

Nowoczesne rozwiązania techniczne firmy Orica, stosowane w technice strzałowej na przykładzie kopalni złota Kumtor (Kirgistan)

Modern technical solution of Orica company, blasting technique used upon an example of a gold mine Kumtor (Kyrgyzstan)

Tomasz Żołądek

ORICA Poland Sp. z o. o., ul. Kościuszki 16/4, 50-030 Wrocław, PL

E-mail: tomasz.zoladek@orica.com

***Streszczenie:** Przedstawione opracowanie jest związane z zastosowaniem nowoczesnych narzędzi informatycznych wspomagających projektowanie oraz opisano wykonanie robót strzałowych w jednej z największych odkrywkowych kopalni złota na świecie Kumtor w Kirgistanie. W artykule przedstawiono skalę eksploatacji oraz najnowsze elektroniczne systemy inicjowania.*

***Abstract:** Presented work is concerned with applying of modern informatic tools supporting processes of designing and it describes execution of blasting works in Kumtor mine in Kyrgyzstan. Kumtor mine is one of the biggest open pit gold mines in the world. In this paper, exploitation scale and up-to-date electronic initiation systems have been presented.*

Słowa kluczowe: zapalniki elektroniczne, zapalniki nieelektryczne, systemy inicjowania

Keywords: electronic detonators, non-electric detonators, explosives initiation systems

1. Wprowadzenie

Od kilkunastu lat wiodącym kierunkiem rozwoju w technice strzałowej, jest wdrażanie coraz bardziej nowoczesnych rozwiązań technologicznych w zakresie projektowania, oraz wykonywania robót strzałowych. Zastosowanie nowoczesnych narzędzi informatycznych w połączeniu z elektronicznymi systemami inicjowania materiałów wybuchowych (MW) w praktyce pozwala na optymalizację procesów urabiania skał z zastosowaniem techniki strzelniczej. Procesy te związane są przede wszystkim z minimalizacją niekorzystnych oddziaływań prowadzonych robót, poprzez większe możliwości doboru szeregu parametrów odstrzału, oraz właściwej ich analizy i kontroli na każdym etapie powadzenia robót. Możliwości bardziej precyzyjnego skorelowania parametrów strzelania z właściwościami fizyko-mechanicznymi urabianych skał pozwalają na bezpieczniejsze prowadzenie eksploatacji oraz poprawę wskaźników ekonomicznych procesów wydobywania [1].

Firma Orica jako światowy lider w produkcji i sprzedaży wszystkich rodzajów zapalników stosowanych w pracach z zastosowaniem MW, posiada w swoim dorobku także osiągnięcia w zakresie opracowania programów komputerowych wspomagających projektowanie, przeprowadzanie oraz analizę strzałów dla poszczególnych rodzajów eksploatacji złóż, oraz specjalistycznych robót z wykorzystaniem techniki strzałowej takich jak makroniwelacja terenu przy budowach szlaków komunikacyjnych czy też podczas wyburzania obiektów budowlanych [2]. Od blisko dwudziestu lat bazując na doświadczeniach kadry inżynierskiej pracującej we wszystkich rejonach świata firma Orica stale pracuje nad udoskonalaniem swojej oferty czego przykładem są nowe wersje zapalników elektronicznych I-kon II, Unitronic 600, czy Edev II. Jak również programów komputerowych wspomagających projektowanie robót strzałowych takich jak ShotPlus 5, ShotPlus Tunneling, czy ShotPlus Underground.

Bardzo dobrym przykładem na stosowanie wyżej wymienionych narzędzi jest kopalnia złota Kumtor znajdująca się w Republice Kirgistanu, w której to firma Orica świadczy usługi dostaw MW oraz środków strzałowych, jak również wsparcia technicznego w zakresie stosowania nowoczesnych rozwiązań technologicznych w szeroko pojętej technice strzelniczej.

2. Prezentacja kopalni Kumtor

Kopalnia złota „Kumtor Gold Mine” znajduje się w Azji Środkowej w Republice Kirgistanu, w obwodzie Issyk-Kulskim, w odległości od 350 km na południowy wschód od stolicy Biszkeku i 80 km na południe od jeziora Issyk-Kul i jest własnością kanadyjskiej firmy Centerra Gold. Jest to jedna z najwyżżej położonych kopalni świata - leży w górach Tien-Szan na wysokości ponad 4000 m n.p.m. oraz stanowi największą kopalnię złota w Azji Środkowej (rys. 1). Kumtor legitymuje się drugim najlepszym wynikiem wydobycia złota na świecie, po kopalni złota Yanacocha w Peru.

Od początku funkcjonowania, czyli od 1997 roku, do końca 2012 roku kopalnia wyprodukowała ponad 8,6 milionów uncji złota, zatrudniając w chwili obecnej blisko 3500 pracowników. O tym jakie znaczenie dla gospodarki Kirgistanu ma omawiane przedsięwzięcie świadczy fakt, że działalność kopalni to 10% PKB, oraz 46% całej produkcji przemysłowej kraju.



Rys. 1. Kopalnia złota Kumtor

2.1. Stosowane technologie oraz wielkości wydobycia

Eksploracja prowadzona jest w wyrobisku stokowo-wgłębnym, wielopoziomowym systemem ścianowym z równoległym postępowaniem frontów eksploatacyjnych jednocześnie na kilku poziomach, których wysokość wynosi do 12 m (rys. 2). Masy skalne urabiane są poprzez zastosowanie robót wiertniczo-strzałowych. Nadkład usuwany jest przez koparki przedsiębierne i następnie wywożony jest na zwałowisko zewnętrzne transportem kołowym, pojazdami technologicznymi CAT 789C i D, o pojemności skrzyni ładunkowej 128 ton. Otrzymana złotonośna ruda przewożona jest do zakładu kruszenia wstępnego, skąd trafia przenośnikiem taśmowym na młyny i po odpowiednim rozdrobieniu do huty, gdzie poddawana jest procesowi flotacji.



Rys. 2. Transport urobku z wyrobiska

W procesie eksploatacji złoża kluczową rolę odgrywa prowadzenie robót strzałowych. Roboty wiertniczo-strzałowe stanowią pierwszy etap rozdrabniania i przeróbki kopaliny. Działania te determinują kolejne etapy przeróbki rudy i wpływają na całość procesu eksploatacji złoża. Zatem energia i nakłady poświęcone na tym etapie prac, procentują w dalszym procesie i w skali tak wielkiego pozyskiwania surowca wpływają bezpośrednio na całość kosztów wydobywania. Jakość ich wykonania bezpośrednio rzutuje na ostateczne wyniki ekonomiczne funkcjonowania kopalni. Roboty strzałowe ze względu na duże deniwelacje terenu i ilość poziomów eksploatacyjnych, wymagają zachowania bezpieczeństwa stateczności skarp i zboczy. Dlatego niezmiernie ważnym jest aby roboty strzałowe wykonywane były z możliwie największą precyzją, a takie możliwości daje zastosowanie najwyższej jakości środków strzałowych oraz projektowania i w końcu już samego przeprowadzania robót strzałowych, dzięki czemu jest możliwe ograniczenie do minimum występowania negatywnych oddziaływań mających wpływ na stateczność skarp i zboczy zachowując jednocześnie wysoką jakość oraz bezpieczeństwo prowadzonych robót [3]. Dzięki zastosowaniu wszystkich wyżej wymienionych czynników możliwe jest także prowadzenie selektywnego urabiania złoża, czyli nie dopuszczania do nadmiernego mieszania się skał, płonnej oraz zawierającej rudę w procesie eksploatacji, co ma znaczący wpływ na wynik ekonomiczny.

Miesięczny budżet produkcyjny kopalni zakłada wyprodukowanie:

25 tys. uncji złota/miesiąc.

Aby zrealizować założenia produkcyjne budżetu należy urobić metodą strzałową:

15 mln ton skał/miesiąc.

Zrealizowanie założenia budżetowego wymaga zużycia, średnio:

- **7000 szt.** zapalników elektronicznych,
- **8000 szt.** zapalników nieelektrycznych,
- **1 500 000 kg** MW typu ANFO,
- **2 000 000 kg** MW emulsyjnych (MWE),
- **3 600 000 kg** MW.

Powstaje przy tym **15 000** otworów strzałowych o łącznej długości **160 000 m**.

Położenie kopalni Kumtor, oraz jej wielkości produkcyjne wykluczają możliwość zaopatrywania jej w systemie dostaw gotowych MW (średnie dzienne zużycie to 120 ton MW). Aby sprostać tak dużemu zapotrzebowaniu niezbędnym było wybudowanie na terenie kopalni układów technologicznych do produkcji matrycy MWE, jak również wszystkich niezbędnych obiektów i urządzeń do przechowywania oraz produkowania MW typu ANFO.

3. Projektowanie robót strzałowych

Urabianie mas skalnych w kopalni wykonywane jest poprzez wykorzystanie metody strzelania długimi otworami pionowymi, oraz odchylonymi od pionu. Średnice stosowanych otworów wynoszą od 200 mm do 250 mm. Serie otworów strzałowych ładowane są przy użyciu specjalistycznych mechanicznych jednostek załadowniczych. Średnie wielkości serii otworów strzałowych odpalanych każdego dnia to:

- 500 otworów strzałowych,
- 500 zapalników i ładunków udarowych,
- 120 ton MW,
- 500 000 ton urobionych mas skalnych.

W kopalni stosowane są dwa systemy inicjowania otworów strzałowych, nieelektryczny system Exel, oraz elektroniczny system I-kon II [2]. Zastosowanie danego systemu w poszczególnych rejonach wyrobiska uwarunkowane jest czynnikami, które mają bezpośredni wpływ na jakość oraz bezpieczeństwo prowadzonych robót.

We wszystkich miejscach gdzie należy do minimum ograniczyć niekorzystne oddziaływanie strzelań, przede wszystkim na stateczność skarp i zboczy, oraz tam gdzie występuje potrzeba przeprowadzenia tak zwanego urabiania selektywnego stosowane są elektroniczne zapalniki Ikon-II. Wysoka precyzja programowanych czasów opóźnień milisekundowych (granica błędu $\pm 0,005\%$), pozwala zagwarantować zgodność odpalenia pojedynczych ładunków, zgodnie z zaprojektowanymi wartościami czasów tych opóźnień. Kolejną zaletą

tego systemu jest większa możliwość doboru opóźnień milisekundowych. W przeciwieństwie do systemów nieelektrycznych gdzie wartości opóźnień czasowych są sztywno określone. System I-kon posiada możliwość programowania czasu opóźnienia detonacji pojedynczego zapalnika w interwale 1 ms, oraz pozwala na kontrolowanie prawidłowości działania poszczególnych elementów systemu na każdym etapie prowadzenia robót, poprzez pełną dwukierunkową komunikację pomiędzy zapalnikiem elektronicznym, a urządzeniami (logger, blaster), wchodzącymi w skład systemu. [4]

3.1. Zastosowanie programu Shot plus5

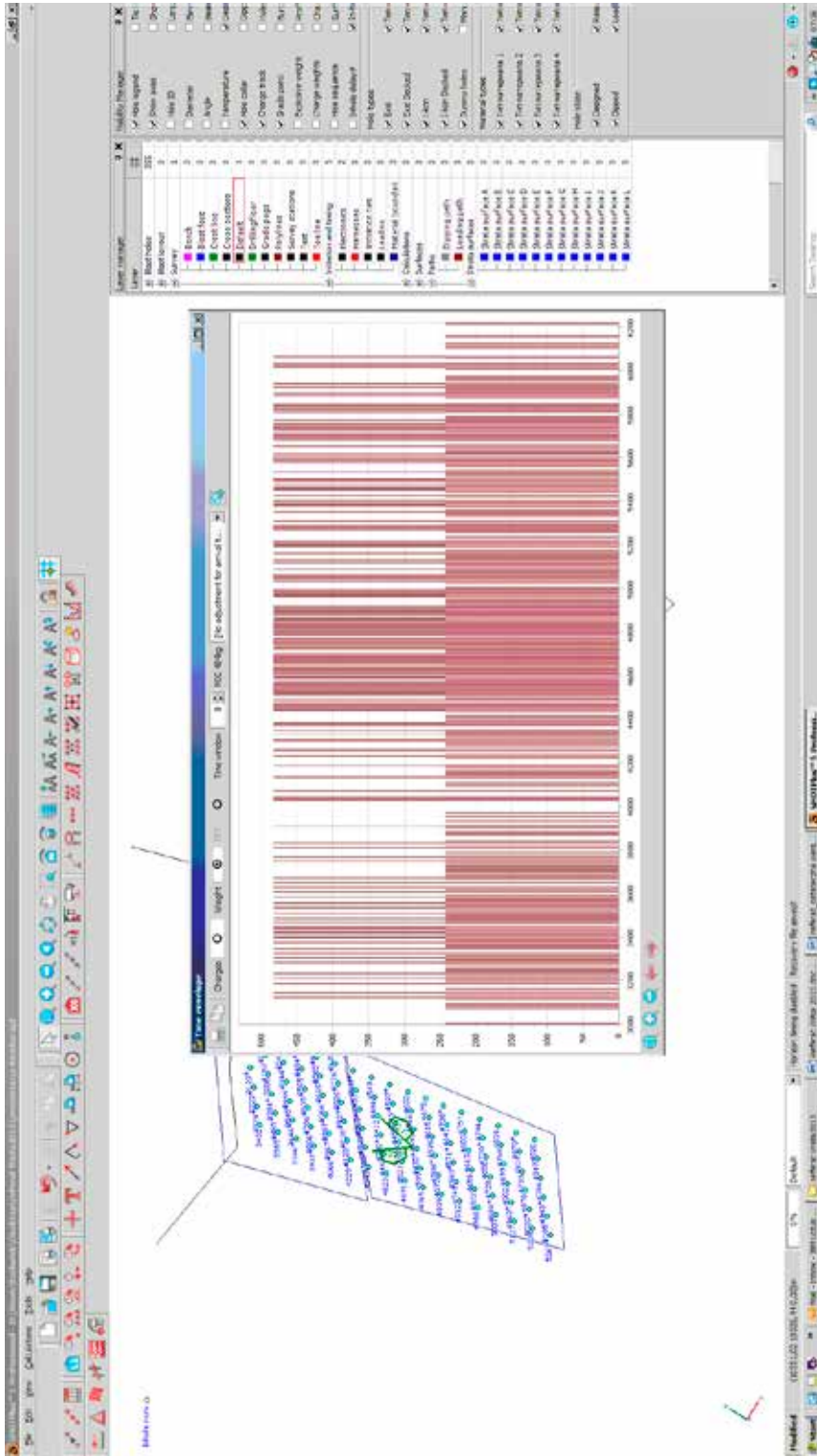
W ostatnich czasach obserwowany jest szybki rozwój oprogramowania komputerowego wspomagającego prace projektowe. Jak w każdej dziedzinie tak również w górnictwie, a ściślej rzecz biorąc w technice strzelniczej w ostatnich latach można zaobserwować rozwój technik komputerowych, które ułatwiają prawidłowe projektowanie robót strzałowych i pozwalają na lepszą kontrolę ich planowania, przeprowadzania i archiwizowania baz danych. Przykładem takiego informatycznego narzędzia jest program ShotPlus. Firma Orica już od dwudziestu lat dysponuje programem wspomagającym projektowanie robót wiertniczo-strzałowych, korzystając z wiedzy i doświadczenia pokoleń inżynierów, przez co stale doskonalone są narzędzia projektowe, czego wynikiem jest najnowsza wersja programu ShotPlus5.

Wszystkie roboty strzałowe w kopalni Kumtor także projektowane są z wykorzystaniem tego programu, który ma szereg rozbudowanych funkcji pozwalających inżynierom strzałowym na tworzenie baz danych, związanych z aspektami technicznymi dla wykonywania robót w poszczególnych częściach kopalni, oraz dostosowywać je do zróżnicowanych warunków geologiczno-górnictwowych. Bodaj najbardziej niepożądanym negatywnym czynnikiem występującym podczas prowadzenia robót strzałowych jest powstawanie drgań parasejsmicznych. Generalnie, głównymi czynnikami mającymi bezpośredni wpływ na wielkość generowanych drgań są wielkości opóźnień między-otworowych, oraz wielkość ładunku MW przypadającego na opóźnienie milisekundowe w zadanym oknie czasowym (rys. 3), jak również dobór jednostkowego ładunku MW ($[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$ skały).

Dzięki zastosowaniu poszczególnych funkcji programu istnieje bardzo łatwy i szybki dostęp do wszystkich opisanych wyżej parametrów (łatwe i szybkie korygowanie parametrów strzelania), co daje pełny przegląd sytuacji już na etapie planowania i projektowania robót.

3.2. Elektroniczny system inicjowania I-kon II

Pozycja lidera jaką zajmuje Firma Orica w dziedzinie produkcji i stosowania nowoczesnych rozwiązań technologicznych, zobowiązuje do ciągłej pracy nad doskonaleniem swojej oferty. Dlatego ciągle czynione są inwestycje w badania nad udoskonalaniem oferowanych technologii, aby oferowane produkty i usługi niosły ze sobą wzrost bezpieczeństwa, a stosowanie ich stawało się bardziej niezawodne i bardziej wydajne. Wynikiem tych prac jest kolejna druga wersja elektronicznych zapalników nowej generacji I-kon II. System ten (rys. 4) opracowany został na bazie ponad 20 lat badań laboratoryjnych oraz 12 lat doświadczeń związanych z użytkowaniem go w terenie. Opracowany został specjalnie dla realizacji projektów robót strzałowych o złożonych stopniach trudności ich wykonania we wszystkich rodzajach eksploatacji złóż. Zalety systemu pozwalają na kontynuowanie wyznaczania nowych standardów, nie tylko w zakresie stosowania elektronicznych systemów odpalania ładunków wybuchowych, lecz także w całej szeroko pojętej dziedzinie, jaką jest technika strzelnicza.



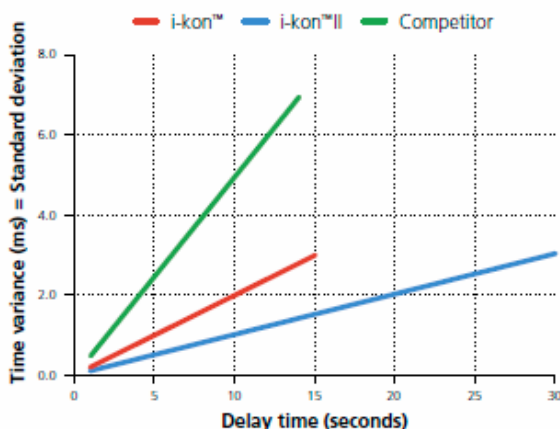
Rys. 3. Wielkość ładunku przypadająca na jedno opóźnienie milisekundowe



Rys. 4. Składowe urządzenia systemu Ikon II

System I-kon II zachowuje wiele kluczowych rozwiązań technologicznych swojej pierwotnej wersji, jednak dotychczasowe doświadczenia w stosowaniu pozwoliły na wypracowanie jeszcze bardziej optymalnych rozwiązań do których należą:

- Zwiększenie precyzji rzeczywistych czasów detonacji zapalników, ze współczynnika $\pm 0,01\%$ do $\pm 0,005\%$ (rys. 5).
- Zwiększenie maksymalnego przedziału czasu programowania zapalników z 15 000 ms do 30 000 ms.
- Możliwość zastosowania dłuższych opóźnień pomiędzy odpalaniem seriami otworów z zachowaniem sekwencji dla poszczególnych otworów.
- Pięciokrotne wzmocnienie sygnału dwukierunkowej komunikacji: zapalnik – logger – blaster.
- Wykonanie wewnątrz zapalnikowych chipów elektronicznych we współpracy z partnerem specjalizującym się w produkcji urządzeń satelitarnych, co pozwala osiągnąć niezawodność konstrukcji.
- Nowa funkcja powalająca na wykrycie podłączonych zapalników, lecz nie zalogowanych.
- Nowa konstrukcja konektora oraz nowy przewód odwodowy pozwalają na szybsze i łatwiejsze wykonanie połączeń.
- Zakodowanie długości przewodu zapalnika w numerze ID, pozwalające w razie konieczności łatwe zlokalizowanie niezalogowanego zapalnika.
- Skrócony czas programowania zapalników z 5 min do poniżej 2 min.



Rys. 5. Porównanie precyzji czasów detonacji

3.3. Zastosowanie systemu SURBS

Wielkość wydobycia w kopalni wiąże się z koniecznością stosowania bardzo dużej ilości maszyn i sprzętu w wyrobisku. Aby zachować odpowiednio dużą wydajność eksploatacyjną, niezbędnym jest uzyskiwanie efektów robót strzałowych na bardzo wysokim poziomie. Konieczne jest zatem zminimalizowanie przerw w wydobyciu związanych z prowadzeniem robót strzałowych. Dla lepszej koordynacji prowadzonych prac w kopalni stosowany jest bezprzewodowy system odpalania SURBS produkcji firmy Orica (rys. 6).



Rys. 6. System SURBS i zapalarka Blaster 2400

System ten składa się z urządzenia które bezprzewodowo łączy się z zapalarką Blaster 2400 i pozwala na sterowanie tym urządzeniem podczas przeprowadzania odstrzału. Dzięki takiemu rozwiązaniu podłączanie sieci strzałowych w wyrobisku można wykonywać bez konieczności przerywania pracy koparek, pojazdów technologicznych czy innych maszyn i urządzeń. Eliminuje to zastosowanie bardzo długich przewodów strzałowych i rurek detonacyjnych do odpalania serii strzałowych i pozwala na lepszą koordynację działań przy wycofywaniu sprzętu na czas przeprowadzenia odstrzału, z zachowaniem zasad bezpieczeństwa. Istotnie skraca to przerwy w eksploatacji.

4. Podsumowanie

Opisane wyżej urządzenia są wykorzystywane w zakładach górniczych prowadzących wydobycie skał od wielu lat, a także w zakładach nowo otwieranych i rozwijających fronty eksploatacyjne. Opracowane rozwiązania technologiczne mają zastosowanie także przy prowadzeniu makroniwelacyjnych robót strzałowych na powierzchni terenu przy budowie szlaków komunikacyjnych itp. Dotychczasowe doświadczenia zdobyte w ramach prac z wykorzystaniem zapalników elektronicznych prowadzonych przez kadrę inżynierską firmy Orica, potwierdzają potrzebę stosowania nowoczesnych technologii przy rozwiązywaniu problemów związanych z możliwościami prowadzenia eksploatacji z użyciem MW w bliskiej odległości od obiektów chronionych oraz w kopalniach w których występuje problematyka związana z zachowaniem stabilności skarp i zbocz.

Zastosowanie systemowych i kompleksowych procedur analizy efektów oraz warunków urabiania, poprzez zastosowanie konkretnych parametrów projektowanych robót strzałowych oraz dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań technologicznych w określonych warunkach wydobycia, pozwoli na połączenie prowadzenia tych robót z ochroną przyległych obiektów kubaturowych i liniowych [1]. Zastosowanie opisanych technologii i rozwiązań technicznych zwiększa możliwości analizy i kontroli, począwszy od założeń projektowych, a kończąc na ocenie efektów prowadzonych robót dzięki czemu możliwa jest dalsza poprawa bezpieczeństwa wykonywanych prac, wskaźników ekonomicznych oraz zwiększenie możliwości minimalizacji negatywnych oddziaływań na środowisko naturalne.

Literatura

- [1] Grześkowiak A., *Współczesne metody projektowania i optymalizacji robót strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych*. XV Forum Górnictwa Skalnego, Kopaliny pospolite, Ustroń 2012.
- [2] Prędko S., *Krótkie porównanie wiodących w górnictwie odkrywkowym systemów inicjowania materiałów wybuchowych*. Materiały Wysokoenergetyczne, tom 3, 25-31, Warszawa 2011. (<http://www.wydawnictwa.ipo.waw.pl/materialy-wysokoenergetyczne/MatWysokoenergetyczn3/Predki.pdf>)
- [3] Grześkowiak A., *Strzelanie doświadczalne jako sposób zwiększenia ładunku całkowitego MW odpalanego w serii*. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej nr 119, Seria 48, Szklarska Poręba 2007.
- [4] Prędko S., *Ograniczona precyzja zapalników nieelektrycznych a projektowanie robot strzałowych w odkrywkowych zakładach górniczych*. Materiały Wysokoenergetyczne, tom 2, 114-122, Warszawa 2010. (<http://www.wydawnictwa.ipo.waw.pl/materialy-wysokoenergetyczne/Mat-Wysokoenergetyczne-tom2/wysokoenergetyczne/sebastianpredki116.pdf>)