

# Nowoczesne rozwiązania w technice strzelniczej

## Modern solutions in blasting techniques

Andrzej Maranda<sup>1</sup>, Barbara Gołąbek<sup>2</sup>, Patrycja Rink<sup>2</sup>, Jacek Suszka<sup>2</sup>

1) Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, PL

2) Austin Powder Polska Sp. z o.o., Łukaszów, PL

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono podstawowe elementy działań składających się na prawidłowe prowadzenie prac strzałowych w górnictwie odkrywkowym. Opisano sposób projektowania siatki strzałowej z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury. Scharakteryzowano materiały wybuchowe emulsyjne typu hydromite wytwarzane przez firmę Austin Powder Polska Sp. z o.o. oraz systemy mieszalniczo załadowcze.

**Abstract:** In the paper, fundamental stages of properly executed blasting operations in open pit mines as well as designing of blasting network with the use of modern equipment have been presented. Hydromite-type emulsion explosives and mixing-and-loading systems have been characterized.

**Słowa kluczowe:** technika strzelnicza, materiały wybuchowe emulsyjne

**Key words:** blasting techniques, emulsion explosives

### 1. Wstęp

**„Górnictwo nie jest wszystkim, ale bez górnictwa wszystko jest niczym” - te słowa wypowiedział około sto lat temu Max Planck, słynny niemiecki fizyk, laureat nagrody Nobla.**

Górnictwo funkcjonowało od początku egzystencji naszej cywilizacji. Pierwsze dowody urabiania, czyli odpajania skał od calizny, można już znaleźć w prehistorii: należało odłupać fragment skały, aby powstało pierwsze ostrze, wybrać odpowiednie kamienie, aby ułożyć trwałą ścieżkę, potem drogi, wybudować domy. Odpajanie skały prowadzone było w sposób mechaniczny, przy pomocy narzędzi i zwierząt.

Wielkim odkryciem było wynalezienie prochu strzelniczego, zwanego również czarnym. Pierwsza zapisana relacja o użyciu prochu czarnego w kopalni znalazła się w sprawozdaniu trybunału górniczego w Schemnitz, na Węgrzech, z roku 1627 [1]. Jednak stosowanie tego materiału wybuchowego było bardzo niebezpieczne: niekontrolowane wybuchy zabijały wiele osób. Dopiero ponad 200 lat później prace strzałowe stały się bezpieczniejsze dzięki wynalezieniu lontu prochowego przez Williama Bickforda z Devonu w roku 1831. Kolejnym krokiem w rozwoju materiałów wybuchowych była nitrogliceryna, wynaleziona przez Włocha Ascanio Sobrero w roku 1847. Jednak użycie nitrogliceryny w górnictwie nie powiodło się na większą skalę ze względu na jej ciekłą postać. Tę sytuację zmienił Alfred Nobel, który wymieszał nitroglicerynę z absorbentem – ziemią krzemkową [1]. Tak właśnie powstał dynamit i nastąpił przełom w przemyśle górnictwym. W sposób o wiele bardziej bezpieczny można było urabiać skały na dużo większą skalę.

Z początkiem lat 50 ubiegłego wieku rozpoczęto używanie materiałów wybuchowych typu ANFO (saletrole), jednak nadawały się wyłącznie do prac w warunkach suchych otworów. Cook w roku 1962 w Utah rozpoczął wytwarzanie materiałów wybuchowych zawieszinowych zawierających wodę. Kolejnym etapem w ewolucji materiałów wybuchowych zawierających wodę, stały się emulsyjne materiały wybuchowe. Emulsyjne materiały wybuchowe charakteryzują się [2]:

- bardzo wysokim stopniem bezpieczeństwa podczas produkcji, transportu i ładowania,
- znikomą wrażliwością na bodźce mechaniczne i termiczne,
- całkowitą wodoodporność,
- niską zawartością gazów toksycznych w produktach wybuch,
- wysoką koncentracją energii na jednostkę objętości, którą można regulować gęstością,

- niskim stopniem zagrożenia od niewypałów w urobku,
- brakiem w składzie substancji szkodliwych dla zdrowia personelu strzałowego.

Wymienione powyżej zalety emulsyjnych materiałów wybuchowych spowodowały, że stały się podstawowym środkiem strzałowym stosowanym przez Austin Powder Polska.

## 2. Projektowanie siatki strzałowej

Poprzez zastosowanie dopasowanych do właściwości mechanicznych złoża parametrów detonacyjnych materiałów wybuchowych i siatki strzałowej, w połączeniu z nieelektrycznymi systemami inicjacji, uzyskuje się zmniejszenie intensywności drgań sejsmicznych i powietrznej fali podmuchowej, umożliwiające odpowiednie zwiększenie całkowitej masy ładunku, a tym samym zmniejszenie częstotliwości wykonywania robót strzałowych. Prowadzi to do zapewnienia:

- większego bezpieczeństwa,
- optymalnego rozdrobnienia urobku,
- zmniejszania oddziaływań środowiskowych.

Na efektywność i bezpieczeństwo robót strzałowych będzie wpływał szereg czynników [3]:

- poznanie warunków geologicznych złoża i właściwości urabianej skały,
- zaprojektowanie siatki otworów strzałowych o odpowiednich parametrach,
- użycie właściwego materiału wybuchowego,
- zastosowanie odpowiedniej konstrukcji ładunków,
- wykonanie odpowiedniej przybitki,
- określenie punktu inicjacji,
- wybranie odpowiednich opóźnień między ładunkami,
- ustalenie odpowiedniego schematu odpalania ładunków.

Posiadając odpowiednią wiedzę, doświadczenie oraz nowoczesny sprzęt pomiarowy można zaprojektować każde strzelanie, aby uzyskać optymalny efekt oraz zapewnić jak najwyższy stopień bezpieczeństwa. Siatka strzałowa może być określona następującymi parametrami [3]:

- średnicą otworów,
- rozmieszczeniem otworów,
- zabiorem,
- przewiertem,
- przybitką,
- wysokością piętra.

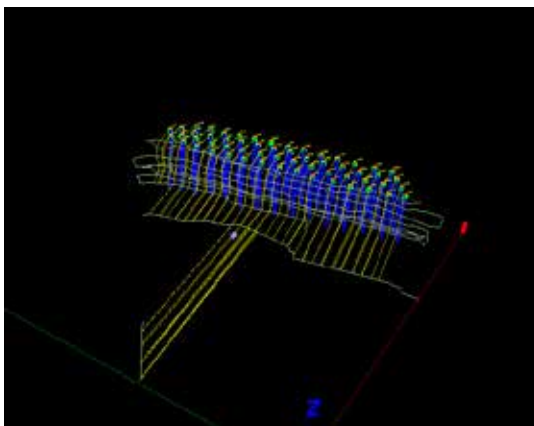
Jednym ze sposobów optymalizacji robót strzałowych jest sterowanie parametrami technicznymi siatki otworów, w tym przypadku:

- zabiorem,
- odległością między otworami,
- odległością między szeregami.

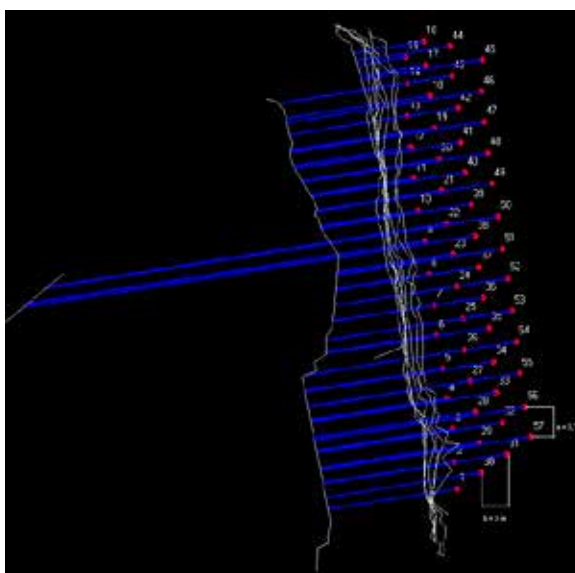
Projektując siatkę otworów strzałowych należy pamiętać, że czynnikiem wpływającym bezpośrednio na bezpieczeństwo oraz środowisko jest zabiór – pozioma odległość osi otworu strzałowego od powierzchni rozsadanego ośrodka (ociosu) [4]. Zbyt duża odległość otworu od płaszczyzny ociosu może powodować uzyskanie brył nadgąbarytowych, a także zwiększa negatywne oddziaływanie na środowisko (drgania). Zbyt mała odległość otworu od płaszczyzny ociosu może powodować niekontrolowany rozrzut odłamków skalnych. Firma Austin Powder Polska używa sprzętu pomiarowego Topcon *GPT 7505* (rys. 1), aby z jak największą dokładnością móc zaprojektować siatkę otworów strzałowych. Wyniki pomiarów uzyskane w wyniku zastosowania wyżej wymienionego urządzenia ilustrują rysunki 2 i 3. Natomiast na rysunku 4 przedstawiono przykładowe profile przebiegów osi otworu strzałowego względem ociosu.



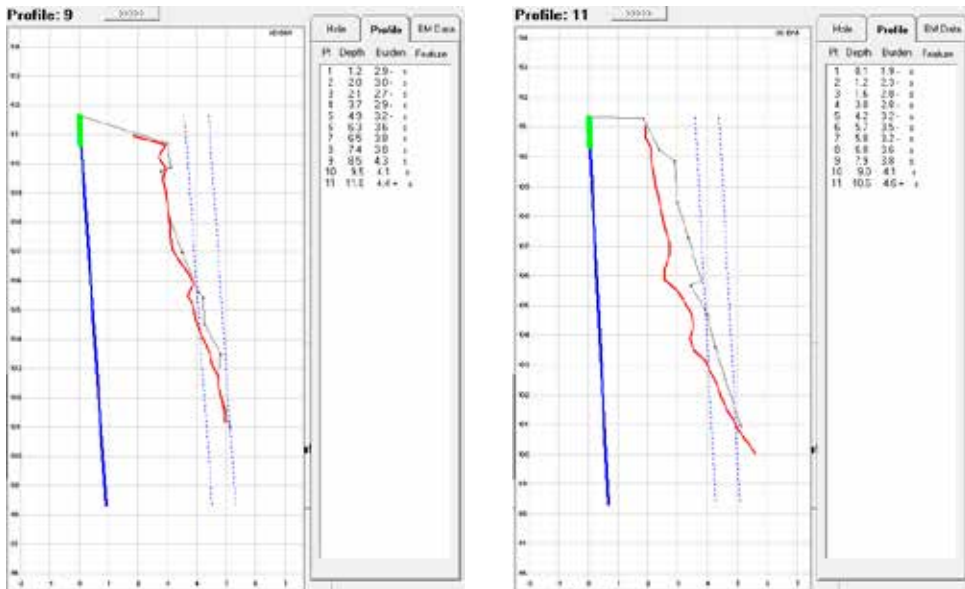
Rys. 1. Laser Topcon GPT 7505



Rys. 2. Wynik pomiaru ociosu ściany laserem Topcon GPT 7505 – widok 3D



Rys. 3. Wynik pomiaru ociosu ściany laserem Topcon GPT 7505 – rzut z góry



Rys. 4. Przykładowe profile – przebieg osi otworu strzałowego względem ociosu

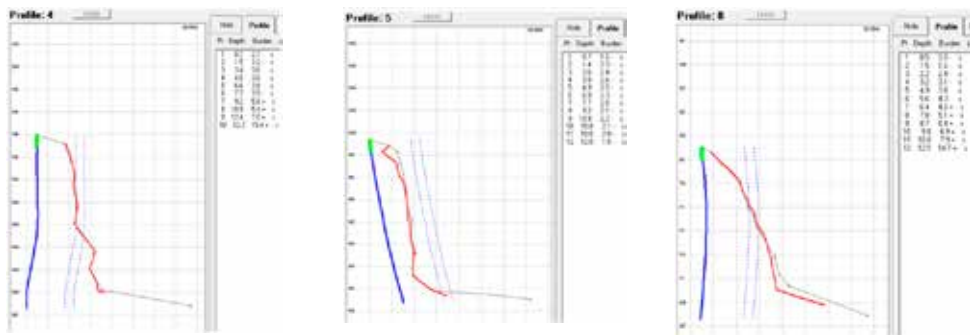
Dzięki wykonaniu takiego pomiaru możliwe jest: dokładne określenie wysokości ściany i potencjalnej długości otworu, oraz nadanie odpowiedniego kąta nachylenia otworu i zadanie przewiertu. Na rysunku 4 można zaobserwować wartość jednego z najważniejszych parametrów technicznych siatki otworów strzałowych – zabioru. Natomiast na rysunku 5 zestawiono w formie tabelarycznej wyniki pomiaru ociosu ściany i zaprojektowanej na ich podstawie siatki strzałowej

	Hole Search	Hole	Angle	Depth	Offset	Lateral	Prop	Sub
	Az	Az	Az			Os	Floor	Drill.
<input type="checkbox"/>	1	260.0	260.0	9.0	12.5	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	2	260.0	260.0	0.0	12.3	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	3	260.0	260.0	2.0	12.4	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	4	260.0	260.0	5.0	12.5	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	5	260.0	260.0	2.0	12.5	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	6	260.0	260.0	0.0	12.8	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	7	260.0	260.0	2.0	13.0	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	8	260.0	260.0	5.0	13.2	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	9	260.0	260.0	4.0	13.4	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	10	260.0	260.0	5.0	13.2	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	11	260.0	260.0	3.0	13.0	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	12	260.0	260.0	10.0	12.9	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	13	260.0	260.0	13.0	12.6	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	14	260.0	260.0	8.0	13.0	0.0	0.0	--- 0.7
<input type="checkbox"/>	15	260.0	260.0	8.0	13.1	0.0	0.0	--- 0.7

Rys. 5. Tabela wyników pomiaru i projektowania siatki otworów strzałowych

Podczas kontroli robót strzałowych należy pamiętać o sprawdzeniu rzeczywistej wartości zabioru. Mając dokładny pomiar ociosu można określić dokładnie poziomą odległość osi otworu od powierzchni ściany, jednak podczas wiercenia otworów może nastąpić zjawisko dewiacji otworów strzałowych (rys. 6), co często drastycznie zmienia wielkość zabioru. Należy przeprowadzić każdorazowo kontrolę przebiegu otworu strzałowego stosując

sondę pomiarową. Firma Austin Powder Polska używa sondy *Pulsar blasthole probe Mk3*, aby przeprowadzić kontrolę poprawności przebiegu osi otworu.



Rys. 6. Przykładowe dewiacje otworów strzałowych

Po wykonaniu pomiaru należy podjąć odpowiednie kroki służące zapewnieniu bezpieczeństwa robót strzałowych. Sterowanie technologią urabiania jest bardzo trudne, ponieważ jest prowadzone przy niepełnej informacji charakteryzującej warunki złożowe i opiera się na modelu przybliżonym. Podejmuje się ciągłe próby ulepszenia efektywności i bezpieczeństwa robót strzałowych. Dzięki wykorzystaniu nowoczesnych metod pomiarowych aktualnie zapewnia się optymalną dokładność robót strzałowych. W zależności od potrzeb zamawiającego (np. założonego stopnia rozdrobnienia) stosuje się odpowiednio dobrane materiały wybuchowe.

### 3. Mechanizacja prac strzałowych

Firma Austin Powder Polska stosuje wyłącznie ładowane mechanicznie materiały wybuchowe emulsyjne oraz saletrole. Mechaniczny ładunek otworów strzałowych MW luzem wiąże się z podniesieniem bezpieczeństwa robót strzałowych i ich racjonalizacją. O wysokim stopniu bezpieczeństwa prowadzenia prac ładunkowych emulsyjnych materiałów wybuchowych systemami mieszalniczo-ładunkowymi decydują następujące czynniki:

- brak bezpośredniego kontaktu pracowników z materiałem wybuchowym,
- sensybilizacja matrycy (formowanie materiału wybuchowego) rozpoczyna się dopiero po około 10 minutach od załadowania otworu strzałowego,
- minimalizacja ilości MW do masy znajdującej się w pojedynczym otworze,
- transport drogowy wyłącznie substancji niewybuchowych.

Natomiast na racjonalizację prac strzałowych i górniczych składają się następujące elementy:

- nie ma nakładów na opakowania materiału wybuchowego, jego magazynowanie, ochronę i transport z przeładunkiem, tak u producenta, pośrednika i ostatecznego odbiorcy,
- obniżenie kosztów utylizacji opakowań po MW,
- brak konieczności utrzymywania kosztownych składów materiałów wybuchowych i środków transportu do ich przewożenia,
- możliwość optymalnego doboru rodzaju materiału wybuchowego do urabianego złoża, nawet w trakcie ładunku otworów,
- produkcja ograniczona wyłącznie do aktualnie potrzebnej ilości MW, brak tzw. „zwrotów”,
- radykalnie skrócony czas wykonywania robót strzałowych,
- zwiększenie stopnia załadowania otworów z 70% do 100%, umożliwiła rozszerzenie siatki strzałowej a tym samym zmniejszenie nakładów na roboty wiertnicze o ok. 30% i optymalne wykorzystanie sprzętu wiertniczego,
- wąż ładunkowy ma mniejszą średnicę niż wynosi średnica krytyczna materiału wybuchowego, co uniemożliwia przeniesienie przypadkowej detonacji,

- optymalny dobór materiału wybuchowego do urabiania złoże przy zastosowaniu komputerowego systemu projektowania robót strzałowych i nowoczesnych środków strzałowych, umożliwia otrzymanie do 80% urobku o żądanej granulacji przy ograniczeniu ilości nadgabarytów do poniżej 5%, co zmniejsza koszty przeróbki.

Do wytwarzania materiałów wybuchowych emulsyjnych w Austin Powder Polska. stosowane są dwie podstawowe matryce. Matryce mają identyczne składy (azotan(V) amonu – 64,4%, azotan(V) sodu – 14,6%, faza organiczna – 6,0%, woda – 15%), natomiast różnią się lepkością. Matryca oznaczona Hydrox U ma lepkość 120000 cPa, a matryca Hydrox S 55800 cPa. [5 ÷ 7]

W kopalniach odkrywkowych stosowane są dwa rodzaje MWE typu Hydromite 70 i 100, które zawierają matrycę Hydrox U. Parametry fizykochemiczne, detonacyjne i termodynamiczne Hydromite'ów 70 i 100 zestawiono w tabeli 1. Również stosowany jest saletrol – Austinit 4. Wymienione materiały wybuchowe są przygotowywane i ładowane do otworów systemami mieszalniczo-załadowczymi, których dane techniczne zamieszczono w tabeli 2, a ich zdjęcia zestawiono na rysunku 7.

**Tab. 1.** Parametry fizykochemiczne, termodynamiczne i detonacyjne Hydromite'ów 70 i 100

Parametr	Hydromite	
	70	100
Gęstość [g/cm <sup>3</sup> ]	1,05 ÷ 1,30	0,8 ÷ 1,25
Średnica minimalna otworów strzałowych [mm]	75	35
Prędkość detonacji, w rurach stalowych 35 mm [m/s]	> 4000	> 4000
Temperatura wybuchu [K]	2315	2141
Objętość właściwa produktów wybuchu [dm <sup>3</sup> /kg]	925	914
Ciepło wybuchu [kJ/kg]	3016	2779
Idealna praca wybuchu [kJ/kg]	2510	2314
Energia właściwa [kJ/kg]	794	726

**Tab. 2.** Dane techniczne systemów mieszalniczo-załadowczych

Dana techniczna	Typ systemu mieszalniczo-załadowczego		
	AU4001B	PU5001RP(4)	PU5001RP(3)
Wymiar [m]			
– długość	8,7	12,8	10,0
– szerokość	2,55	2,55	2,55
– wysokość	3,4	3,8	3,5
Masa własna [kg]	15700	19800	18200
Ładowność zbiorników			
– saletra amonowa [kg]	ok. 9500	4000	3100
– olej [dm <sup>3</sup> ]	ok. 960	160	160
– matryca MWE [kg]	-	8600	6300
– pył aluminiowy [kg]	-	450	450
– reagent 1 [dm <sup>3</sup> ]	-	200	200
– reagent 2 [dm <sup>3</sup> ]	-	200	200
– woda [dm <sup>3</sup> ]	-	450	450
– glikol etylenowy [dm <sup>3</sup> ]	-	160	160
Maksymalna ładowność [kg]	ok.10300	ok. 11500	ok. 7800
Typ materiału wybuchowego	saletrol	materiał wybuchowy emulsyjny	
Wydajność [kg/min]	75	75 ÷ 100	75 ÷ 100



Rys. 7. Systemy mieszalniczo-załadowcze: a) AU4001B; b) PU5001RP(4); c) PU5001RP(3)

W wyniku zastosowania wymienionych materiałów wybuchowych i systemów mieszalniczo-załadowczych, między innymi w odkrywkowych zakładach wydobywczych: Rybnica Leśna, Kamienna Góra, Kopalnia Granodiorytu Łazany II, Łągów V i Cementowni Warta uzyskano znaczne rozszerzenie siatki strzałowej, co zmniejszyło zużycie środków strzałowych oraz ograniczyło niekorzystny wpływ na otoczenie zakładów wydobywczych.

#### 4. Podsumowanie

Prawidłowa eksploatacja górotworu zapewnia uzyskanie założonego rozdrobnienia urobku przy zastosowaniu minimalnej ilości materiału wybuchowego. Aby ją zrealizować, należy przygotować optymalną siatkę strzałową, której parametry muszą korelować z parametrami detonacyjnymi stosowanego materiału wybuchowego. Wykorzystanie laserowego pomiaru ociosu ściany jest obecnie warunkiem dla właściwego zaprojektowania, a następnie przeprowadzenia prac wiertniczych. Stosowane aktualnie w zakładach odkrywkowych materiały wybuchowe emulsyjne i saletrole, dzięki mechanizacji załadunku otworów strzałowych zapewniają pełne wykorzystanie ich objętości, a jednocześnie w przypadku MWE brak bezpośredniego kontaktu górnika strzałowego z materiałem wybuchowym. Można również, w zależności od właściwości mechanicznych górotworu sterować gęstością materiału wybuchowego zróżnicowaną na różnych głębokościach otworu strzałowego.

Pomiar laserowy ociosu ściany będący punktem wyjściowym do projektowania siatki strzałowej, połączony z mechanizacją prac załadunkowych umożliwia obniżenie kosztów prac wydobywczych, a także pomaga w podjęciu odpowiednich kroków w celu zminimalizowania ich negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne.

#### Literatura

- [1] Korzeniowski J.I., Onderka Z., *Roboty strzelnicze w górnictwie odkrywkowym*. Wrocław, W. i S. G. Burnat & Korzeniowski, 2006.

- [2] Maranda A., Gołąbek B., Kasperski J., *Materiały wybuchowe emulsyjne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- [3] Malewski J., Modrzejewski Sz., *Modelowanie i optymalizacja systemów procesów wydobywania i produkcji kruszyw łamanych*. Wrocław, Poltegor-Instytut, Instytut Górnictwa Odkrywkowego, 2008.
- [4] *Leksykon górniczy*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1989.
- [5] Maranda A., Nowaczewski J., Gołąbek B., Kasperski J., *Badanie właściwości matryc materiałów wybuchowych emulsyjnych*. Górnictwo Odkrywkowe Vol. 43, No. 5, 25-34, 2001.
- [6] Maranda, A., Cudziło S., Suszka J., *Badanie stabilności termicznej matryc materiałów wybuchowych emulsyjnych*. Wiadomości Chemiczne, Vol. 59, No. 11, 667-672, 2008.
- [7] Maranda A., Gołąbek B., Suszka J., Zawadzka-Małota I., Sałaciński T., *Badanie charakterystyk detonacyjnych materiałów wybuchowych emulsyjnych typu Hydromite*. Chemik, Vol. 47, No. 1, 2013, 7-12.