czasie robót strzałowych, do poziomu drgań pomijalnych w ocenie wpływu na budynek (rys. 17.). Na rysunku tym przedstawiono ocenę oddziaływania dla drgań przedstawionych na rysunkach 14 i 15.

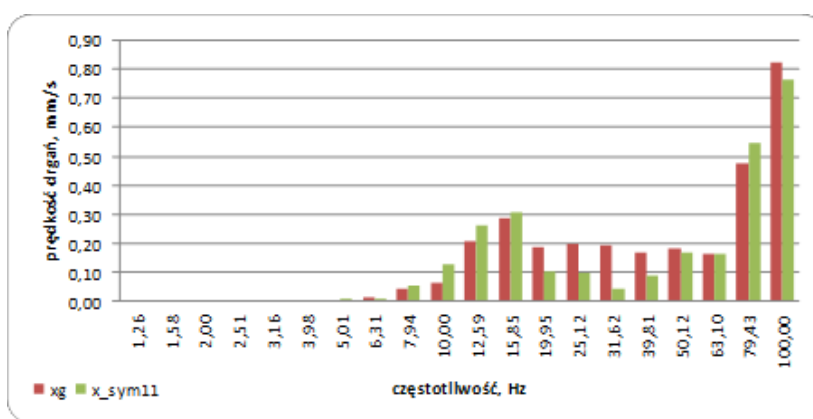
Dodać należy, że roboty strzałowe wykonywane były bez zmiany dotychczasowych ograniczeń związanych z masą ładunków MW, czyli efekt został osiągnięty przez umiejętny dobór opóźnień milisekundowych, co pozwoliło na sterowanie strukturą wzbudzanych drgań. W omawianym przypadku osiągnięto nawet 95% tłumienie drgań, w zakresie o najwyższej intensywności (rys. 18.).

Podsumowanie



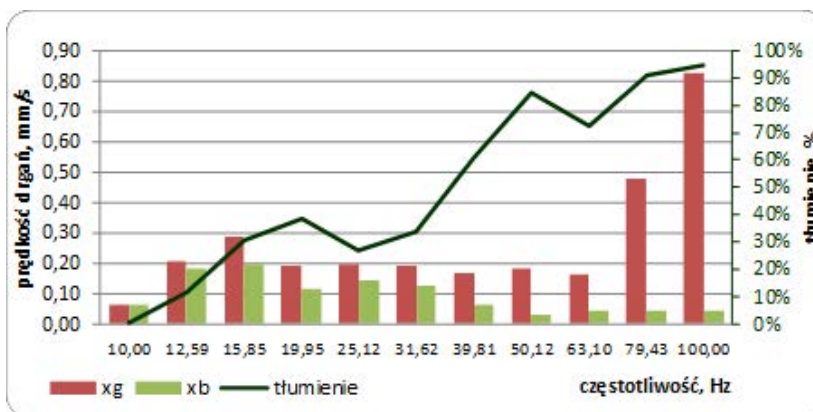
Rys. 15. Porównanie struktury drgań podłoża i fundamentu budynku dla sejsmogramu przedstawionego na rysunku 14

Fig. 15. Comparison of the vibration structure of ground and building foundation for seismogram shown in the Fig. 14



Rys. 16. Porównanie struktury drgań podłoża symulowanych przez BS i zmierzonych w czasie strzelania – składowa pozioma x

Fig. 16. Comparison of the ground vibration structure simulated by BS and measured during blasting – horizontal component x



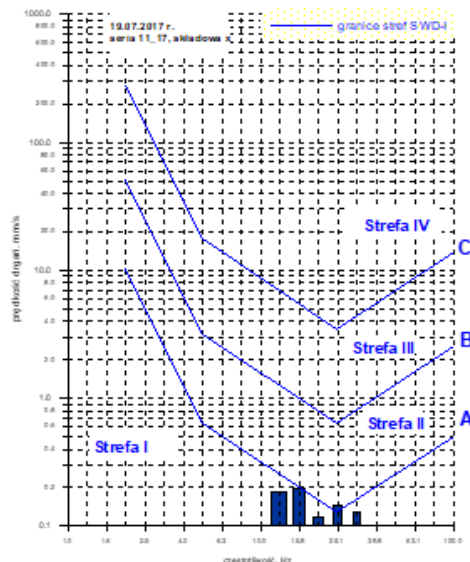
Rys. 18. Tłumienie drgań przy przejściu z podłoża do fundamentu budynku dla przypadku przedstawionego na rysunkach 14 i 15

Fig. 18. Vibration damping at the transition from the ground to the building foundation for the case shown in Figures 14 and 15

Elektroniczne systemy odpalania ładunków MW w górnictwie odkrywkowym są doskonałym narzędziem inżyniera strzałowego, gwarantującym wysoką jakość, pewność i bezpieczeństwo odpalania. Ważną zaletą systemów elektronicznych jest możliwość elastycznego projektowania opóźnień milisekundowych w siatkach wieloszeregowych.

Wsparcie systemów elektronicznych projektowaniem opóźnień z zastosowaniem programów komputerowych daje duże możliwości dla optymalizacji i sterowania efektami robót strzałowych, zarówno w zakresie uzyskiwania pożądanej granulacji urobku jak i minimalizacji oddziaływania na zabudowania w otoczeniu.

Zmienność warunków geologiczno-górnicznych



Rys. 17. Ocena oddziaływania na budynek drgań przedstawionych na rysunkach 14 i 15
 Fig. 17. Impact assessment on the building, vibrations shown in Figures 14 and 15

oraz liczba czynników mających wpływ na efekt robót strzałowych stwarza konieczność budowania szerokiej bazy informacji dla programu komputerowego. Biorąc za przykład program Blasting Solutions, który wspomaga projektowanie robót z użyciem systemu E*Star firmy Austin Powder, należy stwierdzić, że opierając się na bazie doświadczalnej strzelań jednotworowych i uwzględniając zbierane sukcesywnie dane z prowadzonych strzelań, można osiągnąć dużą zgodność efektów prognozowanych z efektami rzeczywistymi. Jednak warunkiem podstawowym tej procedury postępowania jest weryfikacja prognozy, przynajmniej do

momentu osiągnięcia spodziewanych efektów skuteczności projektowania.

Bardzo duże możliwości systemu elektronicznego E*Star, wspomagane projektowaniem z zastosowaniem programu Blasting Solutions przynoszą efekty przedstawione na rysunkach 17 i 18.

Należy jednocześnie uświadomić sobie, że doskonale narzędzie w postaci elektronicznego systemu odpalania ładunków MW bez dobrego wspomaganie informatycznego do projektowania siatki opóźnień milisekundowych, jest w dużym stopniu niewykorzystane (tępe i ślepe).

Literatura – References

1. Batko P., Winzer J.: Uwarunkowania i pierwsze doświadczenia wprowadzania zapalników elektronicznych w Polsce. Bezpieczeństwo Robót Strzałowych. GIG. Katowice 2008. s. 99–108.
2. Biessikirski R., Sieradzki J., Winzer J.: Uwagi praktyczne do nieelektrycznego odpalania długich otworów na przykładzie systemu Nonel Unidet. Konferencja: Technika strzelnicza w górnictwie. Jaszowiec 2001. Agencja Wydawniczo-Poligraficzna „ART-TEKST”. s. 241–251.
3. Landman G.R.V.: How electronics can release the imagination. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Volume 110, 2010,. s. 491–499.
4. Persson P., Holmberg R. and Lee J.: Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press, 1993, p. 560. ISBN 9780849389788.
5. Pyra J., Sołtys A., Winzer J.: Minimalizacja oddziaływania na środowisko przez zmianę struktury drgań wzbudzanych robotami strzałowymi. Nowe techniki stosowania materiałów wybuchowych. Główny Instytut Górnictwa. Katowice 2014, s. 148–161.
6. Pyra J., Sołtys A., Winzer J.: Badania efektu sejsmicznego a nowoczesne systemy odpalania ładunków MW. Przegląd Górniczy nr 9/2015, s. 69–77. Katowice 2015 r.
7. Sołtys A.: Odpalenie pojedynczych ładunków MW jako baza do wyznaczenia optymalnego opóźnienia milisekundowego. Przegląd Górniczy nr 7/2017, s. 52–62. Katowice 2017 r.
8. Sołtys A., Winzer J., Dworzak M.: Dobór optymalnego opóźnienia milisekundowego – studium przypadku. Konferencja: Technika Strzelnicza w Górnictwie i Budownictwie, s. 225–236. Ustroń 2015 r.
9. Winzer J, Sołtys A., Pyra J.: Oddziaływanie na otoczenie robót z użyciem materiałów wybuchowych. Wydawnictwa AGH. Kraków 2016, 312s, ISBN 978-83-7464-882-0.

*The Application of Austin Powder Company IT Systems to Optimize the Firing of Multiple-Row Patterns Using E*Star Electronic Detonators*

The use of explosives to extract resources in rock material mines is necessarily associated with the use of an appropriate initiation system that allows the firing of explosive charges with a time delay (millisecond). Such a method of charges detonation gives a wide range of possibilities when designing multi-row blasting patterns, and at the same time, it has a positive effect on the blasting impact minimization on buildings in the vicinity of mines. Selecting the right millisecond delay should be based primarily on the seismograms recorded during the firing of singular blasthole and the analysis of the vibrations frequency structure. The article presents the procedure of computer-based optimization of millisecond delay, with today's modern, electronic initiation systems, is based on data derived from firing a singular blasthole. This approach allows to verify, by means of real measurements, the simulation model (predicted values) of the multi-row blasting patterns accepted by the designer. It should be noted that both the variability of the geological and mining conditions of the mine as well as the number of factors influencing the effect of the blast works make it necessary to build a broad database of information for the computer program. It was also indicated as an important effect of the design procedure, the possibility of minimizing the impact of vibration induced during blasting, to the level of negligible vibrations in the impact assessment on the building. In addition, the ability to flexibly design the millisecond delay in electronic initiation systems with the help of computer programs is also a great potential for optimizing and controlling the effects of blast works to achieve the desired granulation of the output.

Keywords: mining, blasting works, millisecond blasting technique, reduction of blast vibration