

*Sebastian Prędko\**

## ZASTOSOWANIE ELEKTRONICZNEGO SYSTEMU INICJOWANIA TYPU I-KON PRZY PROWADZENIU ROBÓT STRZAŁOWYCH W PGE KWB BEŁCHATÓW SA

---

### 1. Wprowadzenie

Położona w centralnej Polsce kopalnia „Bełchatów” prowadzi eksploatację złoża węgla dla potrzeb pobliskiej elektrowni. Budowa kopalni w latach 70. ubiegłego wieku należała do największych, praktycznie pionierskich wyzwań technicznych, przed jakimi stanęło polskie górnictwo odkrywkowe.

Działalność górnictwą podjęto tu w 1977 roku, by w roku 1989 osiągnąć docelową zdolność wydobywczą, szacowaną na poziomie 38,5 mln ton/rok, przy średniorocznym zdejmowaniu nadkładu w ilości 120 mln m<sup>3</sup>.

Obecnie jest to największa kopalnia węgla brunatnego w Polsce oraz jedna z największych i najnowocześniejszych tego typu kopalń na świecie. Złożoność i ogrom procesu technologicznego realizowanego w kopalni „Bełchatów” nie ogranicza się tylko i wyłącznie do tych aspektów robót górniczych, które w bezpośredni sposób związane są z pracą wielonaczyniowych koparek kołowych, taśmowym transportem urobku do elektrowni, czy deponowaniem skały płonnej na zwałowiskach (zewnętrznym i wewnętrznym). Aby możliwe było bezpieczne prowadzenie eksploatacji w oparciu o stosowany układ KTZ (koparka–taśmociąg–zwałowarka), nieodzowne jest stworzenie właściwych ku temu warunków (jak odwodnienie złoża) oraz zaplanowanie, a co ważniejsze — zgranie i wykonanie — szeregu prac pomocniczych, bez których utrzymanie ciągłości procesu wydobywczego w kopalni byłoby wręcz niemożliwe. W poczet tego typu działań bez wątpienia wpisać można roboty strzałowe, które z uwagi na różnorodność i ilość, ale przede wszystkim celowość ich prowadzenia, stały się niezbędnym elementem ruchu zakładu górniczego [1].

---

\* ORICA POLAND Sp. z o.o., Wrocław

Najszerze zastosowanie techniki strzelniczej zaobserwować można przy wspomaganiu procesów ściśle związanych z pracą układu technologicznego KTZ. Charakterystyka geologiczna złoża, ilość i różnorodność urabianych, transportowanych i zwałowanych mas nie pozostają bowiem bez wpływu na przebieg procesu wydobywczego. Mowa tu o występowaniu na szeroką skalę tzw. utworów trudnourabialnych, których pojawienie się w sukcesywnie odkrywanych partiach skał nadkładowych, już na etapie udostępniania złoża, w sposób istotny wpłynęło na rozwój koncepcji jego dalszej eksploatacji. Wraz z pojawieniem się skał zwiezłych pojawiły się bowiem pytania co do sposobów powiązania mechanicznego sposobu urabiania złoża i skał nadkładowych za pomocą wielonaczyniowych koparek kołowych, a — mogącym mieć i mającym wpływ na efektywną i bezawaryjną pracę — problemem urabiania skał, których parametry fizyko mechaniczne znacznie przewyższały możliwości skrawania stosowanych maszyn podstawowych. Za jedyną skuteczną metodę uznano konieczność wstępnego rozluźniania skał zwiezłych za pomocą techniki strzelniczej z wykorzystaniem ładunków materiałów wybuchowych (MW) umieszczanych w zwykłych (krótkich) i długich otworach strzałowych.

## **2. Roboty strzałowe z zastosowaniem systemu nieelektrycznego typu Nonel Unidet**

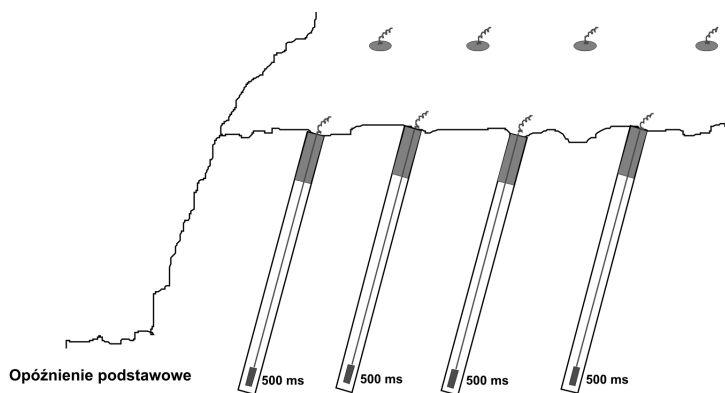
Lata 80. i 90. ubiegłego stulecia w historii kopalni „Bełchatów” to okres stosowania wyłącznie tzw. klasycznych systemów inicjacji ładunków MW, w postaci zapalników elektrycznych i lontu detonującego.

Prowadzenie robót strzałowych w oparciu o system klasyczny niosło ze sobą szereg zagrożeń dla szeroko pojętego bezpieczeństwa ruchu zakładu górniczego, związanych z możliwością niekontrolowanego odpalania zapalników prądami błądzącymi czy detonacją zapalników na skutek działania bodźców mechanicznych. Obok tak zdefiniowanych i rzeczywiście istniejących zagrożeń pochodzących od klasycznych środków strzałowych, służby strzałowe musiały dodatkowo borykać się z problematyką ograniczonego wachlarza oferowanych opóźnień międzystrzałowych, które w praktyce wynosiło 25 ms (lub  $n$ -krotność).

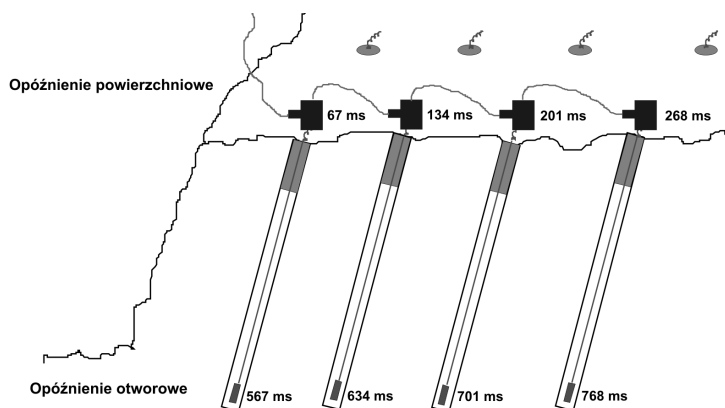
Operowanie tak zawężoną gamą opóźnień pozwalało na ograniczoną optymalizację szeroko pojętych robót wiertniczo-strzałowych, również z uwagi na ograniczenie wielkości dopuszczalnych ładunków MW odpalanych w serii ( $QC$ ) lub przypadających na opóźnienie milisekundowe ( $QZ$ ). Tymczasem, jak powszechnie wiadomo, stosowanie różnych wielkości opóźnień milisekundowych może wpływać i wpływa bezpośrednio nie tylko na efekt sejsmiczny strzelania, ale również na szereg czysto technicznych aspektów urabiania złóż, związanych z rozdrobnieniem urobku, kierunkiem przemieszczania urabianych mas, stanem ociosu po odstrzale czy parametrami usypu. Co prawda — z uwagi na prowadzenie strzelań tylko przy jednej powierzchni odsłonięcia — nie wszystkie z powyższych aspektów bezpośrednio dotyczą robót strzałowych wykonywanych w kopalni „Bełchatów”, niemniej jednak kierunkowość przemieszczania mas czy ich rozdrobnienie są podstawowymi priorytetami,

które ostatecznie decydują o efektywności poszczególnych odstrzałów. Użycie systemów klasycznych bardzo zawężyło te możliwości.

Rozwiązaniem technicznym, które w znaczącym stopniu niweluje tak zdefiniowane wady systemów klasycznych, są systemy nieelektrycznej inicjacji MW, w tym system *Nonel Unidet*. Tak jak wszystkie systemy nieelektryczne otwiera on przed służbami strzałowymi zupełnie nowe możliwości projektowania robót strzałowych, przede wszystkim za sprawą poszerzenia gamy dostępnych opóźnień milisekundowych. System opiera się bowiem na zapalnikach wewnątrztorowych o czasach opóźnień od 400 do 500 ms (w interwale 25 ms). Zapalniki o określonym, stałym opóźnieniu (np. 500 ms) łączone są na powierzchni za pomocą konektorów powierzchniowych dostępnych w ośmiu wariantach: 0 ms, 17 ms, 25 ms, 42 ms, 67 ms, 109 ms, 176 ms i 285 ms, co pozwala na swobodne projektowanie i sporządzanie (oraz ewentualne zmiany) sieci strzałowej właśnie na powierzchni, z pominięciem opóźnień zapalników wewnątrztorowych (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Opóźnienie wyjściowe (Nonel)



Rys. 2. Opóźnienie końcowe (Nonel)

Tak szeroki, w stosunku do systemów klasycznych, wachlarz dostępnych opóźnień wpływa zatem na poszerzenie możliwości projektowania strzelań wieloszeregowych. W przypadku kopalni „Bełchatów” był i jest to podstawowy sposób rozmieszczania otworów strzałowych, co — obok aspektu poprawy bezpieczeństwa — zadecydowało o wdrożeniu systemu *Nonel Unidet* w połowie roku 2000.

Zastosowanie systemu *Nonel* w niedługim czasie zaowocowało obniżeniem kosztów, poprawą efektywności oraz wzrostem stopnia bezpieczeństwa szeroko pojętych robót strzałowych, głównie za sprawą:

- wyeliminowania zagrożeń od prądów błądzących, szczególnie uciążliwych z uwagi na wykorzystanie energii elektrycznej we wszelkich pracach związanych z utrzymaniem ciągłości ruchu zakładu górniczego (zasilanie ze stacji 110/30 kV, 30/6 kV);
- zmniejszenia zagrożeń od bodźców mechanicznych, dzięki zastosowaniu zapalników typu *NPED*, które nie zawierają ładunku pierwotnego MW w części spłonkowej;
- zwiększenia stopnia wykorzystania energii detonacji MW, dzięki uzyskaniu pewności inicjowania od dna otworu;
- zwiększenia stopnia równomierności rozdrobnienia mas, a tym samym ograniczenia konieczności wykonywania strzelań rozszczepkowych;
- poprawy wydajności wielonaczyniowych koparek kołowych urabiających partie utworów trudnourabialnych rozluźnianych techniką strzelniczą, na skutek zmniejszenia drgań wysięgników organów urabiających oraz zmniejszenia zużycia narzędzi skrawających (czerpaków) koparek;
- obniżenia ogólnego kosztu robót strzałowych poprzez obniżenie kosztu udziału środków inicjujących z 16 do 10% w ogólnym koszcie robót strzałowych;
- poszerzenia zakresu dostępnych opóźnień międzystrzałowych, a tym samym poszerzenia wachlarza możliwości optymalizacji czasów powstawania dodatkowych powierzchni odsłonięcia, tak istotnych w warunkach kopalni „Bełchatów”, nie tyle preferującej, co skazanej na strzelanie przy jednej powierzchni odsłonięcia;
- optymalizacja opóźnień międzystrzałowych w zadanych warunkach geologicznych, przede wszystkim w aspekcie oddziaływania drgań parasejsmicznych na obiekty kopalniane oraz obiekty znajdujące się w bezpośredniej bliskości kopalni. Optymalizacja ta dotyczy zakresu dostępnych w systemach nieelektrycznych opóźnień międzystrzałowych oraz standardowej precyzji pojedynczego zapalnika pirotechnicznego.

Wprowadzenie systemu nieelektrycznego wpłynęło zatem w zasadniczy sposób na poprawę praktycznie wszystkich aspektów prowadzenia robót strzałowych w kopalni „Bełchatów”. Nie oznacza to jednak, że proces optymalizacji oraz poprawy bezpieczeństwa robót strzałowych kończy się na systemach nieelektrycznych. Systemy te, obok niezaprzeczalnych zalet, posiadają niestety także pewnego rodzaju ograniczenia, wynikające bezpośrednio z ich konstrukcji. Jak wiadomo, opierają się one na zapalnikach pirotechnicznych, w któ-

rych wykorzystuje się substancje o określonym czasie spalania, dzięki czemu — stosując ścieżkę o odpowiedniej recepturze i długości — teoretycznie uzyskuje się zakładane czasy opóźnień. Precyzja tak produkowanych zapalników szacowana jest na poziomie  $\pm 1\%$ . W praktyce — na skutek np. zbyt długiego okresu składowania lub działania innych niekorzystnych czynników zewnętrznych — zaburzenie precyzji może wynieść nawet  $\pm 5\%$ . Fakt ten, w przypadku jego zaistnienia, może nieść ze sobą poważne zagrożenia dla bezpieczeństwa oraz efektywności robót strzałowych szczególnie tam, gdzie prowadzi się strzelania wieloszeregowo, tak jak to ma miejsce w przypadku kopalni „Bełchatów”. O ile 5-procentowe zaburzenie precyzji może mieć jedynie charakter marginalny, o tyle precyzja  $\pm 1\%$  jest traktowana jako standard, stąd nie może być pomijana już na etapie projektowania robót strzałowych.

Projektowanie strzelań wieloszeregowych nie jest bowiem rzeczą łatwą i wymaga od inżyniera strzałowego nie tylko wiedzy teoretycznej, ale przede wszystkim doświadczenia i przysłowiowego „nosa”. Fakt ten nabiera szczególnego znaczenia w przypadku strzelań wieloszeregowych z włodem środkowym, nie wspominając o coraz częściej stosowanej konstrukcji tzw. ładunku dzielonego. Stosując system nieelektryczny częstokroć trzeba wręcz uciekać się do swoistego rodzaju wybiegów polegających np. na stosowaniu dwóch konektorów powierzchniowych przypisanych do pojedynczego otworu strzałowego czy stosowania różno- lub jednoimiennych zapalników w poszczególnych częściach otworu podłączonych do jednego lub dwóch konektorów powierzchniowych. Istnieją także inne metody nadrobienia braku pośrednich czasów opóźnień zarówno w przypadku zapalników wewnętrznotworowych, jak i powierzchniowych, niemniej jednak działania te zawsze mają na celu zaprojektowanie takiej siatki strzałowej, która spełnia wymogi niepisanej, ale funkcjonującej w świadomości inżynierów strzałowych „reguły 8 ms”. Polega ona na odpalaniu poszczególnych ładunków w interwale nie mniejszym niż wspomniane 8 ms. Ograniczona do  $\pm 1\%$  precyzja zapalników nieelektrycznych tego zadania w żadnym wypadku nie ułatwia. Jej istnienie oznacza bowiem możliwość nie tylko nakładania się opóźnień, ale również niekontrolowanego, samoistnego przeprojektowania się siatki strzałowej [2, 3].

Kolejną istotną niedogodnością systemów nieelektrycznych jest brak rzeczywistej kontroli nad prawidłowością działania systemu, w tym podstawowego jego elementu, jakim jest zapalnik. Nie istnieje metoda, która pozwoliłaby na sprawdzenie poprawności działania np. pojedynczego zapalnika lub ciągłości ścieżki nasyłonego *MW* w rurce detonującej.

Przytoczone tu niedoskonałości systemu nieelektrycznego przy strzelaniu wieloszeregowym, ale nie tylko, w pełni niwelują systemy elektroniczne, w tym system elektroniczny typu i-kon, którego precyzja gwarantuje poprawność odpalania pojedynczych ładunków w zaprojektowanych czasach. Dodatkowo, system ten znacząco poszerza zakres możliwości doboru opóźnień milisekundowych, dzięki programowalności pojedynczego zapalnika w interwale 1 ms oraz umożliwia kontrolę nad prawidłowością działania poszczególnych elementów systemu, a to za sprawą pełnej komunikacji dwukierunkowej pomiędzy zapalnikiem elektronicznym a urządzeniami peryferyjnymi wykorzystywanymi w robotach strzałowych z użyciem systemu i-kon.

### 3. Krótka charakterystyka systemu elektronicznego typu i-kon

System i-kon opiera się na trzech podstawowych elementach, którymi są: zapalnik i-kon, urządzenie logujące Logger i zapalarka Blaster [4]. Sercem systemu jest w pełni programowalny zapalnik (rys. 3), któremu można nadawać opóźnienia w zakresie od 0 do 15000 ms, w interwale 1 ms.



**Rys. 3.** Zapalnik elektroniczny i-kon

Cechą charakterystyczną zapalnika elektronicznego jest nieosiągalna w zapalnikach pirotechnicznych dokładność, która w zakresie opóźnień od 0 do 500 ms zawiera się w przedziale  $\pm 0,05$  ms, natomiast w przedziale powyżej 500 ms dokładność ta określana jest przez producenta na poziomie  $\pm 0,01\%$ . Zapalnik elektroniczny typu i-kon posiada unikalny kod identyfikacyjny, który jest rozpoznawany przez urządzenie logujące Logger (rys. 4). Urządzenie to umożliwia edycję (logowanie) zapalnika, przechowywanie w pamięci przypisanego danemu zapalnikowi opóźnienia oraz — w miarę potrzeb — swobodną jego reedycję. Logger sam w sobie nie posiada wbudowanej funkcji uzbrajania zapalnika, czy jego odpalania. Jest jedynie pośrednikiem w tej operacji, za którą odpowiada Zapalarka typu Blaster (rys. 5). Samo odpalenie zapalnika elektronicznego typu i-kon jest możliwe tylko i wyłącznie dzięki dostarczeniu do zapalnika odpowiednio wygenerowanego sygnału cyfrowego (tzw. kodu aktywacyjnego) i prądu odpalającego.

Oba urządzenia, zarówno Logger, jak i Blaster, posiadają funkcję stałego monitorowania obwodu, w celu zapewnienia bezpiecznych i efektywnych warunków odpalania. Najprostsza wersja zapalarki umożliwia odpalenie do 400 zapalników, podłączonych do dwóch Loggerów, gdzie każdym z Loggerów można zalogować do 200 zapalników.



**Rys. 4.** Urządzenie logujące typu Logger



**Rys. 5.** Zapalarka typu Blaster 400

Po odpaleniu serii istnieje możliwość pełnego udokumentowania odstrzału, gdyż każde z urządzeń peryferyjnych posiada funkcję wydruku istotnych z punktu widzenia użytkownika danych, związanych np. z zastosowanymi opóźnieniami milisekundowymi (Logger) czy potwierdzeniem odpalenia poszczególnych zapalników (Blaster). System elektronicznej inicjacji typu i-kon charakteryzuje się zatem nie tylko wysoką precyzją uzyskiwanych opóźnień, ale także zwiększonym w stosunku do systemów nieelektrycznych stopniem bezpieczeństwa. Dodatkowo jest w pełni odporny na działanie zewnętrznych źródeł energii elektrycznej, w tym prądów błądzących czy elektryczności statycznej. Umożliwia — niespotykaną przy systemach nieelektrycznych — pełną kontrolę poprawności wykonania obwodu strzałowego i pewności odpalenia poszczególnych zapalników, co czyni z niego nie tylko proste w obsłudze, ale przede wszystkim bezpieczne, niezawodne i elastyczne narzędzie w procesie urabiania złóż z zastosowaniem MW.

#### **4. Zastosowanie systemu elektronicznego typu i-kon w kopalni „Belchatów”**

Niedogodności systemu nieelektrycznego, podyktowane ograniczeniami natury technicznej, objawiają się w szczególności w przypadku strzelań wieloszeregowych. Ten schemat rozmieszczania otworów strzałowych jest schematem wiodącym w kopalni „Belchatów”, przy czym — w przeciwieństwie do kopalń surowców skalnych — ma on często charakter nieregularny. Wynika to przede wszystkim z faktu odpalania ładunków MW przy jednej powierzchni odslonięcia oraz urabianiem kolejnych, sąsiadujących ze sobą pól strzałowych, bez wcześniejszego wybrania urobku pochodzącego z wcześniej odpalonych serii otworów. Nieregularność rozmieszczenia otworów strzałowych może z kolei wpływać na

piętrzenie się problemów związanych z szeroko rozumianą optymalizacją robót wiertniczo-strzałowych w odniesieniu do warunków lokalizacyjnych danej serii otworów strzałowych (np. w bezpośredniej bliskości skarp).

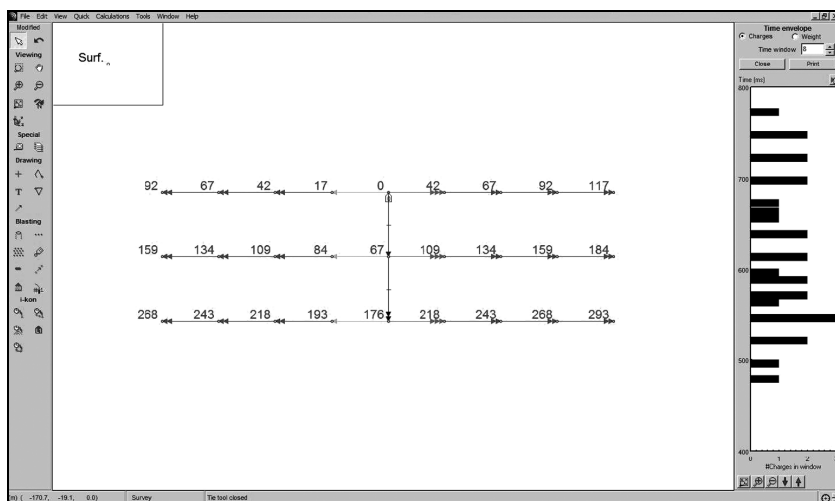
Roboty strzałowe prowadzone przy jednej powierzchni odsłonięcia wymuszają takie rozmieszczenie opóźnień milisekundowych, aby możliwe było świadome i precyzyjne ukierunkowanie przemieszczanych mas skalnych. Kierunkowość przemieszczania mas ma bowiem podstawowe znaczenie tak ze względów bezpieczeństwa, jak i względów technicznych (ruchowych). W przeważającej większości odpalane serie otworów strzałowych znajdują się w bezpośredniej bliskości przenośników taśmowych lub skarp wyrobiska, a przylegają do wcześniej odpalonych, a niewybranych pól strzałowych. Wymusza to zastosowanie takiego rozkładu opóźnień międzysrzalowych, który zagwarantuje, że nie wystąpi żaden z poniżej wymienionych, niepożądanych scenariuszy:

- zasypanie sąsiadujących, jeszcze nieurobionych pól strzałowych (co wymagałoby dodatkowych prac porządkowych z użyciem spycharek);
- zasypanie urobkiem przenośnika taśmowego (nawet wskutek nadmiernego, niekontrolowanego rozrzutu odłamków);
- nadmierne nagromadzenie urobku w rejonach bezpośredniej bliskości skarp.

W praktyce sprowadza się to do uzyskania takiego kształtu usypu, który wyraźnie zaznaczy swe odsunięcie od poszczególnych powierzchni sąsiadujących. Taki sposób przymowania urobku, będącego następstwem właściwego ukierunkowania mas skalnych, uzyskuje się stosując włom środkowy. Jak wspomniano w punkcie 2 projektowanie sieci strzałowych zakładających włom środkowy, a opartych na zapalnikach nieelektrycznych stwarza szereg określonych trudności, szczególnie w aspekcie chęci (lub też konieczności) zachowania „reguły 8 ms”. Możliwość nakładania się opóźnień milisekundowych w tak zdefiniowanym oknie czasowym, przy tak założonym punkcie inicjacji (włom środkowy) jest istotnym zagrożeniem dla poprawności wykonania robót strzałowych. Dodatkową trudnością, szczególnie w przypadku siatek nieregularnych, jest w takiej sytuacji czasochłonne (tzn. ręczne) przeliczanie teoretycznych czasów odpalania poszczególnych ładunków MW. Zarówno jedną, jak i drugą niedogodność można zniwelować stosując zapalniki elektroniczne o wysokiej precyzji uzyskiwanych opóźnień ( $\pm 0,01\%$ ) i szerokiej gamie programowalności ( $0 \div 15\,000$  ms; w interwale 1 ms), którym z kolei można w łatwy sposób przypisać dowolne czasy odpalenia, a następnie sprawdzić ich poprawność dzięki możliwości projektowania robót strzałowych z wykorzystaniem oprogramowania wspomagającego ShotPlus-i. Oba te narzędzia — zapalniki elektroniczne oraz software wspomagający — ułatwiają bowiem swobodne projektowanie wszelkich robót strzałowych długimi otworami z możliwością pełnej wizualizacji odstrzału, a dodatkowo pozwalają na sprawdzenie poprawności doboru opóźnień pod kątem ich potencjalnego nałożenia się. Jest to tzw. koperta czasowa.

Na rysunku 6 przedstawiono przykładową, błędnie zaprojektowaną sieć strzałową systemem nieelektrycznym z włomem środkowym wraz z kopertą czasową, dla której tzw. okno czasowe w tym konkretnym przypadku wynosi 8 ms.

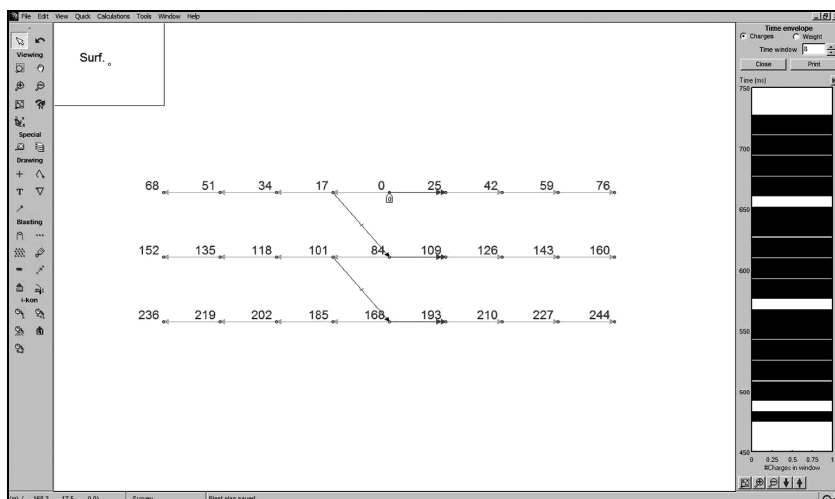




**Rys. 6.** Błędne dobranie opóźnień milisekundowych w systemie nieelektrycznym

Jak widać z analizy koperty czasowej takie zaprojektowanie sieci strzałowej skutkuje 8 przypadkami podwójnego oraz 1 przypadkiem nawet potrójnego nałożenia się opóźnień milisekundowych.

Z kolei na rysunku 7 zobrazowano prawidłowo zaprojektowaną sieć strzałową, w przypadku której nie dochodzi do nakładania się opóźnień, zachowana jest „reguła 8 ms”, a sekwencja odpalania to trzykrotnie następujący po sobie układ: 17–8–9–8–9–8–9–8 ms.



**Rys. 7.** Prawidłowo zaprojektowany rozkład opóźnień milisekundowych w systemie nieelektrycznym

Zaprezentowany powyżej schemat jest jednak — z uwagi na zastosowanie zapalników nieelektrycznych — obciążony błędem, wynikającym z ograniczonej precyzji zapalników pirotechnicznych, co w praktyce doprowadzić może do samoistnego przeprojektowania sieci strzałowej. W tabeli 1 przedstawiono jeden z potencjalnych scenariuszy wpływu precyzji zapalników pirotechnicznych. Jak widać, „reguła 8 ms” przestaje funkcjonować, natomiast sekwencja odpalania staje się zupełnie zaburzonym ciągiem liczb.

Można zatem pokusić się o stwierdzenie, że zaprojektowanie robót strzałowych z największą nawet starannością może — w przypadku zapalników pirotechnicznych — skutkować zupełnie niespodziewanym efektem odstrzału, związanym z możliwością samoistnego przeprojektowania planowanych opóźnień międzystrzałowych. Rezultatem tego może z kolei być odchylenie planowanego kierunku przemieszczania mas skalnych (w zakresie kilku lub kilkunastu stopni) oraz nakładanie się opóźnień milisekundowych, co w bezpośredni sposób zagraża szeroko rozumianemu bezpieczeństwu prowadzenia robót wiertniczo-strzałowych, zarówno w aspekcie ochrony załogi, maszyn i urządzeń zakładu górniczego (rozrzut odłamków skalnych), jak i ochrony obiektów znajdujących się w bezpośredniej bliskości kopalni (drżania parasejsmiczne). Sytuacja ta dotyczy wszystkich zakładów urabiających złoża lub kopaliny im towarzyszące z zastosowaniem materiałów wybuchowych, w tym również kopalni „Bełchatów”.

Fakt możliwości nakładania się opóźnień milisekundowych wynikający z ograniczonej precyzji zapalników pirotechnicznych nasila się przy projektowaniu strzelań z włodem środkowym, który przecież — jak wspomniano — jest jednak najbardziej korzystnym schematem z punktu widzenia efektywności urabiania w warunkach kopalni „Bełchatów”. Jego stosowanie nie było jednak dotychczas zalecane, co w skrajnych przypadkach mogło prowadzić do uzyskiwania niepożądanych efektów odstrzałów, w szczególności nadmierne nagromadzenie urobku w rejonach bezpośredniej bliskości skarp czy zasypiania sąsiadujących — jeszcze nierozluzowanych materiałem wybuchowym — pól strzałowych.

Stosowanie włomu bocznego pozwalało i pozwala natomiast na przeciwdziałanie szkodliwemu oddziaływaniu robót strzałowych na stateczność skarp wyrobiska oraz ochronę wysadu solnego, znajdującego się pomiędzy dwoma eksploatowanymi wyrobiskami odkrywkowymi (Bełchatów i Szczerców), czego — w przypadku pirotechnicznych systemów nieelektrycznych — nie jest w stanie zagwarantować włom środkowy. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wysadu solnego, którego naruszenie mogłoby wręcz skutkować katastrofą ekologiczną na znacznym obszarze otaczającym kopalnię (zasolenie wód).

Tymczasem postęp i kierunek frontów eksploatacyjnych sprawia, że w najbliższym okresie nastąpi intensyfikacja robót strzałowych w coraz bliższej odległości od wysadu solnego, stąd problematyka jego ochrony stanie się ważnym zadaniem służb strzałowych kopalni.

Można założyć, że wykonywanie robót strzałowych w bezpośredniej bliskości wysadu wymagać będzie opracowania nowej technologii, co z kolei może się wiązać z koniecznością zastosowania systemów inicjujących o wysokiej precyzji, którymi na dzień dzisiejszy są systemy elektroniczne.

**TABELA 1**  
**Potencjalny scenariusz przeprojektowania czasów opóźnień przy zastosowaniu zapalników pirotechnicznych**

| Szeregi otworów        | Numer kolejny otworu                                          |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|---------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        | 1                                                             | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| Szereg A               |                                                               |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Czas nominalny         | 568                                                           | 551 | 534 | 517 | 500 | 525 | 542 | 559 | 576 |
| Według scenariusza     | 573                                                           | 556 | 529 | 522 | 495 | 530 | 537 | 564 | 571 |
| Szereg B               | 1                                                             | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| Czas nominalny         | 652                                                           | 635 | 618 | 601 | 584 | 609 | 626 | 643 | 660 |
| Według scenariusza     | 657                                                           | 629 | 622 | 595 | 578 | 613 | 620 | 637 | 664 |
| Szereg C               | 1                                                             | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| Czas nominalny         | 736                                                           | 719 | 702 | 685 | 668 | 693 | 710 | 727 | 744 |
| Według scenariusza     | 735                                                           | 713 | 706 | 679 | 661 | 696 | 708 | 720 | 747 |
| Sekwencja projektowana | 17-8-9-8-9-8-8-17-8-9-8-9-8-8-17-8-9-8-9-8-8-8                |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Sekwencja potencjalna  | 27-7-1-7-19-8-7-2-5-17-18-7-2-7-8-20-4-3-15-17-10-2-5-7-15-12 |     |     |     |     |     |     |     |     |

Ich precyzja oraz nieograniczony wachlarz programowania zapalników w interwale 1 ms gwarantują bowiem możliwość idealnego dopasowania opóźnień milisekundowych do zadanych warunków górniczo-geologicznych, zapobiegając tym samym powstaniu negatywnego oddziaływania na obiekty chronione, do jakich w tym przypadku bez wątpienia zaliczyć można wysad solny.

Szeroki zakres programowania zapalników elektronicznych to jednocześnie również szeroki zakres możliwości optymalizacji opóźnień milisekundowych. Oznacza to, że proces ten wymaga przeprowadzenia szeregu strzelań próbnych, pozwalających na wypracowanie określonych schematów jeszcze w warunkach określanych mianem bezpiecznych, nawet z możliwością nietrafnego doboru opóźnień do zadanych warunków górniczo-geologicznych. Takie działania profilaktyczne podjęto w kopalni „Bełchatów” wiosną 2010 roku, rozpoczynając tym samym proces optymalizacji robót strzałowych z zastosowaniem systemu elektronicznego typu i-kon.

Projektowanie robót strzałowych prowadzono z wykorzystaniem oprogramowania wspomagającego ShotPlus-i, które jest w pełni kompatybilne z urządzeniami peryferyjnymi systemu i-kon, dzięki czemu zaprojektowane czasy opóźnień przenoszono bezpośrednio do Loggera. To z kolei nie tylko ułatwiało, ale i wymiennie skracało czas logowania zapalników, którym czasy opóźnień były przypisywane automatycznie tuż po wpięciu ich do sieci strzałowej.

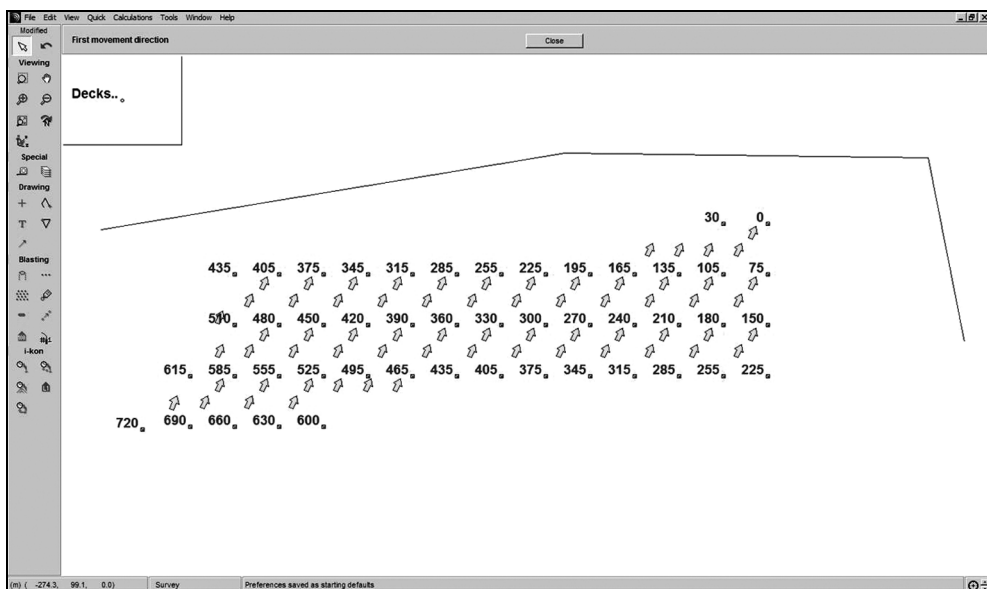
Zastosowanie oprogramowania wspomagającego pozwalało także na wizualizację kierunku przemieszczania mas w zależności od zastosowanych opóźnień, usytuowania otworu włomowego oraz zastosowanego schematu (włom boczny lub środkowy).

Ponadto każda ewentualna zmiana czasów opóźnień pomiędzy otworami lub szeregiem otworów monitorowana była za pomocą koperty czasowej, pozwalającej na wyeliminowanie potencjalnych błędów, mogących w rezultacie skutkować nakładaniem się opóźnień. Te funkcje programu ShotPlus-i pozwalały zatem na pełną kontrolę robót strzałowych zarówno pod kątem obiektów, maszyn czy urządzeń znajdujących się w bezpośredniej bliskości odpalanych serii (np. taśmociągi), jak i obiektów chronionych znajdujących się poza obrębem kopalni (obiekty budowlane itd.).

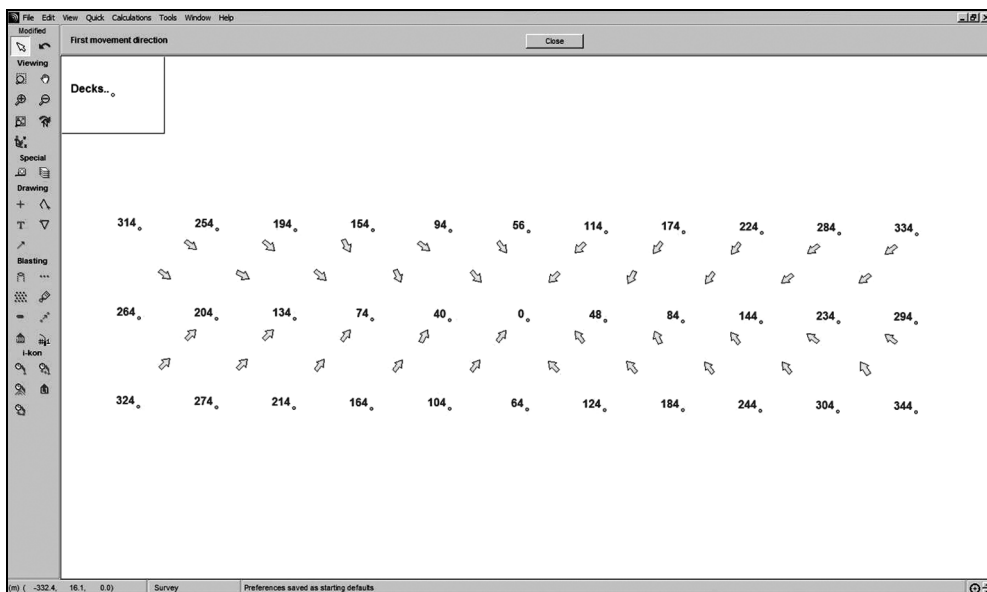
Przykładowe schematy zaprojektowanych sieci strzałowych dla odpalania ładunków z zastosowaniem włomu bocznego i środkowego przedstawiono odpowiednio na rysunkach 8 i 9.

W wyniku przeprowadzonych strzelań potwierdzono podstawowe zalety systemu elektronicznego, w tym:

- prostotę obsługi,
- pełną kontrolę nad poprawnością działania systemu,
- elastyczność systemu oraz swobodę projektowania skomplikowanych schematów,
- precyzję zapalników i jej wpływ na możliwości ukierunkowania oraz równomierność rozdrobnienia urabianych mas skalnych.



**Rys. 8.** Przykładowy schemat sieci strzałowej z włómem bocznym (system i-kon)



**Rys. 9.** Przykładowy schemat sieci strzałowej z włómem środkowym (system i-kon)

Spśród wyżej wymienionych korzyści zastosowania zapalników elektronicznych szczególnie podkreślić należy możliwość ukierunkowywania mas skalnych oraz swobodne pro-

jektowanie strzelań z włómem środkowym, które przyniosło zakładane efekty technologiczne. Dzięki zastosowaniu włomu środkowego uzyskano efekt przymowania prawidłowo rozdrobnionego urobku (rys. 10) z jednoczesnym wyraźnym odseparowaniem go od rejonów przyległych (np. jeszcze nieurobione pola strzałowe).



**Rys. 10.** Efekt odstrzału (włom środkowy)

W przypadku włomu bocznego, przy sterowaniu opóźnieniami milisekundowymi, udało się zoptymalizować — w porównaniu do systemu nieelektrycznego — efekt przemieszczenia urobionych mas skalnych w projektowanym kierunku (rys. 11).



**Rys. 11.** Efekt odstrzału (włom boczny)

Uzyskane na tym etapie efekty technologiczne zastosowania zapalników elektronicznych w kopalni „Bełchatów” są obiecujące. Proces optymalizacji robót strzałowych z pewnością nie jest jeszcze zakończony, a to głównie za sprawą szerokiego zakresu programowalności zapalników. Dodatkowo efekty technologiczne muszą zostać poparte badaniami oddziaływania drgań parasejsmicznych na otoczenie. To z kolei pozwoli na dobranie prawidłowego, bardzo precyzyjnego opóźnienia milisekundowego (czy nawet kilku jego wariantów) w perspektywie eksploatacji utworów trudnourabialnych w rejonie bezpośredniej bliskości wysadu solnego. Można jednak założyć, że już uzyskane efekty technologiczne mogą otworzyć drogę ku szerokiemu stosowaniu zapalników elektronicznych także w „codziennych” robotach strzałowych.

Systemy nieelektryczne, takie jak Nonel Unidet, wprowadzone do użytku przed wieloma laty pozwoliły wielu zakładom górniczym — w tym kopalni „Bełchatów” — na optymalizację parametrów robót strzałowych w stosunku do systemów klasycznych. Jak wspomniano systemy nieelektryczne posiadają jednak określone ograniczenia konstrukcyjne, które spowodowały, że siłą rzeczy na rynek trafić musiały systemy bardziej zaawansowane, jakimi są systemy elektroniczne, w tym system i-kon. Oferując bardzo precyzyjne opóźnienia, szeroki zakres programowalności zapalników oraz pełną kontrolę nad całością robót strzałowych, stają się ważnym narzędziem w rękach inżynierów strzałowych. To narzędzie — umiejętnie stosowane — może w krótkim czasie zrewolucjonizować wykonywanie robót strzałowych we wszystkich zakładach górniczych, wypierając z czasem systemy nieelektryczne. Wówczas można będzie śmiało pokusić się o stwierdzenie, że historia zatoczyła koło, tak jak miało to miejsce przed kilkunastoma laty, gdy — droższe, ale zdecydowanie bardziej bezpieczne i elastyczne systemy nieelektryczne wyparły systemy klasyczne, oparte na zapalnikach elektrycznych i lonce detonującym.

#### LITERATURA:

- [1] *Prędko S.*: Uwarunkowania technologiczne i ekonomiczne wprowadzenia systemu Nonel do inicjowania ładunków MW w robotach strzałowych prowadzonych w KWB Bełchatów SA. AGH, WGiG, Kraków, 2001 (praca magisterska)
- [2] *Prędko S., Rajczakowski G.*: Projektowanie robót strzałowych z zastosowaniem elektronicznego systemu inicjowania typu i-kon oraz oprogramowania wspomagającego ShotPlus, Prace Naukowe Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej, Seria: Studia i Materiały, Wrocław, 2009
- [3] *Prędko S.*: Praktyczne zastosowanie wybranych systemów elektronicznej inicjacji MW, Prace Naukowe Instytutu Górniczego Politechniki Wrocławskiej, Seria: Studia i Materiały, Wrocław, 2010
- [4] System i-kon, Materiały szkoleniowe i techniczne firmy Orica