

HotShot, zapalnik elektroniczny, system inicjowania

Michał JANIAK, Wojciech OSTIADEL, Szymon PACYNA*

SYSTEM INICJOWANIA ZAPALNIKIEM ELEKTRONICZNYM HOTSHOT

Opisano system inicjowania materiałów wybuchowych zapalnikami elektronicznymi HotShot 3G produkcji firmy DetNet South Africa (Pty) Ltd. System ten składa się z zapalnika elektronicznego programowalnego o czasie opóźnienia od 0 do 20 000 ms, zapalarki i złącz.

1. ROLA ZAPALNIKÓW ELEKTRONICZNYCH W ROBOTACH STRZAŁOWYCH

W ciągu ostatnich lat w górnictwie starano się intensywnie wykorzystać postęp techniczny. Miało to na celu intensyfikację produkcji poprzez wzrost wydajności procesów wydobywczych i przetwórczych. Jednak technika strzałowa pozostawała w tym względzie niezmienną. W robotach strzałowych, a szczególnie w górnictwie odkrywkowym wykorzystywano systemy nieelektryczne oraz materiały wybuchowe luzem. Stąd wprowadzenie zapalników elektronicznych oraz możliwość precyzyjnego określenia opóźnień przy odpalaniu ładunków MW, stanowiło narzędzie do optymalizacji robót strzałowych, które dotychczas nie było dostępne w systemach pirotechnicznych. Wykorzystanie tych zapalników dało po raz pierwszy możliwość dokładnego wpływu na wyniki robót strzałowych w celu zaspokojenia specyficznych potrzeb operacyjnych, bądź przewyższenia ograniczeń w procesach górniczych. Skutkowało to znaczącymi korzyściami ekonomicznymi oraz możliwością kontroli podstawowej funkcji w górnictwie, czyli urabianiem skał.

Kontrola ta pozwoliła na zoptymalizowanie procesów ładowania, kruszenia i obróbki urobku. Oprócz korzyści ekonomicznych, zastosowanie elektroniki przeniosło na wyższy poziom skuteczność inicjowania ładunków MW, umożliwiając przy tym użytkownikom sprawdzenie, przed zainicjowaniem MW, czy cały obwód strza-

* EPC-Polska Sp. z o.o., 55-050 Sobótka, Rogów Sobócki, ul. Wrocławska 58,
epc-polska@epc-polska.pl

łowy jest w pełni poprawny, pomagając w ten sposób w zapobieganiu niewypałom i ich skutkom.

Dotychczas zakładano, że zastosowanie zapalników elektronicznych w światowym górnictwie oraz szeroko pojętych robotach inżynierskich można osiągnąć tylko wówczas, gdy system stanie się dużo mniej skomplikowany dla użytkownika. Łatwość użycia tak w miejscu odstrzału, jak i pod względem obsługi systemu dla użytkownika było kryterium, w wyniku którego powstał system HotShot.

System HotShot opracowano, by spełniał różne wymagania klientów, stąd stworzono trzy wersje oprogramowania: Standard, Hybrid, Plus i Tunnel. Wersje Hybrid i Plus umożliwiają większą elastyczność pod względem rozmieszczenia zapalników w otworze oraz rozdziału opóźnień. Najnowsza wersja oprogramowania Tunnel, pozwala na wykorzystanie zapalników HotShot 3G w wyrobiskach podziemnych, np. przy drażeniu tuneli.

HotShot jest łatwiejszy do zrozumienia od innych systemów zapalników elektronicznych, ze względu na trzy zasadnicze cechy: połączenie zapalników jest „łańcuchowe”, automatyczne wykrywanie zapalników i automatyczne przydzielanie opóźnień.

Łączenie łańcuchowe używane jest w istniejących pirotechnicznych systemach inicjowania, które są ze sobą połączone wg kolejności odpalania ładunków MW. Oprócz tego, że same się inicjują, przekazują one „sygnał” (elektryczny lub detonację w rurce detonującej) do następnego zapalnika w szeregu, inicjując ponownie ten sam proces. Jest to kontynuowane dopóty, dopóki nie zostanie zainicjowany ostatni zapalnik. W odniesieniu do systemu łączenia łańcuchowego w HotShot ma zastosowanie ta sama zasada, w której sygnał cyfrowy otrzymany przez jeden zapalnik wywołuje działanie i następnie jest przekazywany do kolejnego zapalnika w szeregu. W uproszczeniu oznacza to, że użytkownik musi jedynie połączyć jeden zapalnik z drugim w szeregu, aby wywołać inicjację i praca jest zakończona, tak samo jak w przypadku systemów z zapalnikami nieelektrycznymi. Nie jest już, tym samym, potrzebne rejestrowanie każdego zapalnika programatorem (jak w przypadku innych systemów), ponieważ programator Tagger identyfikuje położenie zapalników w szeregu. W systemach w niepełni programowalnych położenia zapalników nie są znane systemowi i muszą być zastosowane szczegółowe procedury.

Automatyczne wykrywanie jest to sposób, w jaki programator Tagger potrafi wykrywać i wizualizować cały obwód strzałowy. Tagger potrafi określić liczbę zapalników, liczbę rzędów i liczbę zapalników (lewych i prawych) w rzędzie. Możliwość ta istotnie redukuje czas i wysiłek użytkownika przy pracy z innymi systemami zapalników elektronicznych. Łączenie łańcuchowe pozwala systemowi widzieć zapalniki w każdym rzędzie, a specjalne złącze, znane jako „identyfikatory lokalizacji”, umieszczone na początku rzędów, umożliwiają systemowi „widzenie” wszystkich rzędów.

Mając obraz rozmieszczenia zapalników na ekranie, programator Tagger wymaga teraz jedynie wprowadzenia parametrów opóźnień. W systemie HotShot wykonuje się

to jako proces jednorazowy, odpowiadając w programatorze na serię prostych pytań. Zakończenie tego procesu daje w efekcie kompletny projekt obwodu strzałowego inicjującego MW. Wprowadzone odpowiedzi są przetwarzane na indywidualne opóźnienia wymagane dla każdego zapalnika. Wybrany projekt może być dokładnie obserwowany na przejrzystych wizualizacjach (ekran Taggera) i dzięki temu można stwierdzić, czy jest poprawny. Przydzielone zapalnikom opóźnienia są przekazywane w jednorazowym procesie podczas programowania tuż przed odpaleniem ładunków.

2. BEZPIECZEŃSTWO

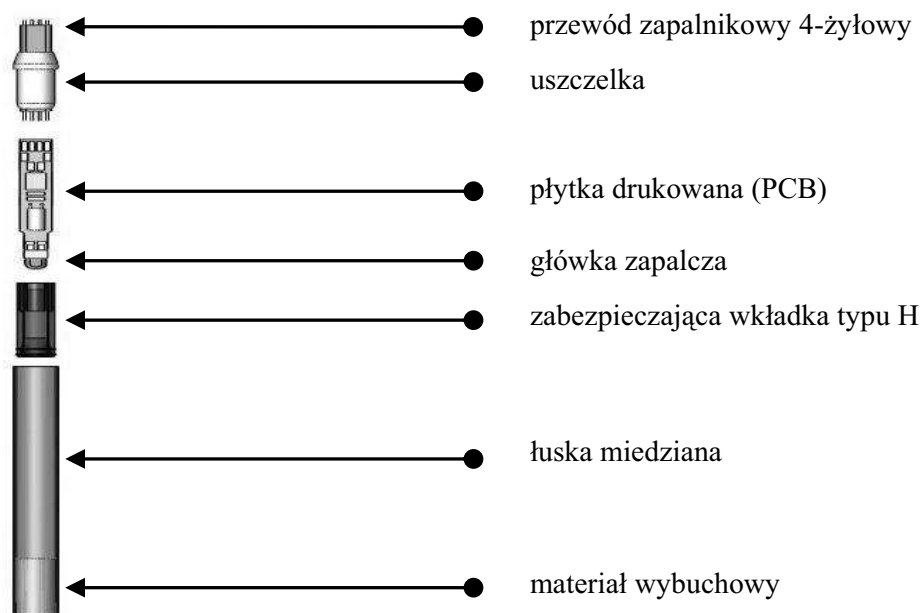
Dobry projekt obwodu strzałowego, skutkujący odpaleniem ładunków MW w otworze strzałowym, jest podstawą dobrych wyników roboty strzałowej. W systemie HotShot proces projektowania obwodu strzałowego jest odmienny od innych systemów. Programator Tagger, przystosowany jest do testowania i usuwania uszkodzeń na miejscu odstrzału. Jest bezpieczny i w normalnych warunkach pracy ma maksymalne napięcie wyjściowe 9 V.

Zapalniki są zawsze testowalne i mają dwukierunkową komunikację. Integralność zapalnika, elementy systemu i złącz mogą być sprawdzone za pośrednictwem systemu. Nieprawidłowe połączenia można wyodrębnić i naprawić, a wadliwe złącza wymienić. Dzięki temu osoba wykonująca roboty strzałowe ma możliwość zapewnienia elektrycznej funkcjonalności systemu i minimalizacji niewypałów oraz błędów przy odstrzale. Podczas strzelania, kiedy urządzenie odpalające (zapalarka) jest połączone przewodami strzałowymi z miejscem odstrzału, zapalarka musi znajdować się w bezpiecznym miejscu, a wszystkie osoby znajdować się w bezpiecznej odległości. Bezpieczeństwo jest zapewnione przez systemy blokujące lub klucz, który może zostać wyjęty z zapalarki i być przechowywany zgodnie z obowiązującymi przepisami. Klucz zawiera przyciski do odpalania, obwody podwyższające napięcie oraz niezbędne hasło dla przeprowadzenia odstrzału. Gdy nie ma klucza, odpalenie nie nastąpi. Klucz wkłada się do zapalarki przed rozpoczęciem odpalania, aby umożliwić uzbrojenie lub naładowanie kondensatorów, co następuje, gdy napięcie podniesie się ponad bezpieczny poziom 9 V.

3. ELEMENTY SYSTEMU

System HotShot składa się z: zapalników elektronicznych typu HotShot 3G, złącz (akcesoriów) obwodu strzałowego, złącza obwodu, gałęzi, rzędu i końcówek, przewodów czterożyłowych oraz zapalarki, programatora Tagger i klucza strzałowego. Zapalnik elektroniczny służy do zainicjowania MW w programowalnym czasie opóźnienia metodą elektroniczną. Jest ona bardziej precyzyjna w porównaniu z zapalnikami elektrycznymi czy nieelektrycznymi zawierającymi masę pirotechniczną, co może

spowodować osiągnięcie lepszych wyników w robotach strzałowych. Zapalnik elektroniczny HotShot 3G zbudowany jest podobnie jak natychmiastowy zapalnik elektryczny; posiada główkę zapalczą, ładunek pierwotny i wtórny. Różnica między zapalnikiem elektrycznym a elektronicznym polega na tym, że układ elektroniczny umieszczony jest między przewodami a główką (rys. 1).



Rys. 1. Elementy składowe zapalnika elektronicznego HotShot 3G
Fig. 1. Components of HotShot 3G electronic detonator

Układ elektroniczny zastępuje funkcję opóźniacza pirotechnicznego, co daje możliwość programowania czasu detonacji i możliwość komunikacji dwustronnej. Na płycie drukowanej (PCB) znajdują się podzespoły: rezystora, pełniące funkcję zabezpieczenia obwodu zapalnika przed wpływami elektrycznymi, kondensatora magazynujący energię, oscylator kwarcowego – element generujący impulsy o dokładnej ustalonej częstotliwości, mikroprocesora odpowiedzialny m.in. za zaprogramowanie czasu opóźnienia, uzbrojenie i odpalenie oraz transmisję i kontrolę zapalnika przez programator, główki zapalcza, która działa jako interfejs między układem elektronicznym a MW w zapalniku.

Dane techniczne zapalnika elektronicznego HotShot 3G:

- programowalny czas opóźnienia: 0–20 000 ms,
- interwał ustawienia czasu detonacji: 1 ms,
- ładunek pierwotny: azydek ołowiu,
- ładunek wtórny: < 1 g PETN,
- napięcie przebicia izolacji: > 6 kV,
- rezystancja izolacji przewodów: > 200 MΩ,
- odporność na wyładowania elektrostatyczne, zgodna z normą EN 13763-13,

- odporność na częstotliwości radiowe, zgodna z normą CEN TS 13763-27,
- bezpieczeństwo wobec elektryczności statycznej: 30 kV/2500 pF.

Zapalnik elektroniczny HotShot 3G posiada nr identyfikacyjny materiału wybuchowego do użytku cywilnego nadany przez Prezesa WUG.

3.1. ZAPALARKA (URZĄDZENIE ODPALAJĄCE) DO SYSTEMU HOTSHOT

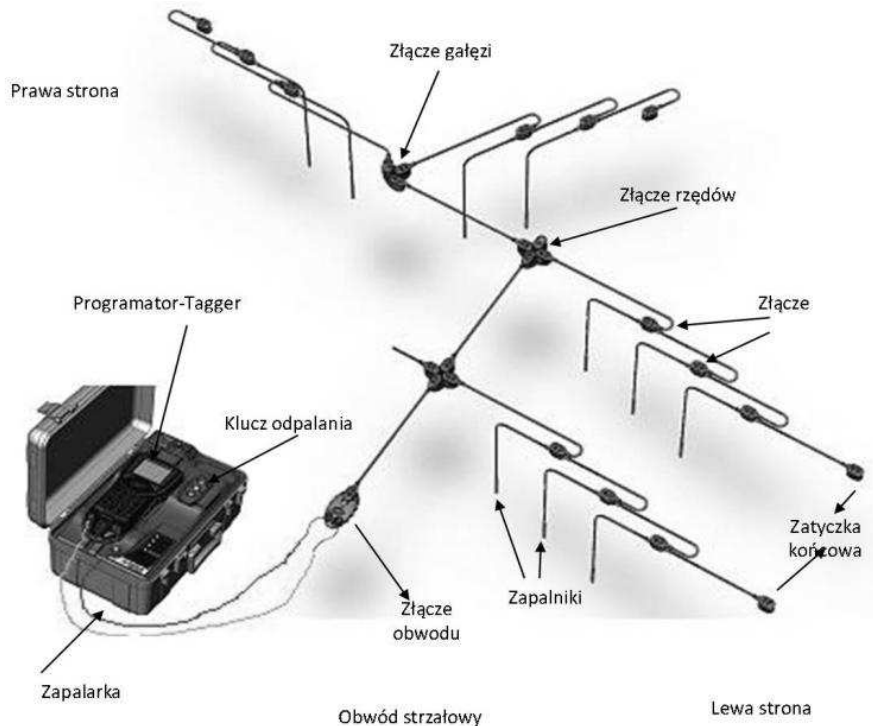
Zapalarka służy do odpalania zapalników HotShot 3G wraz z programatorem Tagger oraz kluczem strzałowym i jest podłączona z łączem obwodu przewodem dwużyłowym. Zapalarka pełni także rolę ładowarki do programatora Tagger, który jest urządzeniem wielofunkcyjnym i służy też do testowania zapalników, konfigurowania obwodu, nadawania opóźnień zapalnikom oraz testowania obwodu strzałowego. Klucz strzałowy zawiera kod odpalania, którego znajomość umożliwi odpalenie obwodu strzałowego. Klucz zawiera trzy przyciski: ARM (aktywacja zapalarki) i dwa FIRE (strzał). Odpalając obwód strzałowy należy równocześnie przycisnąć dwa przyciski FIRE. Dla potrzeb systemu zapalników HotShot opracowano cztery wersje oprogramowania, które w zależności od potrzeb obwodów strzałowych są wykorzystywane i umożliwiają bardzo różnorodne rozmieszczenie zapalników w otworach strzałowych. Oprogramowanie to pozwala na automatyczną lokalizację zapalników i wykrywanie ich nieprawidłowości, automatyczne wyznaczanie opóźnień zapalników oraz automatyczne, jednoczesne programowanie całego systemu. Kontrola obwodu strzałowego polega na kontroli zapalników połączonych czterożyłowymi przewodami zapalnikowymi, potwierdzeniu liczby zapalników i otworów strzałowych jak i wizualizacji strzelania przy zastosowaniu oprogramowania. Wszystkie elementy zapalarki strzałowej posiadają cechę dopuszczenia KDB 10 EXP-D 521 nadaną przez GIG.

3.2. ZŁĄCZA (AKCESORIA) DO SYSTEMU HOTSHOT

System zapalników HotShot wyposażony jest w dodatkowe akcesoria: złącza (obwodu, rzędu, gałęzi, końcowe) oraz przewody, które umożliwiają połączenie zapalników w zapalnikowy obwód strzałowy, w zależności od rozmieszczenia otworów strzałowych.

Złącze obwodu jest to interfejs pomiędzy czterożyłowym przewodem strzałowym obwodu a dwużyłową linią strzałową. Złącze rzędu to identyfikator lokalizacji, który sygnalizuje programatorowi Tagger obecność punktu początkowego opóźnień przy rozmieszczeniu zapalników. Złącze gałęzi jest to identyfikator lokalizacji, który sygnalizuje programatorowi Tagger o położeniu otworów strzałowych (zapalników) poza podstawowym układem otworów, w których opóźnienia lub rozmieszczenie zapalników w otworze strzałowym jest różne od układu podstawowego. Złącza końcowe służą do oznaczenia skrajnych punktów obwodu strzałowego.

Przewody strzałowe czterożyłowe służą do łączenia złącza rzędu z: zapalnikiem, złączem gałęzi lub złączem obwodu. Przewody te mają długość 1, 5, 10 i 100 metrów i są wykonane z przewodów miedzianych. Złącza i przewody strzałowe mają cechę dopuszczenia KDB 10 EXP-D 52 nadaną przez GIG.



Rys. 2. Schemat obwodu strzałowego z zastosowaniem zapalników HotShot 3G
Fig. 2. Blasting circuit diagram of use HotShot 3G detonators

4. ZAPALNIKOWY OBWÓD STRZAŁOWY

System zapalników elektronicznych HotShot pozwala na wykonanie praktycznie każdego schematu odpalania stosowanego w górnictwie odkrywkowym, ale posiada także pewne ograniczenia. Konstrukcja zapalnika jak i pozostałych elementów systemu pozwala na stwierdzenie, że system jest bezpieczny wobec obecności prądów błądzących w zakresie odpowiadającym co najmniej zapalnikom elektrycznym klasy 4A. Dlatego też przy stosowaniu zapalników elektronicznych systemu HotShot 3G można odstąpić od wykonywania pomiarów prądów błądzących.

4.1. OGRANICZENIA LICZBY ZAPALNIKÓW I DŁUGOŚCI PRZEWODÓW STRZAŁOWYCH

Maksymalna liczba zapalników, jaka może być odpalona jednorazowo jest uzależniona od liczby zastosowanych złącz rzędu i złącz gałęzi przypadająca na jedno złącze obwodu. Zależność tę można określić zależnością:

$$\text{max liczba zapalników} = 234 - (3 \times \text{liczba złącz rzędu}) - (2 \times \text{liczba złącz gałęzi}) \quad (1)$$

np. złącze rzędu – 3 szt., złącze gałęzi – 2 szt,

$$\text{max liczba zapalników} = 234 - (3 \times 3) - (2 \times 2) = 234 - 9 - 4 = 221 \text{ zapalników.}$$

System zapalników HotShot pozwala na użycie trzech złącz obwodu przy jednym odpaleniu zapalników. Istnieją także ograniczenia co do liczby zapalników umieszczonych w otworze strzałowym, ale jest to zależne od stosowanego oprogramowania. Standardowe oprogramowanie HotShot pozwala na umieszczenie w otworze strzałowym maksymalnie dwóch ładunków dzielonych, w którym można umieścić dwa zapalniki. Oprogramowania HotShot Hybrid i HotShot Plus umożliwiają w jednym otworze strzałowym umieścić 15 ładunków dzielonych po 3 zapalniki.

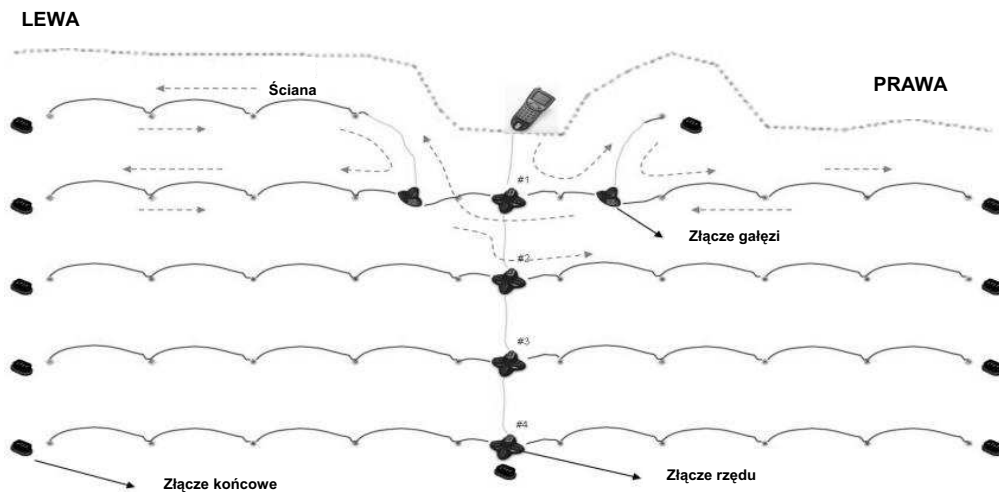
Przewód strzałowy (czterozyłowy) łączący złącze obwodu z pierwszym złączem rzędu powinien mieć 100 m, a długość przewodu dwuzyłowego (miedzianego) łączącego złącze obwodu z zapalarką uzależniona jest od liczby stosowanych złącz obwodu. Dla jednego złącza obwodu jest to długość 1000 m, dla dwóch to 800 m, a dla trzech złącz 600 m. Przewód zapalnikowy zapalników HotShot składa się z dwóch części: jedna, która znajduje się w otworze strzałowym i druga, która pozostaje poza otworem (część powierzchniowa). Długość przewodów powierzchniowych przypadająca na jedno złącze rzędu wraz z odgałęzieniami nie może przekroczyć 500 m.

4.2. OGRANICZENIA TECHNICZNE

System zapalników HotShot z zapalnikami w wykonaniu standardowym (przewód czerwony z paskiem czarnym) może być używany w temperaturze od -10 do $+70$ °C, a z przewodem w wykonaniu arktycznym (przewód czerwony z paskiem białym) w temperaturach od -30 do $+50$ °C. Czas przechowywania zapalników i akcesoriów wynosi 24 miesiące od daty produkcji. Złącza rzędu oraz gałęzi są jednorazowego użytku. Natomiast złącze obwodu jest wielokrotnego użytku; liczba użyć jest kontrolowana przez programator Tagger.

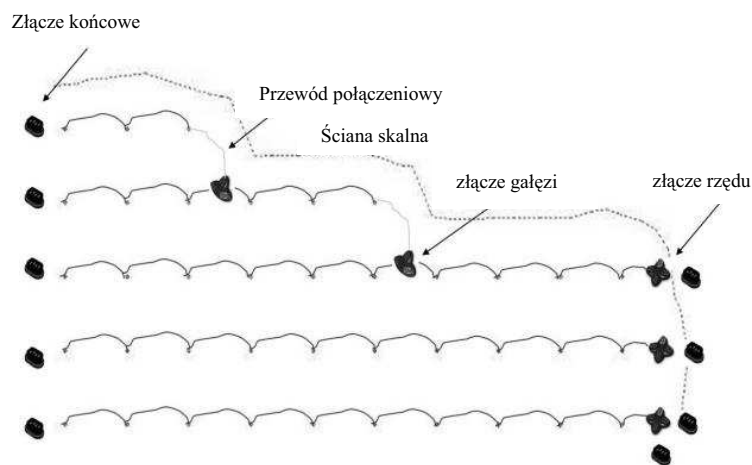
4.3. ZASTOSOWANIE SYSTEMU

Zapalniki elektroniczne HotShot 3G, pomimo że spełniają warunki stosowania w zakładach górniczych podziemnych, niewęglowych i niemetalowych, używane są przede wszystkim, do strzelań w odkrywkowych zakładach górniczych oraz poza nimi. Wynika to z opracowanego oprogramowania przeznaczonego do schematów rozmieszczenia otworów strzałowych. Zastosowanie systemu pozwala na realizację wszystkich schematów rozmieszczenia otworów strzałowych z jedną i wieloma płaszczynami odsłonięcia.



Rys. 3. Przykładowy schemat obwodu strzałowego
Fig. 3. Example of blasting circuit

Na rysunku 3 przedstawiono schemat rozmieszczenia zapalników i złącz dla ściany z jedną płaszczyzną odsłonięcia, z czterema złączami rzędu i dwoma złączami gałęzi. Taki schemat umożliwia odpalenie max 214 zapalników, wg wzoru (1).



Rys. 4. Przykładowy schemat obwodu strzałowego
Fig. 4. Example of blasting circuit

Programowanie systemu przy użyciu programatora Tagger polega na wprowadzeniu do systemu opóźnień między zapalnikami odpowiadając na pytania: opóźnienia między zapalnikami w tym samym otworze strzałowym, opóźnienia między otworami strzałowymi w kierunku prawym i lewym ściany oraz opóźnienia między rzędami. Odrębna jest procedura nadawania opóźnień zapalnikom podłączonym do złącz gałęzi, która umożliwia nadanie opóźnień odmiennych niż w podstawowym schemacie obwodu zapalnikowego. Schemat obwodu zapalnikowego przy dwóch płaszczyznach odsłonięcia, przy zastosowaniu trzech złącz rzędu i dwóch złącz gałęzi, co umożliwia

odpalenie max 221 zapalników przedstawia rys. 4. Proces programowania i testowania całego systemu nie jest procesem trudnym, ale wymaga postępowania zgodnie z instrukcją [1].

5. PODSUMOWANIE

System zapalników elektronicznych HotShot jest jednym z bardziej zaawansowanych technologicznie systemów odpalania MW z dokładnością do 1 ms, który posiada bardzo wysoki stopień bezpieczeństwa, a także stosowne zabezpieczenia przed nieuprawnionym użyciem.

LITERATURA

- [1] EPC-POLSKA, *Instrukcja bezpiecznego stosowania zapalników HotShot (Instrukcja wykonywania robót strzałowych przy użyciu zapalników elektronicznych HotShot)*, 2009.
- [2] GIG, KOPALNIA DOŚWIADCZALNA „BARBARA”, *Opinia techniczna Nr 1,2,3,4/10*, 2010.
- [3] EPC-POLSKA, *Arkusze danych technicznych*, 2009.
- [4] EPC-POLSKA, *Karta charakterystyki zapalnika elektronicznego HotShot*, 2009.
- [5] BIRD N., VAN WYK R.L., OSTIADEL W., JANIĄK M., *Bezpieczeństwo i zabezpieczenia: minimalizacja zagrożenia związanego z zapalnikami elektronicznymi*, *Górnictwo środowisko*, nr V/2008, GIG, 2008.

INITIATING SYSTEM WITH ELECTRONIC DETONATOR HOTSHOT

The article presents modern initiation system HotShot 3G with electronic detonators made by DetNet South Africa (pty) Ltd. using in Poland by EPC-Poland. The presented system has identification number for HotShot 3G detonator allocated by State Mining Authority and elements of the system have release feature allocated by Central Mining Institute. This system consists of HotShot 3G programmable electronic detonator with delay time from 0 ms to 20 000 ms, exploder (firing equipment) and connectors.