

Zastosowanie urządzenia MicroTrap do oznaczania czasów opóźnień zapalników w świetle badań normowych

The application of the MicroTrap VOD recorder to determine the delay times of detonators in the light of standard tests



Dr inż. Piotr Mertuszka^{)}*



Dr inż. Marcin Szumny^{)}*



Mgr inż. Krzysztof Fulawka^{)}*



*Mgr inż. Adam Zdrojewski^{**)}*



*Mgr inż. Robert Mierziak^{**)}*

Treść: Czasy opóźnień zapalników oraz ich dokładność mają bardzo istotny wpływ zarówno na bezpieczeństwo, jak również na efektywność robót strzałowych. Zakładane w projekcie robót strzałowych nominalne opóźnienia powinny być odwzorowane w rzeczywistości z dokładnością zapewniającą uzyskanie pożądanego efektu. W związku z tym, oznaczanie dokładności opóźnień, zgodnie z normą PN-EN 13763-16:2003 jest częścią procesu dopuszczania produktu do użytku, który ma zapewnić odpowiedni poziom precyzji zapalników. Najczęściej do oznaczania czasów opóźnień zapalników stosuje się różnego rodzaju metody typu start-stop, czyli pomiaru czasu pomiędzy impulsem startowym a detonacją zapalnika. W ramach artykułu przedstawiono sposób oznaczania czasów opóźnień zapalników nieelektrycznych przeprowadzony przy pomocy urządzenia MicroTrap. Urządzenie to jest stosowane głównie do pomiarów ciągłych prędkości detonacji metodą elektrooporową, które również można stosować do pomiarów opóźnień zapalników. Otrzymane wyniki pomiarów zostały poddane analizie zgodnie z procedurą opisaną w przedmiotowej normie.

Abstract: Delay times of the detonators and their accuracy have a very significant impact on both safety and efficiency of the blasting works. The nominal delays that are assumed in the blasting design project should be precise enough to ensure the desired effect. Therefore, determining the accuracy of delays, in accordance with the PN-EN 13763-16: 2003 standard, is a part of the product release process. Different types of start-stop methods (time measurement between start impulse and detonator explosion) are currently used to determine the delay times of the detonators. Other method of determining the delay times of the non-electric detonators performed by the use of the MicroTrap recorder is described within the presented paper. MicroTrap device is generally applied to measure the detonation velocity using dedicated probes. This method could be also used for determination of delay accuracy of the detonators. Recorded data were analyzed according to the abovementioned standard.

^{*)} KGHM CUPRUM Sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe Wrocław

^{**)} KGHM Polska Miedź S.A. Oddział Zakłady Górnictwa „Lubin”

Słowa kluczowe:

zapalniki nonelektryczne, dokładności opóźnień, rejestrator MicroTrap

Key words:

non-electric detonators, delays accuracy, MicroTrap recorder

1. Wprowadzenie

Efektywne urabianie złoża jest bezpośrednio związane z właściwą i kontrolowaną sekwencją inicjowania ładunków materiałów wybuchowych (MW) w otworach strzałowych. Dlatego też w czasie prowadzenia prac strzałowych wykorzystywane są zapalniki o różnych stopniach opóźnienia. W kopalniach odkrywkowych, odpowiednie odstępy czasowe pomiędzy kolejno odpalonymi ładunkami MW mają kluczowy wpływ na bezpieczeństwo i efektywność prowadzonych prac, gdyż są ściśle związane z generowanym efektem sejsmicznym (Onderka 2003). W ostatnich latach, zarówno w polskim, jak i światowym górnictwie skalnym, prowadzono wiele analiz dotyczących doboru optymalnych interwałów czasowych pomiędzy inicjowanymi ładunkami MW w serii, w aspekcie minimalizacji negatywnego efektu robót strzałowych na otoczenie (Modrzejewski 2006, Pyra 2013a, Winzer 2004, 2013). Jak wynika z przeprowadzonych badań, istnieje zauważalna korelacja pomiędzy zastosowanymi opóźnieniami a intensywnością i strukturą rejestrowanych drgań (Pyra 2013b). Co więcej, opóźnienia międzystrzałowe wywierają istotny wpływ na bezpośrednie efekty robót strzałowych, m.in. rozdrobnienie urobku, kształt usypu i przemieszczenie urobku w stosunku do ściany, a co za tym idzie – na finalny efekt robót strzałowych (Dworzak i in. 2014).

W przypadku kopalń podziemnych, konieczność odpowiedniego doboru opóźnień inicjacji ładunków MW jest równie ważne z uwagi na trudniejsze warunki urabiania, co związane jest głównie z istnieniem najczęściej jednej płaszczyzny odsłonięcia. W związku z tym, w celu utworzenia dodatkowej płaszczyzny, należy w sposób precyzyjny odpalić ładunki MW w otworach włomowych, co ma największy wpływ na efekt końcowy prowadzonych robót. Innym istotnym obszarem stosowania dokładnej i ściśle określonej sekwencji opóźnień są roboty specjalistyczne w postaci strzelań odprężających, jako aktywnej metody zwalczania zagrożenia tąpniowego. Aby zminimalizować ryzyko wystąpienia poważnych wypadków, wynikających z dynamicznych przejawów ciśnienia górotworu, prowadzi się szereg działań profilaktycznych bazujących na odpalaniu kolejnych ładunków MW w celu uwolnienia energii sprężystej skumulowanej w górotworze. Jednym ze sposobów działań profilaktycznych są strzelania grupowe przodków, czyli jednoczesne odpalenie ładunków materiału wybuchowego w większej liczbie przodków. Jak zaznacza Pytel i in. (2013), wypracowanie odpowiedniego sposobu strzelań tego typu, poprzez odpowiednią synchronizację odpalania poszczególnych przodków, może doprowadzić do uzyskania skutecznego narzędzia pozwalającego lepiej kontrolować stateczność wyrobisk podziemnych. Należy jednak pamiętać, że oczekiwany efekt, zgodny z założeniami projektowymi, można osiągnąć wyłącznie poprzez zastosowanie precyzyjnych środków inicjujących.

W związku z powyższym, konieczne jest prowadzenie okresowych pomiarów wybranych parametrów środków strzałowych, w tym rzeczywistych opóźnień zapalników, w odniesieniu do wartości nominalnych, deklarowanych przez producentów. Do badań tego typu można zastosować zarówno znormalizowane procedury badawcze, jak i metody alternatywne, które w pewnym zakresie pokrywają się z procedurą normową. W ramach niniejszego opracowania przedstawiono możliwość zastosowania systemu MicroTrap do oznaczania

dokładności opóźnień zapalników w odniesieniu do obowiązującej w tym zakresie normy.

2. System MicroTrap w świetle normy PN-EN 13763-16:2003

Zgodnie z normą PN-EN 13763-16:2003 – *Materiały wybuchowe do użytku cywilnego – Zapalniki i przekaźniki – Część 16: Oznaczanie dokładności opóźnień*, badanie należy przeprowadzić przy użyciu czasomierza bądź oscyloskopu. Dokładne parametry czy typ urządzenia nie są sprecyzowane, jednak musi zostać spełniony warunek dotyczący rozdzielczości pomiaru. Mianowicie, niepewność pomiaru czasu pomiędzy impulsem początkowym i końcowym nie może być większa niż 0,1 ms. Rejestrator MicroTrap zapisuje dane z maksymalną częstotliwością wynoszącą 2 MHz, co daje częstość próbkowania na poziomie 0,5 μ s. Wobec tego nie ma technicznych przeciwwskazań do prowadzenia badań zgodnych z założeniami normowymi przy użyciu tego urządzenia. Przy maksymalnej częstotliwości rejestracji, czas zapisu wynosi 2 s, jednak istnieje możliwość jej zmiany, która umożliwia wydłużenie maksymalnego czasu pomiaru. Szczegółowe dane dotyczące możliwych ustawień częstotliwości rejestracji wraz z odpowiadającymi im maksymalnymi czasami zapisu przedstawiono w tabeli 1.

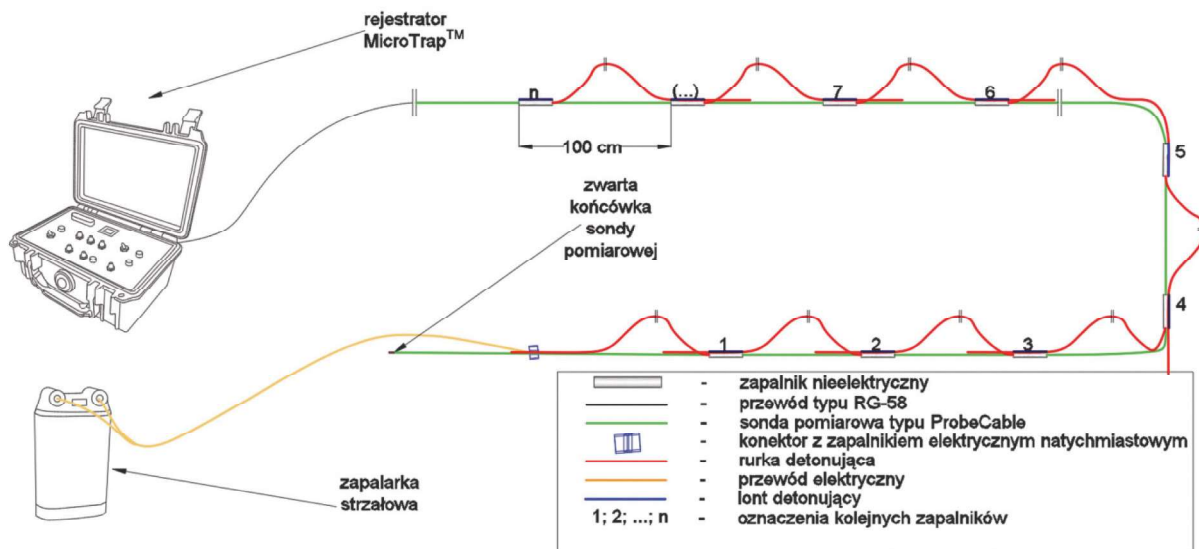
Tabela 1. Zestawienie przykładowych parametrów zapisu w systemie MicroTrap**Table 1. Summary of exemplary recording parameters in MicroTrap system**

Częstotliwość próbkowania	2 MHz	1 MHz	500 kHz	100 kHz	50 kHz
Maksymalny czas zapisu [s]	2	4	8	40	80
Próbkowanie [ms]	0,0005	0,001	0,002	0,01	0,02

Szeroki wachlarz parametrów rejestracji pozwala dostosować system do bieżących potrzeb pomiarowych. Dla zapalników elektronicznych charakteryzujących się wysoką dokładnością opóźnień, optymalna częstotliwość rejestracji wynosi od 2 MHz do 500 kHz. W przypadku zapalników elektrycznych i nonelektrycznych, odchylenie standardowe opóźnień najczęściej wynosi od kilku do kilkudziesięciu ms. W związku z tym, do pomiarów można zastosować niższe częstotliwości rejestracji, tj. 100 kHz lub 50 kHz.

3. Metodyka i przedmiot badań

Pomiar czasów opóźnień zapalników przy użyciu systemu MicroTrap polega na ciągłej rejestracji zmian oporności sondy pomiarowej w czasie. W wyniku detonacji każdego z zapalników umieszczonych na sondzie pomiarowej dochodzi do jej odcinkowej amputacji, a tym samym do zmiany jej oporności. Pomiary dokładności opóźnień zapalników nonelektrycznych systemem MicroTrap można prowadzić na dwa sposoby. Pierwszy z nich (szeregowy) polega na przymocowaniu zapalników do sondy pomiarowej w taki sposób, aby do danego zapalnika był przymocowany koniec rurki de-



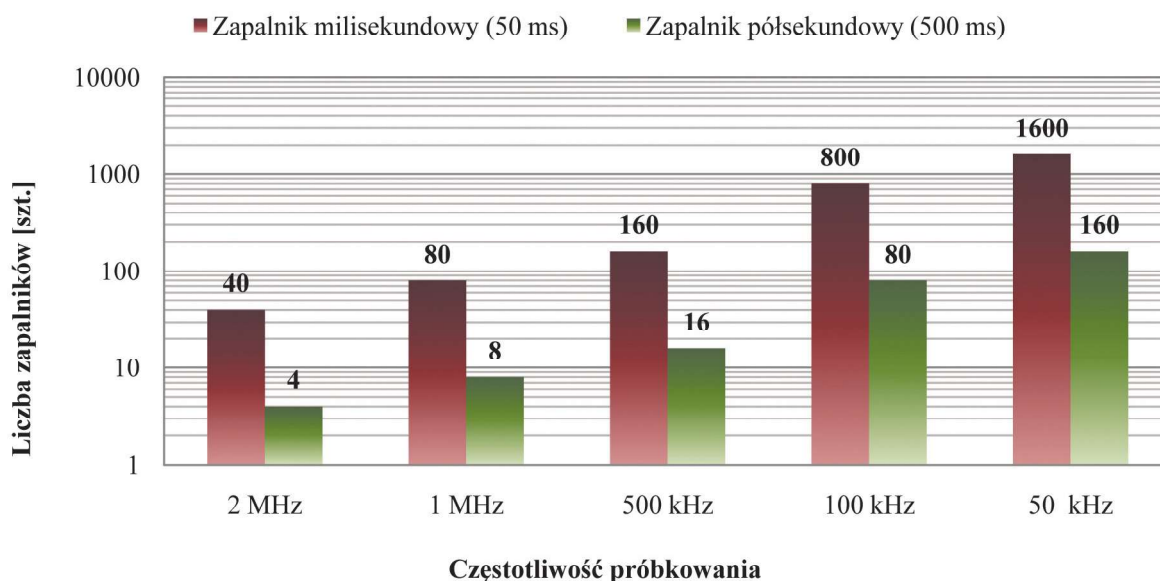
Rys. 1. Schemat oznaczania czasów opóźnień zapalników nieelektrycznych w układzie szeregowym
 Fig. 1. Scheme for the determination of delay accuracy of non-electric detonators in a series circuit

tonującej kolejnego zapalnika. Aby mieć pewność, że impuls generowany detonacją wcześniejszego zapalnika zainicjuje rurkę kolejnego, do łuski można przymocować taśmą krótki odcinek lontu detonującego. Dodatkowo, aby zminimalizować ryzyko wzajemnego uszkodzenia zapalników, rurek i sondy pomiarowej w trakcie detonacji, bezpieczna odległość pomiędzy kolejnymi zapalnikami, która została określona na podstawie wcześniej przeprowadzonych serii pomiarów, powinna wynosić co najmniej 50 cm. W miarę możliwości, zaleca się jednak stosowanie odstępu równego 100 cm (rys. 1). Rejestrator umieszcza się w bezpiecznej odległości od miejsca prowadzenia badań od strony ostatniego badanego zapalnika. Badania tego typu umożliwiają zarówno pomiar czasów opóźnień zapalników o tych samych, jak i różnych stopniach opóźnienia.

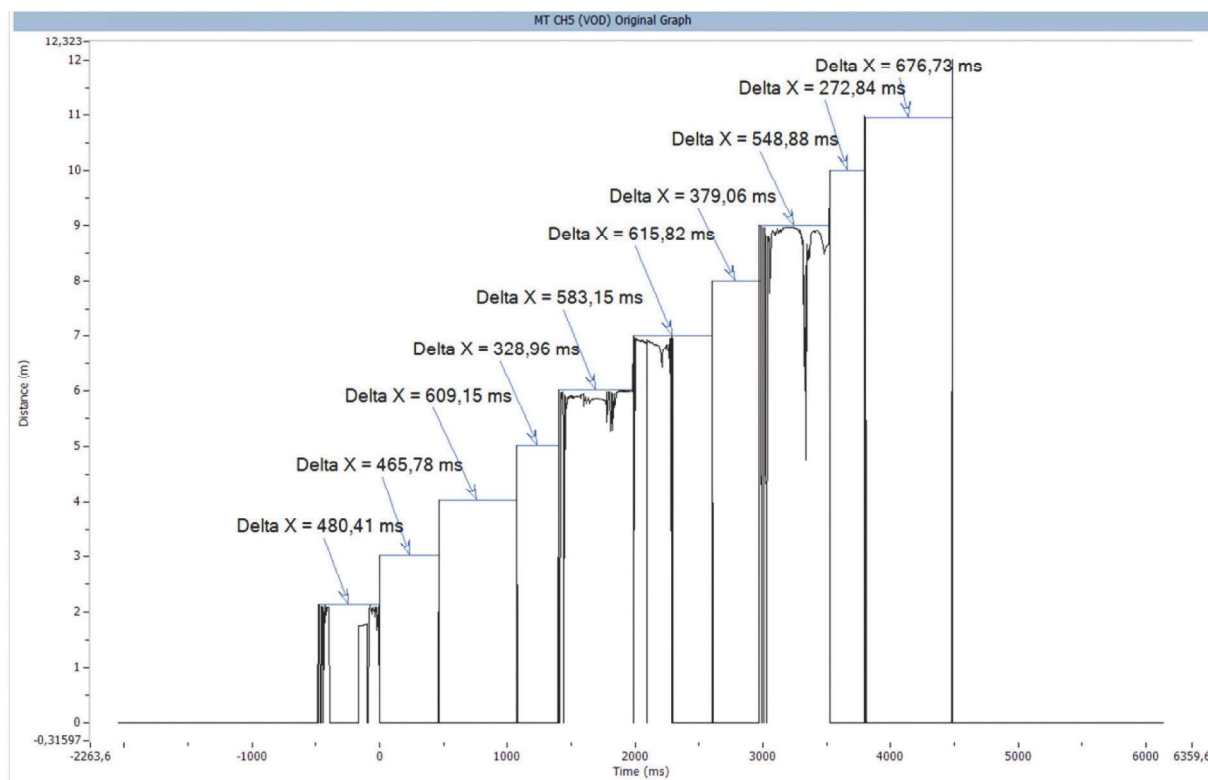
Pomiary w układzie szeregowym, w zależności od przyjętej częstotliwości próbkowania i analizowanych stopni

opóźnień, umożliwiają badanie od kilku do nawet kilku tysięcy zapalników na jednej sondzie pomiarowej, której maksymalna dopuszczalna długość wynosi 900 m. Na rysunku 2 przedstawiono teoretyczne maksymalne liczby zapalników o tym samym stopniu opóźnienia (50 ms i 500 ms), dla których można przeprowadzić oznaczenie czasów opóźnień systemem MicroTrap. W rzeczywistości jednak, mając na uwadze inne czynniki techniczno-organizacyjne, liczba badanych zapalników nie przekracza kilkudziesięciu.

Zarejestrowane dane należy wyeksportować do pamięci komputera celem dalszej analizy. Obróbka danych realizowana jest przy pomocy dedykowanego do tego celu oprogramowania DAS (ang. *Data Acquisition Suite Software*). Przykładowy zapis graficzny pomiaru czasów opóźnień zapalników o opóźnieniach nominalnych $t_{nom} = 500$ ms w układzie szeregowym wraz z analizą danych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Teoretyczna maksymalna liczba zapalników w zależności od częstotliwości próbkowania i badanych czasów opóźnień
 Fig. 2. Theoretical maximum number of detonators depending on the sampling rate and measured delay times

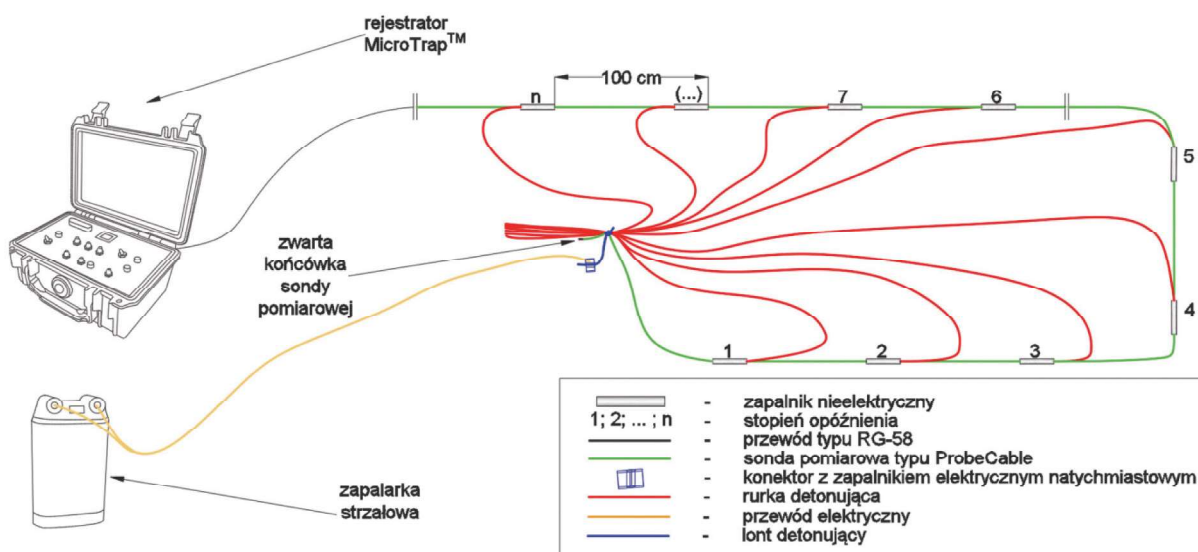


Rys. 3. Graficzne przedstawienie zarejestrowanych czasów opóźnień zapalników z wykorzystaniem oprogramowania DAS dla badań w układzie szeregowym

Fig. 3. Graphical representation of recorded delay times of detonators by the use of the DAS software for tests in a series circuit

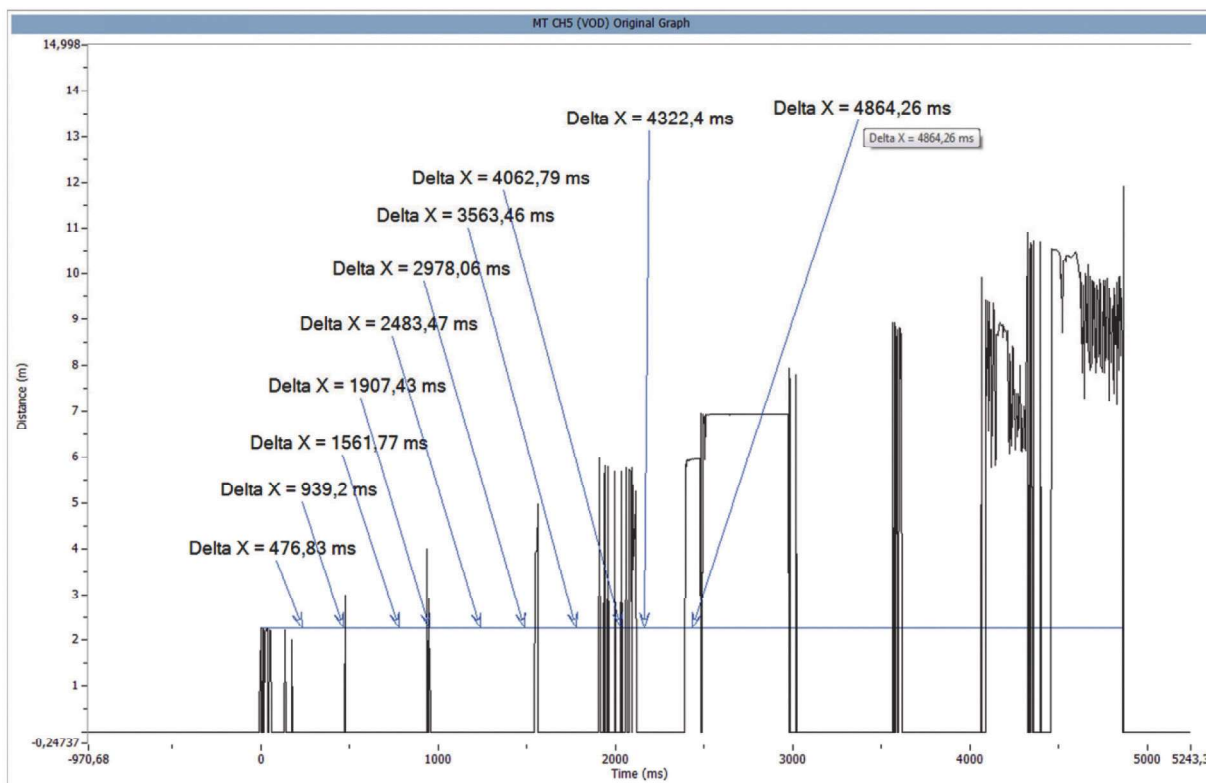
Drugim sposobem pomiarów jest badanie czasów opóźnień w układzie równoległym. W tego typu pomiarach wszystkie rurki detonujące badanych zapalników, inicjowane są w tym samym momencie przy pomocy lontu detonującego (rys. 4). Dzięki temu, ewentualne niewypały nie wpływają na otrzymanie wyników z pozostałych zapalników. Badania tego typu stosuje się do określania czasów opóźnień większej liczby stopni w trakcie jednego pomiaru. W tym przypadku, istotne jest zachowanie kolejności podłączania kolejnych

stopni opóźnień (narastająco), aby możliwe było oznaczenie czasów wszystkich badanych zapalników. W takiej sytuacji należy mieć na uwadze, że nałożenie się opóźnień kolejnych stopni, tzn. gdy zapalnik ze stopniem wyższym zdetonuje wcześniej niż ten ze stopniem niższym, czas tego drugiego nie zostanie zarejestrowany. Długość rurki detonującej od miejsca inicjacji do każdego zapalnika powinna być równa, aby zapewnić jednoczesne dotarcie impulsu inicjującego do każdego z zapalników.



Rys. 4. Schemat oznaczania czasów opóźnień zapalników nieelektrycznych w układzie równoległym

Fig. 4. Scheme for the determination of delay accuracy of non-electric detonators in a parallel circuit



Rys. 5. Graficzne przedstawienie zarejestrowanych czasów opóźnień zapalników z wykorzystaniem oprogramowania DAS dla badań w układzie równoległym

Fig. 5. Graphical representation of recorded delay times of detonators by the use of the DAS software for tests in a parallel circuit

Przykładowy zapis graficzny pomiaru czasów opóźnień zapalników o opóźnieniach nominalnych $t_{nom} = 500$ ms w układzie szeregowym wraz z analizą danych przedstawiono na rysunku 5.

Istotną zaletą tej metody jest możliwość oznaczenia czasów opóźnień całej serii zapalników w trakcie pojedynczego pomiaru. Zachowanie stałej odległości pomiędzy kolejnymi stopniami opóźnień pozwala w łatwy sposób znaleźć na wykresie miejsce ich położenia, a tym samym określić zapalnik, który nie zdetonował lub nastąpiła jego przedwczesna inicjacja przed zapalnikiem o niższym stopniu.

W ramach przeprowadzonych pomiarów czasów opóźnień zapalników, przebadano łącznie 330 sztuk zapalników nieelektrycznych stosowanych obecnie w kopalni „Lubin”. W sumie wykonano 30 serii pomiarowych z zapalnikami decysekundowymi o następujących stopniach opóźnienia: 0, 5, 10, 16, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50. Zapalniki przymocowywano do sondy pomiarowej przy pomocy taśmy. Odległość pomiędzy poszczególnymi zapalnikami wynosiła 100 cm. Zapalniki inicjowano przy pomocy lontu detonującego, który z kolei był odpalany zapalnikiem elektrycznym natychmiastowym. Częstotliwość próbkowania ustalono na poziomie 500 kHz, aby możliwe było oznaczenie czasów wszystkich zapalników w serii. W efekcie maksymalny czas pomiaru wynosił 8 sekund (tabela 1). Zarejestrowane dane przesyłano do pamięci komputera i analizowano przy pomocy oprogramowania DAS.

4. Analiza wyników badań

W wyniku przeprowadzonych badań oznaczono czasy opóźnień 228 spośród 330 przebadanych zapalników. Przyczyną powstania niewypałów (czerwone ramki) w obu

przypadkach była amputacja rurek detonujących. Nie zaobserwowano nałożenia się na siebie kolejnych stopni zapalników. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 6.

Analizę statystyczną wraz z określeniem ilości obserwacji odstających przeprowadzono zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-EN 13763-16:2003 – *Materiały wybuchowe do użytku cywilnego - Zapalniki i przekaźniki – Część 16: Oznaczanie dokładności opóźnienia*.

4.1. Obliczenia średniego czasu opóźnienia i odchylenia standardowego

Dla każdego z badanych stopni opóźnień określony został średni czas opóźnienia wg zależności:

$$t_{sr} = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} t_{ik} \quad (1)$$

gdzie:

n_k – liczba badanych zapalników dla k -tego stopnia opóźnienia, szt.,

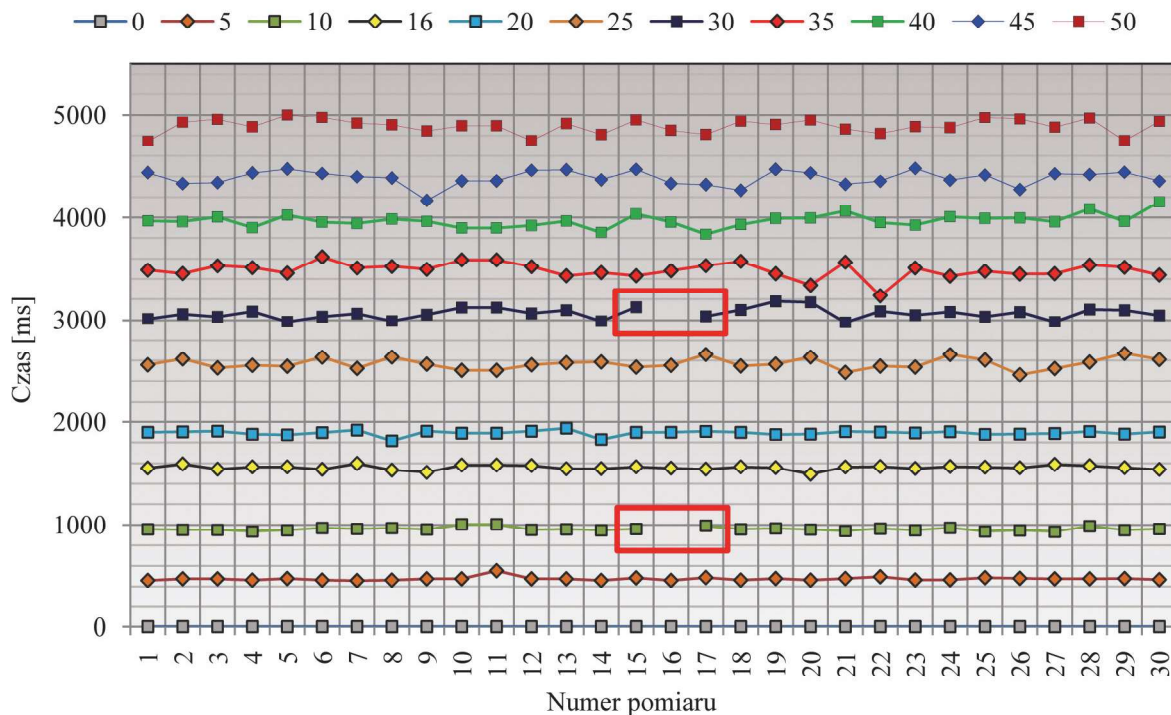
t_{ik} – zmierzony czas opóźnienia dla i -tego zapalnika w k -tym stopniu opóźnienia, ms.

Następnie obliczono odchylenie standardowe wg wzoru:

$$\sigma_{std.} = \sqrt{\frac{1}{n_k - 1} \sum_{i=1}^{n_k} (t_{ik} - t_{sr})^2} \quad (2)$$

4.2. Sprawdzenie obserwacji odstających

Do sprawdzenia, które ze zmierzonych wartości są obserwacjami odstającymi konieczne jest przeprowadzenie tzw. testu Grubbsa. Podstawowym kryterium tej metody staty-



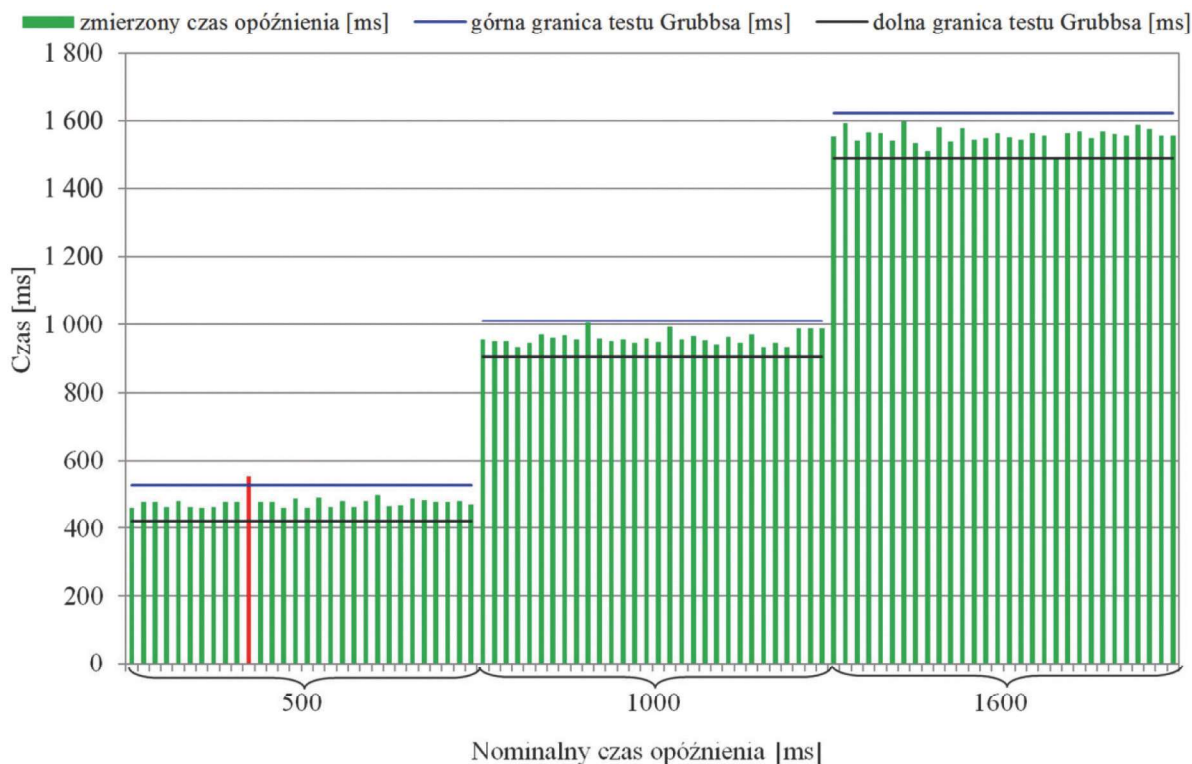
Rys. 6. Zmierzone czasy opóźnień zapalników dla wszystkich serii pomiarowych
Fig. 6. Measured delay times of the detonators for all tests

stycznej jest założenie, że obserwacje mają rozkład normalny (Grubbs 1969). Przy założeniu poziomu ufności na poziomie 99% i ilości analizowanych obserwacji równej $n=30$, górne i dolne limity dla obserwacji odstających każdego k -tego stopnia opóźnienia definiowane są zależnościami:

$$t_{GRg,k} = t_{sr} + 3,103 \cdot \sigma_{std}. \quad (3)$$

$$t_{GRd,k} = t_{sr} - 3,103 \cdot \sigma_{std}. \quad (4)$$

Przykładowe dolne i górne granice testu Grubbsa w odniesieniu do wartości zmierzonych przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Przykładowa weryfikacja występowania obserwacji odstających dla 1, 2 i 3 stopnia opóźnienia
Fig. 7. Exemplary verification of outliers occurrence for the 1st, 2nd and 3rd delay number

Zapalniki, których opóźnienia nie mieszczą się w wyznaczonych granicach, traktowane są jako tzw. obserwacje odstające (czerwony słupek na wykresie kolumnowym).

4.3. Trójkąty klasyfikujące

Wyniki pomiarów czasów opóźnień można również przedstawić w formie graficznej. W tym celu, w oparciu o deklarowane czasy nominalne, należy obliczyć dla każdego stopnia opóźnienia k , nominalną skorygowaną różnicę czasu między kolejnymi, sąsiednimi stopniami opóźnień wg zależności:

$$\Delta t_{nom,k} = \frac{1}{2}(t_{nom,k+1} - t_{nom,k-1}) \quad (5)$$

gdzie:

- $t_{nom, k+1}$ – nominalny czas opóźnienia stopnia $k+1$, ms,
- $t_{nom, k-1}$ – nominalny czas opóźnienia stopnia $k-1$, ms

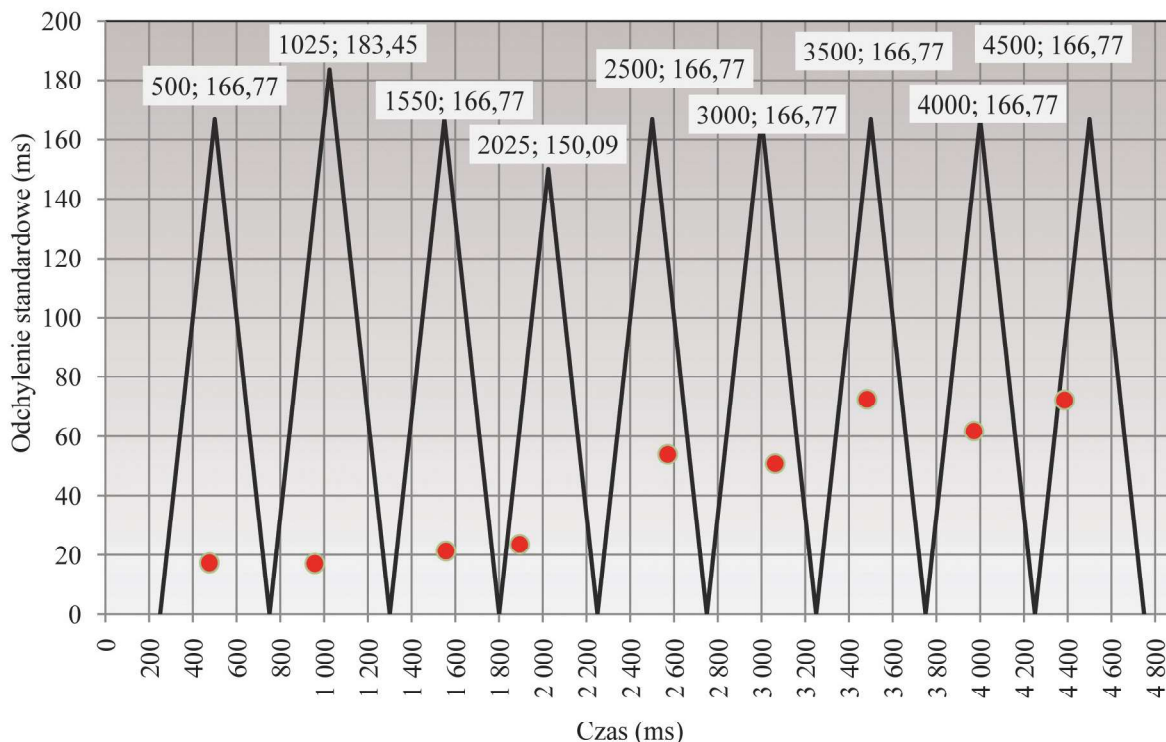
oraz skorygowany znamionowy czas opóźnienia wg wzoru:

$$t_{znam,k} = \frac{1}{4}(t_{nom,k+1} + t_{nom,k-1} - 2t_{nom,k}) \quad (5)$$

Obliczone wartości skorygowane są podstawą do wyznaczenia trójkątów klasyfikujących. Jak widać na rysunku 8, wierzchołki przy podstawach trójkątów zawsze stykają się ze sobą, nawet w przypadku niesymetrycznych przedziałów.

Szczegółowa procedura obliczania poszczególnych parametrów statystycznych została opisana w normie PN-EN 13763-16:2003. Wyniki badań obliczone na podstawie przedmiotowej normy przedstawiono w tabeli 2.

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników pomiarów (tabela 2 i rysunek 8) stwierdzono, że dokładności opóźnień przebadanych serii zapalników nieelektrycznych są wystarczające, to znaczy, że prawdopodobieństwo zachodzenia na siebie kolejnych stopni opóźnień jest akceptowalne.



Rys. 8. Trójkąty klasyfikujące określone na podstawie zmierzonych czasów opóźnień
Fig. 8. Verifying triangles determined based on measured delay times

Tabela 2. Wyniki obliczeń statystycznych dla przebadanych serii zapalników
Table 2. Results of statistical calculations for tested series of detonators

Stopień opóźnienia	0	5	10	16	20	25	30	35	40	45	50
Nominalny czas zadziałania, ms	0	500	1000	1600	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Sredni czas zadziałania, ms	2	475	957	1557	1894	2571	3061	3482	3971	4386	4892
Maksymalny czas zadziałania, ms	2	553	1005	1597	1940	2669	3179	3617	4151	4480	4998
Minimalny czas zadziałania, ms	1	458	933	1493	1817	2461	2979	3233	3838	4167	4744
Średnie odchylenie, ms	0	17	16	22	24	52	52	73	63	73	70
Maksymalne odchylenie, ms	2	53	43	43	106	169	179	117	151	114	108
Średnie procentowe odchylenie, %	-	5,7	4,2	2,6	5,3	2,9	2,3	1,6	1,4	2,6	2,2
Minimalne procentowe odchylenie, %	-	0,5	0,2	3,0	0,2	0,3	0,2	0,1	0,4	0,0	0,0
Maksymalne procentowe odchylenie, %	-	10,6	6,7	6,7	9,2	6,8	6,0	7,6	4,1	7,4	5,1
Ilość obserwacji odstających, szt.	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ilość niewypałów, szt.	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0

5. Podsumowanie

Jednym z kluczowych elementów projektowania robót strzałowych jest odpowiedni dobór opóźnień zapalników. Zasadniczym celem stosowania zapalników zwłoczących jest zróżnicowanie czasów detonacji pomiędzy poszczególnymi otworami w celu efektywnego urobienia i przemieszczenia urobku oraz ograniczenia negatywnego wpływu robót strzałowych na otoczenie. Oznacza to, że należy zaprojektować taką kolejność i czas odpalania poszczególnych ładunków MW, aby detonował on w zakładanej sekwencji, która zapewni efektywne współdziałanie poszczególnych otworów strzałowych w procesie urabiania.

W ramach niniejszego opracowania przeanalizowano możliwość zastosowania urządzenia MicroTrap do oznaczania czasów opóźnień zapalników. W sumie wykonano 30 serii pomiarowych dla 11 różnych stopni opóźnień zapalników nieelektrycznych decysekundowych. W oparciu o wykonane pomiary i obliczenia, zgodne z wymaganiami normowymi, stwierdzono, że analizowane zapalniki spełniają wymagania w zakresie dokładności opóźnień.

Wykazano również, że urządzenie MicroTrap można z powodzeniem wykorzystać do badań normowych. Pomiary tego typu mogą być wykonywane zarówno jako element badań dopuszczeniowych, jak również w celu bieżącej kontroli jakości stosowanych zapalników. Ponadto, nie ma żadnych technicznych ani formalnych przeciwwskazań, aby powyższą metodę zastosować również do oznaczania czasów opóźnień zapalników elektrycznych i elektronicznych.

Literatura

- DWORZAK M., BIESSIKIRSKA., PYRA J., SOŁTYS A. 2014 - Wybrane problemy realizacji opóźnień czasowych przy nieelektrycznym sposobie inicjacji ładunków MW w siatkach wieloszeregowych. „Przeгляд Górnicy” nr 10, 58-64.
- PN-EN-13763-16:2003 - Materiały wybuchowe do użytku cywilnego – Zapalniki i przekaźniki – Część 16: Oznaczanie dokładności opóźnienia.
- GRUBBS F. 1969 - Procedures for detecting outlying observations in samples. *Technometrics*. Vol. 11, 1–21.
- MODRZEJEWSKI S. 2006 - Zasady doboru opóźnień milisekundowych w górnictwie skalnym. „Górnictwo Odkrywkowe” nr 3-4, 153-157.
- ONDERKA Z. 2003 - Milisekundowe odpalanie ładunków a efekt sejsmiczny strzelania w kopalniach odkrywkowych. „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie” nr 7, 15-17.
- PYRA J. 2013a - Przegląd badań nad wpływem opóźnienia milisekundowego na intensywność i strukturę drgań wzbudzanych robotami strzałowymi w polskich kopalniach odkrywkowych. Materiały konferencyjne „Technika strzelnicza w górnictwie i budownictwie”. Ustroń, 25-27 września 2013 r., 215-226.
- PYRA J. 2013b - 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 Geoengineering*. Vol. 37, no.1, 81-91.
- PYTEL W., MERTUSZKA P., CENIAN B. 2013 - Zastosowanie elektronicznych systemów inicjacji ładunków MW w profilaktyce tapaniowej w warunkach kopalń LGOM. *CUPRUM Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwa Rud.* Nr 4 (69), 71-81.
- WINZER J. 2004 - Wpływ opóźnień milisekundowych przy prowadzeniu strzelań eksploatacyjnych na częstotliwościowe charakterystyki drgań gruntu i budynków. „Górnictwo i Geoinżynieria”. R. 28, z. 3/1, 456-476.
- WINZER J. 2013 - przyczynek do dyskusji o sposobach minimalizacji oddziaływania robót strzałowych na zabudowania w otoczeniu. Materiały konferencyjne „Technika strzelnicza w górnictwie i budownictwie”. Ustroń, 25-27 września 2013 r., 347-361.

Artykuł wpłynął do redakcji – grudzień 2019
Artykuł akceptowano do druku – 2.01.2020