

UKD 622.271: 622.662.1/.4: 622.23

Wybrane problemy realizacji opóźnień czasowych przy nieelektrycznym sposobie inicjacji ładunków MW w siatkach wieloszeregowych

Selected problems of time delays achieving by use of non-electric method of initiating explosive charges in multi-row patterns



Mgr inż. Michał Dworzak^{*)}



Mgr inż. Andrzej Biessikirski^{*)}



Dr inż. Józef Pyra^{*)}



Dr inż. Anna Sołtys^{*)}

Treść: Milisekundowe odpalanie ładunków materiału wybuchowego w górnictwie odkrywkowym stanowi jedną z podstawowych metod wykonywania robót strzałowych. Odpowiednio dobrane opóźnienia międzystrzałowe mogą w znaczący sposób wpływać na wynik robót strzałowych (rozdrobienie, kształt i odrzucenie usypu urobku), jak również oddziaływanie środowiskowe w postaci drgań parasejsmicznych. W przypadku odpalania ładunków MW systemem nieelektrycznym w sieciach wieloszeregowych, pojawia się wiele problemów wykonawczych związanych ze sposobem realizacji zaprojektowanych opóźnień międzystrzałowych. Zauważa się, że zakładane czasy opóźnień na etapie projektowania mogą się różnić od rzeczywistych czasów opóźnienia uzyskanych podczas wykonywania robót strzałowych. Problem ten został poruszony w niniejszym artykule.

Abstract: Firing explosive charges in surface mining with millisecond time delay is one of the basic blasting works method. Properly selected time delays may significantly affect the results of blasting works (fragmentation, shape and rejection of the output material), as well as the environmental interaction such as paraseismic vibrations. Performing blasting works in a multi-row initiation patterns with the use of a non-electric initiation system brings many difficulties with the designed time delays. It can be observed that the assumed time delays during the stage of design may differ from the real time delays which were obtained in blasting works. This problem was presented in the paper.

Słowa kluczowe:

roboty strzałowe, nieelektryczny system inicjacji, opóźnienia milisekundowe

Key words:

blasting works, non-electric initiation system, millisecond time delays

^{*)} AGH w Krakowie

1. Wprowadzenie

Milisekundowe odpalanie ładunków materiału wybuchowego podczas wykonywania robót strzałowych urabiających stanowi jedną z podstawowych, jak również niosących za sobą szereg korzyści, metod urabiania skał zwięzłych w górnictwie odkrywkowym. Na przestrzeni lat w Polsce oraz za granicą prowadzono wiele prac badawczych dotyczących doboru optymalnych interwałów czasowych pomiędzy inicjowanymi ładunkami MW w serii [2, 3, 4, 5, 6, 9, 13, 16]. Należy zwrócić uwagę, iż stosowane opóźnienia międzystrzałowe wpływają nie tylko na bezpośrednie efekty odstrzału (m.in. rozdrobnienie urobku, kształt i odrzucenie usypu), ale również są istotnym czynnikiem mającym wpływ na oddziaływania środowiskowe robót strzałowych.

Istnieje zauważalna korelacja pomiędzy zastosowanym opóźnieniem milisekundowym w serii a intensywnością i strukturą czasowo-częstotliwościową mierzonych drgań parasejsmicznych [13]. Fakt ten spowodował, iż w literaturze przedmiotu można odnaleźć wiele zależności empirycznych oraz nomogramów, które pozwalają na określenie optymalnego opóźnienia milisekundowego pomiędzy odpalaniem ładunkami MW. Zwracając uwagę na zmienność warunków górnictwo-geologicznych w jakich wykonywane są roboty strzałowe można przypuszczać, że nie istnieje uniwersalna zależność, która mogłaby oszacować optymalne opóźnienie milisekundowe w przypadku urabiania zróżnicowanych surowców, korzystając tym samym z różnych metod robót strzałowych (m.in. stosowanie ładunków MW ciągłych i dzielonych). Skutkiem tego, w celu doboru odpowiedniego opóźnienia niezbędne staje się wykonywanie w danych warunkach geologiczno-górnictwowych strzelań doświadczalnych, ich ocenę techniczną z równoczesną oceną drgań propagujących w górotworze i ich wpływu na obiekty budowlane znajdujące się w otoczeniu kopalni [12].

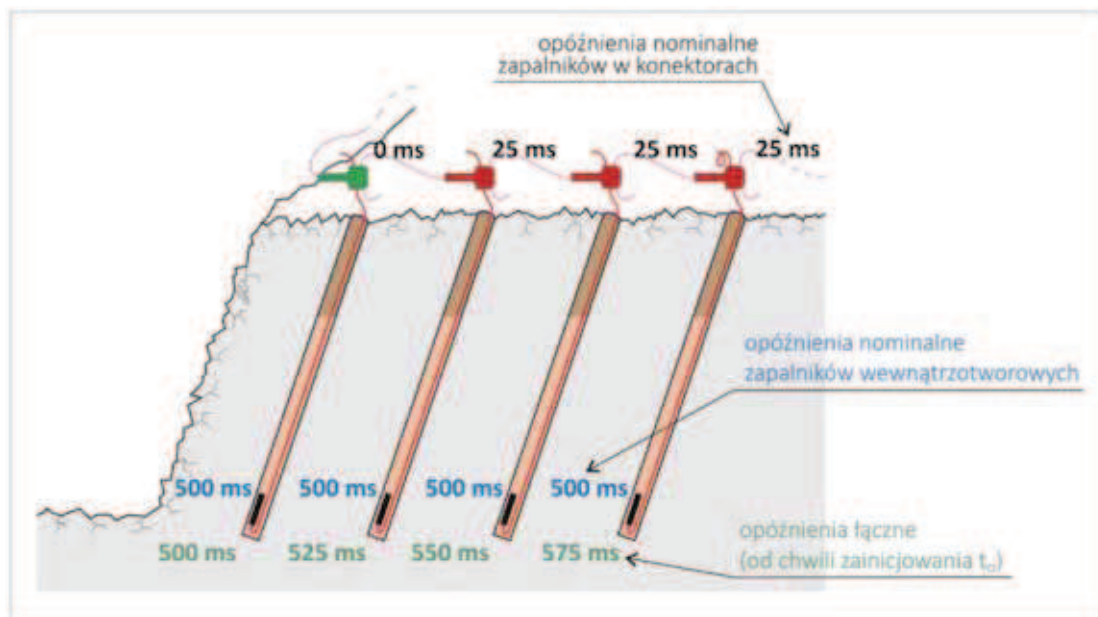
Podstawową i stosowaną w praktyce zasadą projektowania opóźnień milisekundowych jest dobór czasów inicjacji kolejnych ładunków nie mniejszych niż 8 ms. Badania Siskinda i Duvalla [14] potwierdzają, że dla znaczącej więk-

szości przypadków zasada ta jest słuszna i rzeczywiste czasy opóźnień większe niż 8 ms pozwalają na uzyskanie korzyści wynikających ze strzelania milisekundowego. Niemniej jednak w przypadku stosowania nieelektrycznego systemu inicjacji MW w wieloszeregowych sieciach strzałowych, a w szczególności przy stosowaniu ładunku dzielonego, spełnienie tego kryterium nastęca wielu problemów wykonawczych.

Na podstawie przedstawionych przykładów literaturowych można bezspornie stwierdzić, że istnieją wystarczające przesłanki aby sądzić, iż występuje korelacja pomiędzy zastosowanymi opóźnieniami milisekundowymi odpalania kolejnych ładunków MW, a intensywnością i strukturą częstotliwościową drgań wzbudzanych robotami strzałowymi oraz bezpośrednim efektem odstrzału w postaci optymalnego rozdrobnienia urobku. Tym samym odpowiednie zaprojektowanie opóźnień milisekundowych stanowi jeden z głównych elementów procesu przygotowywania robót strzałowych. W niniejszym artykule autorzy chcieli przybliżyć wybrane problemy związane z realizacją uprzednio dobranych (np. w wyniku strzelań doświadczalnych) opóźnień milisekundowych, w trakcie projektowania serii wieloszeregowych z zastosowaniem nieelektrycznego systemu inicjacji.

2. Realizacja opóźnień milisekundowych w nieelektrycznym systemie inicjacji

Nieelektryczny system inicjacji materiałów wybuchowych ze względu na swoje możliwości i zalety, jest aktualnie najczęściej stosowanym sposobem inicjowania materiałów wybuchowych w polskim górnictwie odkrywkowym. Wprowadzony na rynek w roku 1973 system NONEL [14], zrewolucjonizował sposób, w jaki realizowane są opóźnienia międzystrzałowe, poprzez zastosowanie dwóch rodzajów zapalników (wewnątrztorowych i znajdujących się w łącznikach powierzchniowych – konektorach) oraz przewodów sygnałowych, które odpowiadają za transmisję niskoenergetycznej fali udarowej bezpośrednio inicjującej kolejne zapalniki (rys. 1).



Rys. 1. Przykładowa sekwencja inicjacji ładunków MW w otworach z zaznaczonymi czasami opóźnień w systemie nieelektrycznym [8]

Fig. 1. Example of the explosive initiation sequence by use of non-electric initiation system with marked delay times [8]

Odmienne, niż w przypadku systemu elektrycznego lub elektronicznego, opóźnienia milisekundowe w systemie nieelektrycznym realizowane są bezpośrednio poprzez wykonanie sieci strzałowej na powierzchni, skonstruowanej z wykorzystaniem łączników powierzchniowych o różnych nominalnych czasach opóźnienia (dla jednego z nieelektrycznych systemów inicjacji stosowanych w górnictwie odkrywkowym, czasy te wynoszą odpowiednio: 0(2) ms, 17 ms, 25 ms, 42 ms, 67 ms, 109 ms, 176 ms, 285 ms). Zapalniki wewnątrztorowe o opóźnieniach od 400 ms do 500 ms (z interwałem 25 ms) również wpływają na uzyskiwane opóźnienia, niemniej ze względów praktycznych najczęściej w całej serii stosowane są zapalniki o jednakowym interwale czasowym (w przypadku jednego zapalnika w ładunku). Należy nadmienić, iż nominalne czasy opóźnień mogą różnić się od przedstawionych w niniejszym artykule, a ich czasy zależą od producenta zastosowanego systemu inicjacji MW. Jak widać na rysunku 1, kolejne czasy zainicjowania MW w otworach strzałowych stanowią sumę opóźnień poprzednich zapalników w serii oraz opóźnienia konektora i zapalnika wewnątrztorowego (opóźnienia łączne od chwili zainicjowania serii). W przypadku opóźnień rzeczywistych – tj. czasu opóźnienia pomiędzy kolejnymi ładunkami – koniecznym staje się obliczenie różnicy łącznego czasu zainicjowania następujących po sobie zapalników w serii.

Zaprezentowany na rysunku 1 przykład sekwencji inicjacji ładunków MW jest jasny i nieskomplikowany. Czasy opóźnień rzeczywistych są równoznaczne z nominalnymi czasami opóźnień zastosowanych łączników powierzchniowych. Jak przedstawiono w publikacji [15], taki rozkład opóźnień rzeczywistych jest słuszny w przypadku wykonywania robót strzałowych w 1 szeregu. Jeżeli rozpatrzmy strzelanie wieloszerogowe, opóźnienia rzeczywiste nie są równoznaczne z czasami opóźnień zastosowanych łączników powierzchniowych (rys. 2).

Analizując sposób, w jaki realizowane są opóźnienia czasowe w nieelektrycznym systemie inicjacji można zauważyć, iż na rzeczywiste opóźnienie milisekundowe pomiędzy kolejnymi ładunkami MW mają bezpośredni wpływ:

- czasy opóźnień zapalników w łącznikach powierzchniowych (konektorach),
- czasy opóźnień zapalników wewnątrztorowych (w ładunkach udarowych),
- opóźnienia wynikające z czasu transmisji fali uderzeniowej w przewodach sygnałowych (0,5 ms/mb przewodu sygnałowego) [14] i wpływające na nie parametry geometryczne serii,
- sposób połączenia sieci strzałowej na powierzchni (sekwencja odpalania).

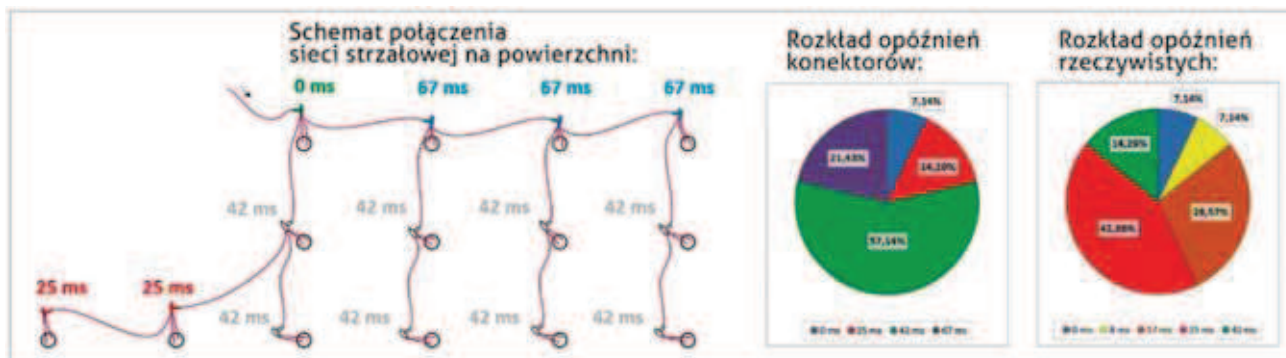
Jedną z istotnych wad nieelektrycznego systemu inicjacji jest stosowanie w konstrukcji zapalników opóźniaczy piro-

technicznych, a więc substancji chemicznej o określonym czasie spalania. Precyzja takiego opóźnienia szacowana jest przez producenta na poziomie $\pm 1\%$ nominalnego czasu. W wyniku długotrwałego składowania lub występowania innych niekorzystnych oddziaływań zewnętrznych, precyzja tak realizowanych opóźnień może być zaburzona na poziomie $\pm 5\%$ projektowanego czasu nominalnego [11]. Niektórzy autorzy zagraniczni wskazują, iż opóźnienia milisekundowe zapalników nieelektrycznych mogą charakteryzować się odchyleniami dochodzącymi nawet do wartości od $\pm 10\%$ do $\pm 20\%$ nominalnego czasu zainicjowania zapalnika [1], jak również podkreślają, iż wraz ze zwiększeniem czasu opóźnienia zapalnika wzrasta jego dokładność (odchylenia w zakresie od $\pm 2\%$ do $\pm 18\%$ projektowanego czasu opóźnienia) [10]. Fakt ten, jak również ilość czynników decydujących o otrzymanym opóźnieniu rzeczywistym pomiędzy kolejno inicjowanymi ładunkami MW stanowi przyczynek do podjęcia dyskusji na temat sposobu realizacji opóźnień czasowych i problemów z określeniem niniejszych czasów, które występują na etapie projektowania robót strzałowych.

3. Model obliczeniowy

W celu wykonania szeregu analiz rozkładu opóźnień rzeczywistych, skonstruowano model obliczeniowy realizowany przez odpowiednio przygotowany arkusz kalkulacyjny zawierający zestaw niezbędnych do rozwiązania niniejszego problemu makr (plik *.xslm* zawierający ponad 10 tys. linii kodu VBA). Obliczenia ograniczono do pięciu najczęściej stosowanych połączeń nieelektrycznych sieci strzałowych (rys. 3), ze względu na ograniczenia wynikające z możliwości arkusza kalkulacyjnego (znaczący poziom skomplikowania budowy modelu, który umożliwiłby dokonywanie obliczeń dla dowolnego sposobu połączenia sieci na powierzchni). Analizowane w modelu obliczeniowym schematy połączeń (rys. 3) wybrano na podstawie sieci rekomendowanych przez jednego z producentów [7]. Niniejszy model obliczeniowy, dla uprzednio dobranych opóźnień konektorów powierzchniowych oraz zapalników wewnątrztorowych, umożliwia m.in.:

- obliczenie rzeczywistych i łącznych opóźnień milisekundowych dla wybranych nieelektrycznych sieci strzałowych (rys. 3) wraz z uwzględnieniem opóźnień wynikających z długości przewodów sygnałowych,
- określenie procentowego rozkładu uzyskiwanych opóźnień rzeczywistych,
- określenie kolejności odpalania ładunków MW w otworach,
- określenie uzyskanych brzegowych opóźnień milisekundowych w przypadku zaburzenia nominalnego czasu za-



Rys. 2. Przykładowa sekwencja inicjacji ładunków MW oraz rozkład czasów opóźnień (opracowanie własne)

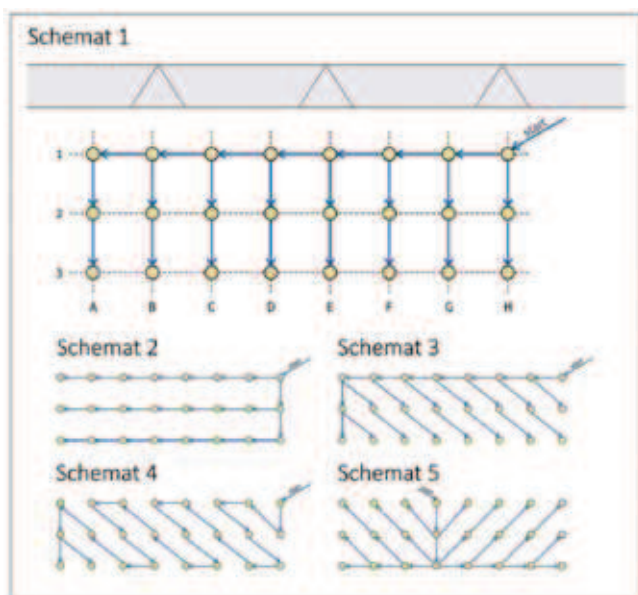
Fig. 2. Example of the explosive initiation sequence and delay times distribution (own elaboration)

działania zapalnika na poziomie $\pm 1\%$ i $\pm 5\%$ opóźnienia, jak również analizę otrzymanych danych na podstawie wartości tabelarycznych i wykresów.

Podstawowym założeniem w modelu obliczeniowym była analiza pojedynczego opóźnienia rzeczywistego na jeden otwór strzałowy w przypadku ładunku ciągłego. W warunkach ruchowych najczęściej stosowane są dwa ładunki udarowe przypadające na jeden ładunek zasadniczego MW w otworze, gdzie ładunek górny stanowi „bezpiecznik”, którego działanie ma za zadanie zainicjowanie materiału wybuchowego w przypadku awarii podstawowego zapalnika znajdującego się w dolnej części ładunku (inicjacja dolna). Uzyskiwane prędkości detonacji aktualnie stosowanych górniczych MW powodują, iż zapalnik będący „bezpiecznikiem” zostanie zniszczony przez detonację zasadniczego MW w czasie krótszym, niż nominalny czas jego zainicjowania. Tym samym jego opóźnienie zostało pominięte w niniejszej analizie, gdyż nie wpływa bezpośrednio na czasy inicjowania kolejnych ładunków w otworach.

Założenia związane z geometrią serii strzałowej, które bezpośrednio wpływają m.in. na opóźnienia wynikające z prędkości fali udarowej w przewodach sygnałowych oraz ich długości, były następujące:

- wysokość eksploatawanej ściany – $H = 10$ m,
- głębokość otworu równoległego do ociosu – $l = 11,2$ m,
- długość kolumny MW w otworze strzałowym – $l_{mw} = 8,2$ m,
- odległość między otworami w szeregu – $a = 3,7$ m,
- odległość między szeregami – $b = 3,2$ m,
- liczba otworów strzałowych – $N = 24$ szt.; liczba szeregów – $S = 3$.



Rys. 3. Schematy połączeń sieci strzałowych poddanych analizie rozkładu czasów rzeczywistych (opracowanie własne)

Fig. 3. Blasting pattern diagrams examined on the basis of the real-time distribution (own elaboration)

Danymi wejściowymi do analizy były uprzednio dobrane opóźnienia łączników powierzchniowych w serii oraz opóźnienia zastosowanych zapalników wewnętrznych. Należy podkreślić, iż w tak prostej sieci jaką przedstawia schemat 1 (rys. 3), istnieje ponad 23,5 tryliardów ($23,5 \cdot 10^{21}$) unikalnych możliwości doboru nominalnych czasów opóźnień w serii przy założeniu, że wszystkie opóźnienia zapalników wewnętrznych będą charakteryzować się tym samym

czasem opóźnienia, przy czym tylko część z tych wariantów może mieć znaczenie praktyczne w warunkach ruchowych. Ta ogromna ilość możliwości doboru opóźnień powoduje, że zastosowanie algorytmu obliczeniowego realizowanego przez procedury wykonywane za pomocą arkusza kalkulacyjnego nie tylko usprawnia obliczenia, ale również umożliwia dokonanie szybkiej analizy, czy dobrane opóźnienia dla danych warunków ruchowych są poprawne. Należy jednak nadmienić, iż poszczególne procedury nie są skomplikowane pod względem obliczeniowym, niemniej jednak są czasochłonne i zastosowanie automatycznie realizowanego algorytmu umożliwia wykonanie dużej liczby analiz w relatywnie krótkim czasie (czas obliczenia opóźnień 5 podstawowych schematów może wynosić nawet 6,5 minuty).

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki obliczeń dla przykładowo dobranych opóźnień łączników powierzchniowych oraz zapalników wewnętrznych, które pozwalają na określenie wybranych problemów związanych z realizacją opóźnień milisekundowych. Zwrócono szczególną uwagę na wybrane wyniki analiz dla schematu nr 1 oraz odchylenia od nominalnego czasu opóźnienia zapalników równego $\pm 1\%$, gdyż nawet tak niewielka różnica czasów bezpośrednio wpływa na otrzymywane rzeczywiste opóźnienia międzystrzałowe oraz kolejność odpalania ładunków MW i potwierdza konieczność prowadzenia dalszych prac w zakresie realizacji opóźnień międzystrzałowych podczas stosowania nieelektrycznego systemu inicjacji MW. Tym samym, wraz ze zwiększeniem stopnia odchylenia czasów opóźnienia zapalników (np. do wartości $\pm 20\%$), różnice w otrzymywanych opóźnieniach rzeczywistych są jeszcze bardziej zauważalne. Autorzy zwracają uwagę, iż schemat nr 2 (rys. 3) nie jest zalecany ze względu na możliwość wystąpienia nieodpalonych ładunków MW w usypie urobku, o czym informowano w publikacji [15]. Niemniej nadal zauważa się tendencję do stosowania w praktyce ruchowej takiego schematu odpalania (schemat nr 2), stąd zdecydowano się na dołączenie do analizy czasów opóźnień takiej konfiguracji łączników powierzchniowych.

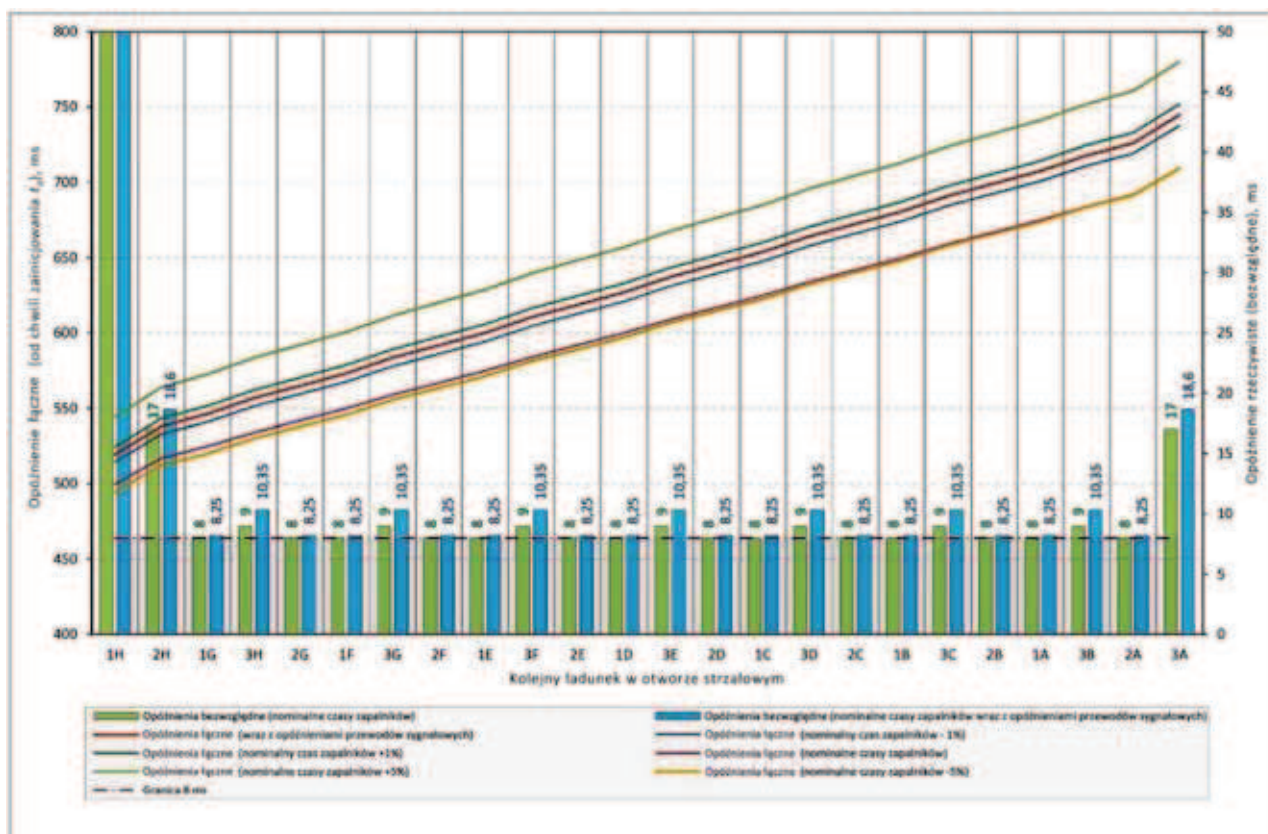
4. Wyniki obliczeń modelowych

W celu przeprowadzenia analiz dobrano następujące opóźnienia łączników powierzchniowych:

- dla szeregu nr 1 – łączniki powierzchniowe o czasie zadziałania 25 ms,
- dla szeregu nr 2 i nr 3 – łączniki powierzchniowe o czasie zadziałania 17 ms,

a we wszystkich otworach strzałowych zastosowano zapalniki wewnętrzne o nominalnym czasie zadziałania równym 475 ms. Należy zaznaczyć, iż stosowanie konektorów o mniejszych opóźnieniach w kolejnych szeregach nie jest zalecane przez producenta, niemniej jednak ze względu na poruszaną w artykule tematykę zdecydowano się na rozpatrzenie tak dobranego sposobu połączenia konektorów. Na rysunku 4 przedstawiono rozkład opóźnień łącznych oraz rzeczywistych otrzymanych dla schematu nr 1.

Na rysunku 4 widoczne jest, że mimo zastosowania konektorów o czasach opóźnienia 25 ms i 17 ms, opóźnienia rzeczywiste wynoszą 8 ms i 9 ms. Można również zaobserwować, iż opóźnienia wynikające z długości przewodów sygnałowych w nieznaczny sposób rzutują na otrzymywane opóźnienia rzeczywiste – interwały czasowe między kolejno odpalonymi ładunkami wydłużają się, co w analizowanym przypadku jest pozytywnym zjawiskiem, gdyż zmniejsza się prawdopodobieństwo niespełnienia warunku 8 ms. Należy jednak nadmienić, że dla wybranych przykładów połączenia sieci oraz czasów opóźnień konektorów może wystąpić sytuacja,



Rys. 4. Wykres opóźnień łącznych i rzeczywistych dla schematu nr 1' (opracowanie własne)

Fig. 4. Cumulative and real-time delays chart for scheme no. 1' (own elaboration)

w której interwały te zostają zmniejszone, co w konsekwencji może skutkować brakiem spełnienia reguły 8 ms. Rozkłady opóźnień rzeczywistych (wraz z opóźnieniami przewodów sygnałowych) oraz kolejności odpalania ładunków, dla pięciu schematów połączeń przedstawiono w tabelicy 1.

Jak wynika z danych przedstawionych w tabelicy 1, sposób połączenia sieci strzałowej na powierzchni bezpośrednio wpływa na rozkład uzyskanych rzeczywistych opóźnień milisekundowych, jak również na kolejność odpalania ładunków. Szczególnie należy zwrócić uwagę na porównanie wyników dla schematu nr 1 oraz nr 3, który stanowi niewielką modyfikację pierwszego schematu. Uzyskane rozkłady opóźnień bezpośrednio wskazują, iż nawet przy tak niewielkiej zmianie połączenia konektorów, następuje diametralna zmiana uzyskiwanych opóźnień rzeczywistych (dominujące opóźnienia dla schematu nr 1 – 8,4 ms i 10,4 ms stanowią około 79 % wszystkich opóźnień, zaś dla schematu nr 3 – 4,9 ms, 5 ms oraz 17 ms stanowią około 58 % wszystkich opóźnień rzeczywistych).

Na rysunku 4 liniami przerywanymi przedstawiono również brzegowe wartości łącznych czasów opóźnień w przypadku, gdy nominalne opóźnienie zapalnika zostanie zmodyfikowane w zakresie $\pm 1\%$. Obszar ten stanowi zakres prawdopodobnego czasu zainicjowania kolejnych zapalników, gdyż precyzja opóźnień na poziomie $\pm 1\%$ uzyskiwana jest w normalnych warunkach stosowania. Rysunek 5 przedstawia

porównanie obliczonych czasów opóźnień rzeczywistych z wartościami oszacowanymi dla wyników losowo dobranych z zakresu zakładanego odchylenia.

Okazuje się, iż w zakresie możliwego odchylenia czasu zadziałania zapalników, otrzymywane opóźnienia rzeczywiste mogą zostać znacząco zmodyfikowane w stosunku do wartości obliczonych na podstawie nominalnych czasów opóźnień konektorów (około 33 % rzeczywistych opóźnień w serii jest mniejsze niż 8 ms, w tym występuje jeden przypadek równoczesnego zdetonowania dwóch ładunków MW). Tym samym różnice te stają się wyraźniejsze w przypadku założenia, że w wyniku nieodpowiednio długiego czasu składowania zapalników, występujące odchylenie kształtuje się w granicach $\pm 5\%$ [11], czy też w zakresie $\pm 20\%$ jak wspomniano w publikacji [1].

5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych analiz dla różnych zestawień czasów łączników powierzchniowych oraz połączenia sieci strzałowej, których wybrane wyniki przedstawiono w niniejszej publikacji, można stwierdzić, iż:

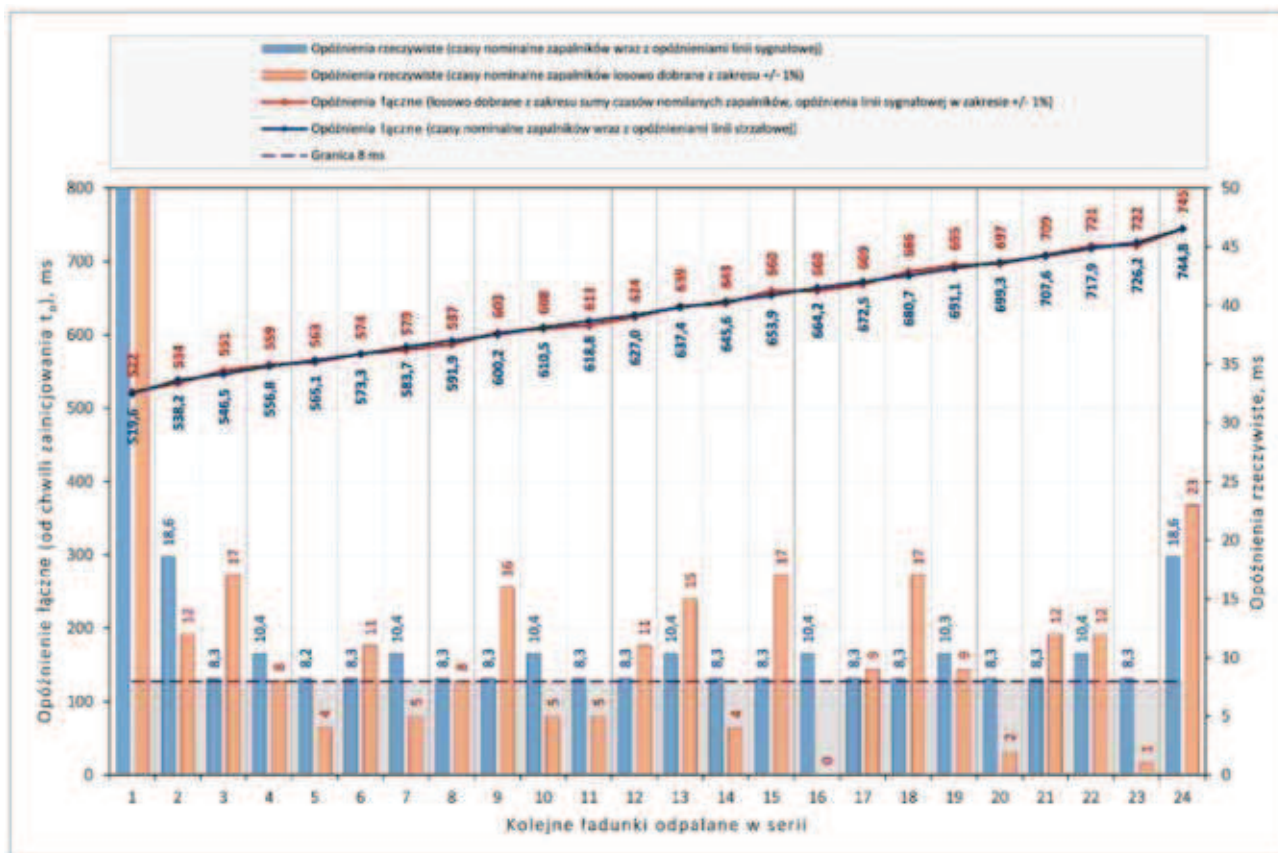
- rzeczywiste czasy opóźnień międzystrzałowych są równoznaczne z czasami zastosowanych łączników powierzch-

¹ Rzeczywiste czasy opóźnień dla pierwszego ładunku w serii (1H) wynoszące powyżej 50 ms wynikają z przyjętej metody obliczeniowej zastosowanej w aplikacji. W artykule *opóźnienie rzeczywiste* zdefiniowano jako różnicę czasu pomiędzy zainicjowaniem kolejnych ładunków w serii, a w przypadku pierwszego inicjowanego ładunku przyjęto założenie, iż jest to czas liczony od momentu uruchomienia zapalarki do chwili zainicjowania ładunku. Tym samym uniknięto wystąpienia pozornego czasu zainicjowania pierwszego ładunku w serii wynoszącego 0 ms, który mógłby zostać błędnie zinterpretowany w dalszych analizach.

Tablica 1. Rozkłady opóźnień rzeczywistych i kolejności odpalania ładunków MW dla analizowanych schematów połączeń (opracowanie własne)

Table 1. Real-time delays distribution and the firing sequence of explosive charges for the analyzed connections (own elaboration)

	Schemat 1	Schemat 2	Schemat 3	Schemat 4	Schemat 5
Kolejność odpalania ładunków MW	1H - 2H - 1G - 3H - 2G - 1F - 3G - 2F - 1E - 3F - 2E - 1D - 3E - 2D - 1C - 3D - 2C - 1B - 3C - 2B - 1A - 3B - 2A - 3A	1H - 2H - 1G - 3H - 2G - 1F - 3G - 2F - 3F - 2E - 1E - 3E - 2D - 1D - 3D - 2C - 3C - 2B - 1C - 3B - 2A - 1B - 3A - 1A	1H - 1G - 2H - 1F - 2G - 1E - 3H - 2F - 1D - 3G - 2E - 1C - 3F - 2D - 1B - 3E - 2C - 1A - 3D - 2A - 2B - 3A - 3B - 3C	1H - 2H - 1G - 1F - 2G - 3H - 3G - 2F - 1E - 1D - 2E - 3F - 3E - 2D - 1C - 1B - 2C - 3D - 3C - 2B - 1A - 2A - 3A - 3B	1D - 2D - 3D - 1E - 1C - 3E - 3C - 2E - 2C - 3F - 3B - 2F - 2B - 1F - 1B - 3G - 3A - 2G - 2A - 1G - 1A - 3H - 2H - 1H
Rozkład opóźnień rzeczywistych %	8,2 ms - 4,2 8,3 ms - 54,2 10,3 ms - 4,2 10,4 ms - 25 18,6 ms - 8,3 519,6 ms - 4,2	0,3 ms - 29,2 2,4 ms - 4,2 2,6 ms - 4,2 5,2 ms - 4,2 5,4 ms - 4,2 8 ms - 4,2 8,3 ms - 4, 10,4 ms - 4,2 10,6 ms - 4,2 13,2 ms - 4,2 13,4 ms - 4,2 16,1 ms - 4,2 16,2 ms - 4,2 18,6 ms - 12,5 18,8 ms - 4,2 519,6 ms - 4,2	2,4 ms - 8,3 2,5 ms - 8,3 4,9 ms - 20,8 5 ms - 20,8 16,9 ms - 8,3 17 ms - 16,7 21,9 ms - 8,3 26,9 ms - 4,2 519,6 ms - 4,2	0,9 ms - 4,2 18,6 ms - 12,5 18,9 ms - 12,5 19,4 ms - 12,5 19,5 ms - 25 26,9 ms - 12,5 27,4 ms - 16,7 519,6 ms - 4,2	0 ms - 37,5 0,6 ms - 16,7 8,6 ms - 12,5 8,8 ms - 4,2 9,6 ms - 8,3 10 ms - 4,2 18,3 ms - 4,2 18,6 ms - 8,3 519,6 ms - 4,2



Rys. 5. Porównanie obliczonych czasów opóźnień z wartościami losowo dobranymi z zakresu $\pm 1\%$ nominalnego opóźnienia zapalnika dla schematu nr 1

Fig. 5. Comparison of calculated real-time delays with randomly selected values ranging from $\pm 1\%$ of detonators nominal delay time for scheme no. 1

- niowych tylko w przypadku strzelania jednoszeregowego, w przypadku sieci wieloszeregowych na rzeczywiste opóźnienia międzystrzałowe wpływają, prócz zastosowanych czasów opóźnień zapalników, również sposób połączenia sieci na powierzchni oraz parametry geometryczne serii robót strzałowych (wpływające na długości przewodów sygnałowych),
- precyzja opóźnień zapalników nieelektrycznych na poziomie $\pm 1\%$ (w wyjątkowych przypadkach $\pm 5\%$) powoduje trudności w dokładnym oszacowaniu rzeczywistych opóźnień międzystrzałowych, a w szczególnych przypadkach może powodować nie spełnianie kryterium 8 ms, które w przypadku obliczeń opartych na nominalnych czasach łączników powierzchniowych zostałoby spełnione,
- obliczenie opóźnień rzeczywistych na podstawie wyłączenia nominalnych opóźnień konektorów powierzchniowych (tj. bez uwzględnienia opóźnienia wynikającego z długości przewodów sygnałowych oraz odchyłań wynikających z precyzji opóźnień zapalników nieelektrycznych) jest niewystarczające w przypadku sieci wieloszeregowych i może prowadzić do błędnych wniosków.

W literaturze przedmiotu można odnaleźć przykładowe schematy prawidłowych połączeń nieelektrycznych sieci strzałowych [7], niemniej jednak nie pozwalają one na wykorzystanie pełnych możliwości systemu nieelektrycznego w odniesieniu do projektowania opóźnień międzystrzałowych. Zauważyć można potrzebę rozwoju metod szybkiego analizowania rzeczywistych opóźnień czasowych, realizowanych przez schematy odpalania stosowane w rzeczywistych warunkach danego zakładu górniczego oraz prowadzenia dalszych analiz związanych z przedstawioną w niniejszym artykule tematyką.

Literatura

1. *Banda R., Rhodes N.*: Electronic delay detonators - a unique solution to pertinent mining problems. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, col. 105, october 2005, s. 615÷618
2. *Duvall W.I., Johnson C. F., Mayer A. V. C., Devine J. E.*: Vibrations From Instantaneous and Millisecond – Delayed Quarry Blast. U. S. Bureau of Mines RI 6151, 1963
3. *Gliński J.*: Optymalny czas opóźnienia w odpalaniu milisekundowym. Górnictwo Odkrywkowe nr 4, Wrocław 1969, s. 261 - 263
4. *Gliński J.*: Strzelanie milisekundowe. Górnictwo Odkrywkowe nr 1, Wrocław 1969, s. 30÷34
5. *Gozdowski A.*: Wpływ zwłoki międzystrzałowej na wielkość drgań przy strzelaniu w glinach zwałowych. Górnictwo Odkrywkowe nr 3-4, Wrocław 1972, s. 89÷93
6. *Modrzejewski Sz.*: Zasady doboru opóźnień milisekundowych w górnictwie skalnym. Górnictwo Odkrywkowe nr 3-4, Wrocław 2006, s. 153÷157
7. NONEL – Shot Pattern Guide – Dyno Nobel Inc. 2001
8. NONEL User's Guide. Dyno Nobel. Edition 1. 1998
9. *Onderka Zb.*: Milisekundowe odpalenie ładunków a efekt sejsmiczny strzelania w kopalniach odkrywkowych. WUG, Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie 7, Katowice 2003, s. 15÷17
10. *Persson P., Holmberg R., Lee J.*: Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press, Florida 1994
11. *Prędko S.*: Zastosowanie elektronicznego systemu inicjowania typu i-kon przy prowadzeniu robót strzałowych w PGE KWB Bełchatów SA. Górnictwo i Geoinżynieria, rok 34, zeszyt 4. Kraków, 2010, s. 477÷491
12. *Pyra J.*: Przegląd badań nad wpływem opóźnienia milisekundowego na intensywność i strukturę drgań wzbudzanych robotami strzałowymi w polskich kopalniach odkrywkowych. Technika strzelnicza w górnictwie i budownictwie – konferencja 25 – 27 września 2013 r. Ustroń. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Kraków, 2013, s. 215÷226
13. *Pyra J.*: Research review of the influence of milisecond delay on intensity and structure of vibrations induced with blasting works in Polish strip mines. AGH Journal of Mining and Geoengeering. Vol. 37, no. 1; Kraków 2013, s. 81÷91
14. *Pyra J.*: Wpływ wielkości opóźnień milisekundowych na spektrum odpowiedzi drgań wzbudzanych detonacją ładunków materiałów wybuchowych. Rozprawa doktorska (niepublikowana). Akademia Górniczo-Hutnicza im. St. Staszica w Krakowie, Kraków 2011
15. *Winzer J.*: Przyczynek do dyskusji o sposobach minimalizacji oddziaływania robót strzałowych na zabudowania w otoczeniu. Technika strzelnicza w górnictwie i budownictwie – konferencja 25 – 27 września 2013 r. Ustroń. Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Kraków, 2013, s. 347÷361
16. *Winzer J.*: Wpływ opóźnień milisekundowych przy prowadzeniu strzelań eksploatacyjnych na częstotliwościowe charakterystyki drgań gruntu i budynków. Górnictwo i Geoinżynieria. R. 28, z. 3/1, Kraków 2004, s. 456÷476