

Elektronik Ateşleme Sistemlerinin Gelişimi ve Türkiye'deki Örnek Uygulamalar

Development of Electronic Initiation Systems And Trials In Turkey

Velat Alabaş

(Orica-Nitro Patlayıcı Mad. San. Ve Tic. A.Ş., G.O.P./Ankara)

Metehan Derya

(Orica-Nitro Patlayıcı Mad. San. Ve Tic. A.Ş., G.O.P./Ankara)

Ümit Kılıç

(Nitrokimya Kimya San. Ürt. Paz. San. Ve Tic. A.Ş., G.O.P./Ankara)

Murat Us

(Orica-Nitro Patlayıcı Mad. San. Ve Tic. A.Ş., G.O.P./Ankara)

ÖZET Madencilik ve patlayıcı madde sektörleri tüm verimliliği iyileştirecek yeni teknolojik gelişmeleri hızla benimsemektedir. Bu teknolojik gelişmelerden biri de performans ve ekonomik iyileşmeyi sağlamak üzere henüz gelişme aşamasında olan elektronik ateşleme sistemleridir. Bu bildiri, sektörde kullanılan ve halen geliştirilmekte olan elektronik kapsüllerin temel tasarımını ve Türkiye'de gerçekleştirilen denemeleri konu almaktadır.

ABSTRACT The mining and explosives industry is rapidly adopting technology in all forms in order to improve performance. One such technology that is being developed to improve blasting efficiency and mining economics is the electronic detonator. This session will review the basic electronic detonator design concepts currently being developed and used in the industry and its first trials in Turkey.

1 GİRİŞ

Madencilik çalışmalarının temel operasyonlarından olan patlatma, kaya kütlelerini kontrollü bir şekilde patlayıcı yardımı ile parçalama işidir. Patlatma, sonraki madencilik operasyonlarına hazırlık özelliği taşır ve onları doğrudan etkiler. Bu özelliğinden dolayı toplam kazı maliyeti üzerinde belirleyicidir.

Madencilik ve patlayıcı madde sektörleri, tüm verimliliği iyileştirecek yeni teknolojik gelişmeleri hızla benimsemektedir. Bu teknolojik gelişmelerden biri de performans ve ekonomik iyileşmeyi sağlamak üzere henüz gelişim aşamasında olan elektronik ateşleme sistemleridir. Bu çalışma, sektörde

kullanılan ve halen geliştirilmekte olan elektronik kapsüllerin temel tasarımlarını, avantaj ve dezavantajlarını, kaydedicileri (logger), manyetoları (blaster), piroteknik gecikmeli kapsüller ile farklarını anlatmakta ayrıca Türkiye'de gerçekleştirilen denemeleri konu almaktadır.

2 ATEŞLEME SİSTEMLERİNİN TARİHÇESİ

1831 yılında William Bickford emniyetli fitili bulana kadar, kara barutun ateşlenmesinde birçok tehlikeli metod kullanılmıştır. Emniyetli fitilin icadı ile patlatmacılar kara barutu daha güvenli bir şekilde ateşleme imkânı bulmuşlardır.

1850'lerde nitrogliserin, 1860'larda

dinamit kullanımının artması ile emniyetli fitil, bu yeni patlayıcıları tek başına ateşlemek için yeterli olmamış ve emniyetli fitil – kapsül birlikteliği gereği ortaya çıkmıştır.

1867 yılında Alfred Nobel'in cıva fulminat patlatma başlığını bulması ile tüm bu patlayıcılar daha güvenli ve daha verimli bir şekilde ateşlenmiştir. Sivil amaçlı kapsüller Nobel'in bu temel düşüncesinden geliştirilmiştir.

Patlatma tekniğindeki gelişmeler göz önüne alındığında ateşleme sistemi tüm planlama içinde delik geometrisi ve patlayıcı seçimi kadar önemlidir. Zaman içinde bazı ihtiyaçlara (gecikme, emniyet, sarsıntı vb.) cevap verebilmek için ateşleme sistemleride bir gelişim içinde olmuştur. Günümüzde de bu konu hakkında çalışmalar sürmektedir.

Günümüzde ateşleme sistemleri 3 ana grupta toplanabilir;

1. Elektrikli Ateşleme Sistemleri
 - Elektrikli ve Elektrikli Gecikmeli Kapsüller
2. Elektriksiz Ateşleme Sistemleri
 - Emniyetli Fitil – Tahrip Kapsülü (adi kapsül)
 - İnfilaklı Fitil
 - Elektriksiz Kapsüller (Non Electric Detonators)
3. Elektronik Ateşleme Sistemleri

Ateşleme sistemleri zaman içinde daima en güvenli olana doğru bir gelişim göstermiştir. Ayrıca günümüz teknolojisi gereği, kapsüller üzerinde geliştirme araştırmaları sürmektedir;

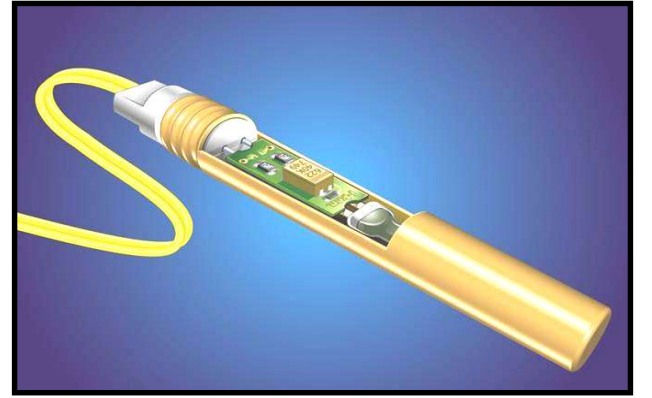
Emniyetli Fitil	1831 William Bickford
Adi Kapsül	1865 Alfred Nobel
Elektrikli Kapsül	1895 Julius Smith
İnfilaklı Fitiller	1907 Louis L'heur
Elektrikli T. Kapsül	1940 Nitro Nobel
Nonel Sistem	1970 Nitro Nobel
Elektronik Kapsül	1980 Nitro Nobel, ICI

3 ELEKTRONİK KAPSÜLLER

Elektronik kapsüller eksiksiz olarak programlanabilir dijital kapsüllerdir.

Bu kapsüller iki yönlü haberleşme yapabilirler. Her bir kapsül, kapsül mikroçipi

üzerinde basılı olan ve fabrika tarafından atanan bir kimlik numarasına (Det. ID) sahiptir. Kimlik numarası, kapsüller ve kontrol ekipmanı arasındaki iki yönlü haberleşmenin temelidir. Böylece kullanıcı patlatmanın hazırlanması sırasında kapsülün bütün aşamalarını test edebilir. Elektronik kapsüller, ateşleme sinyali gönderildikten sonra, bireysel olarak çalışabilmeleri için yapılarında dijital zamanlama devreleri ve enerji depolama sistemleri içermektedir. Ayrıca logger (kaydedici) ve blaster (manyeto) denilen ekipmanları mevcuttur. Logger gecikme süresini atamak ve test fonksiyonlarını yürütmek için bağlantı sırasında kullanılmaktadır. Logger, kapsül kimlik numarasını (Det. ID), gerekli gecikme süresini okur ve kaydeder. Blaster ise, patlatma programlamasını, nihai sistem testlerini ve tetiklemeyi yürütmek için kullanılır.



Şekil 1. Elektronik kapsülün kesit görünümü (6)

Bağlantı için çift bakır damardan oluşan bir kablolama sistemi mevcuttur. Kablolama sistemi Logger'a bağlanarak gecikme atamalarını kapsüle aktarır ve bağlantının testini yapmaya imkan tanır. Her bir kapsül bağlandıkça, elektronik kapsül kaydedicisi kapsül çalışmasını kontrol eder. Kapsül kimlik numarasını (Det. ID) okur ve ardından gecikme süresi ile beraber bu bilgileri belleğine aktarır. Kullanıcı, gecikme listesinin görüntülenmesi sırasında kaydedicinin (Logger) içerisine kaydedilmiş olan ve atanan gecikme süresini düzenleyebilir. Kapsüllere gecikme sürelerini atayabilmek için dört değişik (Manuel, Otomatik, Gecikme Numaraları ya da SHOT Plus-i®) yöntem vardır. Tek bir

seferde 1 milisaniyelik (ms) artışlarla 0 ile 15000 ms arasında gecikme verilebilir. Bir kaydediciye 200 kapsül bağlanabilmektedir.

Bağlantılar tamamlandıktan sonra, ya da kaydetme sırasında, kaydedici test menüsünü kullanarak sistemi test edebilir.

Sistemde hatalar algılanırsa, kaydedici bunları yardım menüleri ile beraber görüntüler. Varsa akım kaçakları kaydetme sırasında izlenir ve ölçülür.

Ateşleme öncesi bağlı tüm kaydediciler (logger) güvenli bir konuma yerleştirilir. Ana ateşleme hattı aracılığı ile manyetolara (blaster) bağlanır. Manyeto, kaydediciler ve kapsüller arasında iletişim sağlandıktan sonra, patlatma gerçekleştirilir. Manyetolar ateşleme anahtarına sahiptir ve bu sayede yetkisiz personel tarafından kullanımı önlenmiştir.

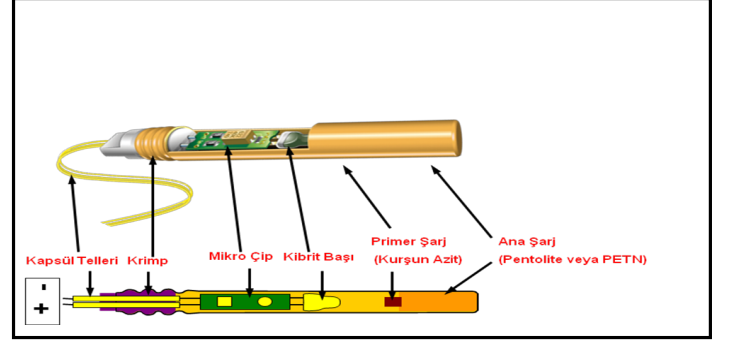
4 ELEKTRONİK KAPSÜLLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Genellikle Elektronik kapsüllerin boyu 93 mm, dış çapları ise 7,3 mm'dir. Diğer kapsüllerde olduğu gibi ana ve birincil şarj bölümleri bulunmaktadır. Ayrıca gecikme elemanı yerine bir mikro çip mevcuttur. Ana şarj, yüksek hassasiyete sahip 750 mg PENTOLİTE veya PETN'dan, birincil şarj ise 60 mg kurşun azitten oluşur.

Pentolite; askeri ve sivil amaçlı kullanılan yüksek hassasiyete sahip bir patlayıcı maddedir. Savaş başlıklarında ve kalıp yemleyicilerde (booster) kullanılır. Askeri pentolite %50 TNT ve % 50 PETN karışımından oluşur. Karışımın yoğunluğu $1,65 \text{ gr/cm}^3$ ve detonasyon (patlama) hızı 7400 m/sn 'dir. Sivil pentolitede ise PETN yüzdesi daha düşüktür. Detonasyon hızı 7800 m/sn 'dir. Kapsül USBM güç değerlendirmesine göre No.8 star gücündedir.

Piroteknik gecikme elemanına sahip kapsüllerde, gecikme süreleri sabit olup bu sürelerdeki sapmalar daha fazladır. Buna karşılık elektronik kapsüllerin standart sapmaları 0 – 1300 ms gecikme aralığında; +/- 0.13 ms'den daha az ve 1301 – 15000 ms gecikme aralığında; +/- % 0.01'den daha azdır. Mikro çipe verilen gecikme süresi

silinebilir, değiştirebilir ve tekrar tekrar yüklenebilir. Yükleme işi bittikten sonra, kapsüller kaydedici (logger) tarafından kontrol edilebilir. Elektronik kapsüller, elektrikli kapsüllerin ölçümünde kullanılan patlatma galvanometresi ile ölçülemez. Bütün yükleme ve kontrol işlemleri bittikten sonra kaydediciler (logger), manyetolara (blaster) bağlanır ve ateşlenir.



Şekil 2. Elektronik kapsülün üstten Görünümü (6)

Çizelge 1. Elektronik kapsülün teknik özellikleri (1)

Kapsül Teli (mm)	0.6 / Çelik
İzolasyon Çapı (mm)	1.35
Tel Gerilme (N)	200
Kapsül Teli Rengi	Sarı / Sarı
Uzunlukları (m)	6,15,20,30,40,60
Ana Şarj	Pentolite, PETN
Birincil Şarj	Kurşun Azid

4.1 Avantajları

- 0 – 15000 ms arasında 1 ms artışla istenilen gecikme süresi kapsüle verilebilir,
- Miktar sınırlaması yoktur (Kaydedici sayısı dikkate alınmalıdır),
- Suya karşı dirençlidir
- Elektrik kaynaklarından etkilenmez (iş makinesi, statik elektrik, havadaki elektrik)
- Manyetik alandan etkilenmez (telsiz, cep telefonu)
- Kapsüller kaydedici yardımı ile önceden test edilebilir, hatalı bir

yüklemeye olduğu zaman gecikme silinebilir ve tekrar yüklenebilir

- Akım kaçağı sorunu yoktur, kaydedici tarafından önceden test edilir
- Direnç hesabı yapmaya gerek yoktur
- Emniyetli bir mesafeden patlatma yapılabilir
- Her deliğe ayrı gecikme verilebildiği için özellikle sarsıntı sorununun olduğu bölgelerde daha büyük hacimli atımlar yapılabilir.
- Depolamada daha az yer kaplar.
- Ön kesme ve son kesme uygulamalarında piro teknik gecikme elemanlarına sahip konvansiyonel kapsüllere göre çok daha verimlidir.



Şekil 3. Kaydedici'nin akım kaçağı kontrol şeması (3)

4.2 Dezavantajları

- Fiyatının diğer kapsüllere göre fazla olması
- Kullanacak kişinin iyi eğitilmiş olması gerekir

5 ELEKTRONİK KAPSÜLLERİN PATLATMA EKİPMANLARI

Elektronik kapsülleri patlatmak için mutlaka kaydedici (Logger), Manyeto'ya (Blaster) ve ateşleme kablolarına ihtiyaç vardır.

5.1 Kaydediciler (Logger)

Her bir kaydedicinin (logger) 200 adet elektronik kapsül saklama bilgisi ya da "kayıt" kapasitesi bulunmaktadır. Kaydedicilerin görevi her bir kapsüle gecikme zamanı atamak, silmek, kapsülü test etmek ve akım kaçaklarını bildirmektir. Kaydedici 5 voltluk bir çıkış voltajı üzerinden çalışmaktadır. Kapsül ve kaydedici arasında güvenli haberleşme için her bir kapsüle 4 voltluk potansiyel fark sağlanmalıdır. Böylece sistem kablosu üzerindeki maksimum voltaj düşüşü 1 volt altında tutulur. İdeal koşullar altında kullanılacak sistem kablosunun maksimum uzunluğu (hiçbir akım kaçağı yokken) 2000 metredir.



Şekil 4. Kaydedici'nin (logger) genel görünümü (6)

Kapsüllerin kaydedilmesi sırasında, kaydedici kesintisiz olarak akım kaçağını ölçer. Eğer yeni bir kapsül bağlantısı sırasında 1mA'den fazla akım kaçağı ölçülmesi durumunda, ekran üzerinde bir uyarı görülür ve akustik bir ses sinyali duyulur. Bir kapsüle 0–15000 ms arasında bir gecikme süresi verilebilir. İngilizce, Almanca, Fransızca ve İspanyolca dil seçenekleri bulunmaktadır. Kaydedicilerin menüsünde kapsüllere gecikme süresinin yüklenmesi, otomatik veya manuel olarak 2 şekilde yapılabilir.

5.2 Manyetolar (Blaster)

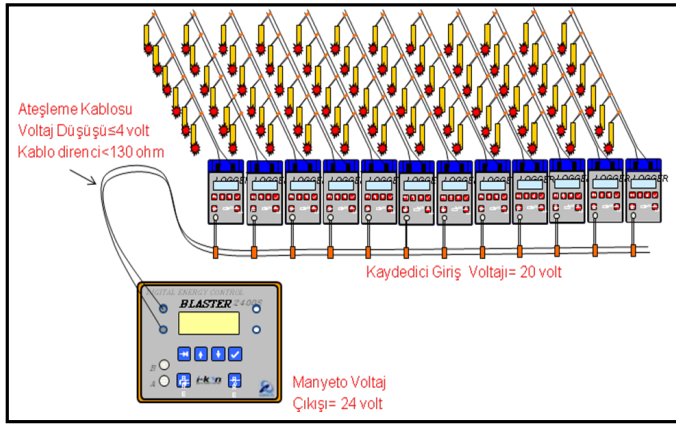
Ateşleyici kaynağı olarak dört farklı manyeto (blaster) bulunmaktadır. Blaster 400, 2 kaydedici ile 400 kapsüle kadar ateşleyebilir. Blaster 2400, tek başına 12 kaydedici ile 2400'e kadar kapsülü ateşleyebilir ve 24 kaydedici ile 4800 kapsülü senkronize olarak ateşleyebilir. Yüzey Kumanda Patlatma Sistemi (SURBS) 12 kaydedici üzerinde 2400'e kadar kapsülü patlatabilir. Merkezi Elektronik Patlama Sistemi (CEBS) yer altı için bir kumanda

sistemi, 12 kaydedici üzerinde 2400 kapsülü ateşleyebilir.



Şekil 5. Manyetoların (blaster) genel görünümü (6)

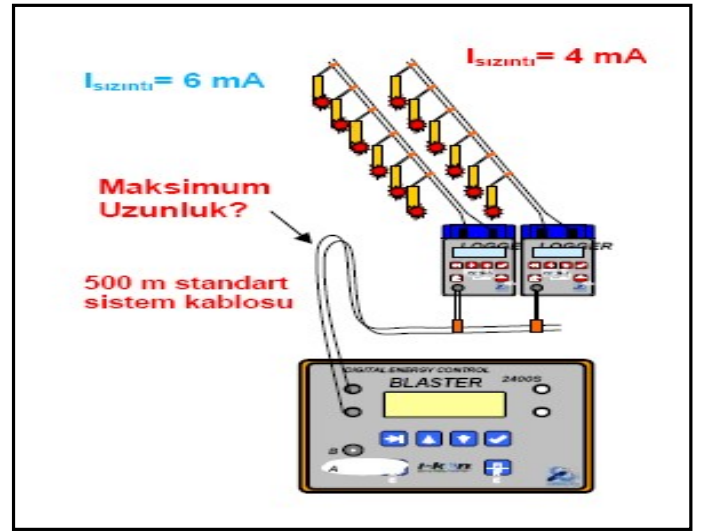
Kapsüllerin programlanması sırasında, manyeto (blaster) 24 volt ile çalışmaktadır. İdeal koşullar altında kullanılacak sistem kablosunun maksimum uzunluğu (hiçbir akım kaçağı yokken) 1000 metredir. Her bir kaydedici 20volt ile beslenmesi gerektiğinden manyeto kabloları boyunca izin verilebilir maksimum voltaj düşüşü 4 voltur. Sistem üzerindeki voltaj düşüşü öncelikle akım kaçağına, patlatma kablosunun direncine, kaydedicilerin güç tüketimine ve sisteme bağlı kapsüllere bağlıdır. Sistem özellikleri kaydedicilerin ve bağlı kapsüllerin güç tüketimini de hesaplamaktadır.



Şekil 6. Manyeto (blaster) voltaj düşüşü kontrol şeması (3)

5.3 Ateşleme Kabloları

Kaydedicinin (logger) ve Manyetonun (blaster) özel üretilmiş ateşleme kabloları bulunmaktadır. Her bir kaydedici için kablo boyu, akım kaçağının olmadığı ideal koşullar altında 2000 metredir. Manyeto ve kaydedici arasında kullanılan ateşleme kablosu ideal koşullar altında akım kaçağı olmaksızın 1000 metredir. İhtiyaç duyulacak ateşleme kablolarının uzunluğunu hesaplamak için iki yöntem bulunmaktadır. 1.yöntem grafik yöntemi ile ateşleme kablosunun uzunluğunun belirlenmesi, 2.yöntem ise ohm kanunu kullanarak ateşleme kablosunun uzunluğunun belirlenmesidir.



Şekil 7. Ateşleme kablosu hesabı 1 (3)

5.3.1 Grafik yöntemi

Her bir devre üzerindeki akım kaçağı bir kaydedici (Logger) ile ölçülebilir. Kaydedici-1 6mA'lık, Kaydedici-2 ise 4mA'lık bir akım kaçağı ölçmüştür. Her bir kaydedici için 0,75mA'lık güç tüketimi hesaba katılmalıdır (kaydediciye bağlı olan kapsül sayısından bağımsız olarak). Bu durumda toplam akım kaçağı 11.5mA olarak hesaplanır.

$$\text{Her bir kaydedici} = 0.75 \text{ mA}$$

$$\sum I_{\text{kaydedici}} (0.75 \times 2) = 1.5 \text{ mA}$$

Kaydediciler üzerindeki akım kaçağı;

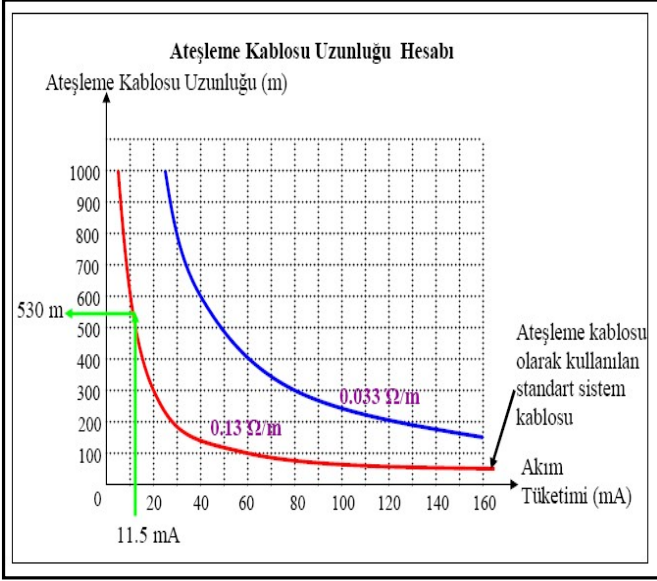
$$\text{Kaydedici 1 } I_{\text{kaydedici}} = 6 \text{ mA}$$

$$\text{Kaydedici 2 } I_{\text{kaydedici}} = 4 \text{ mA}$$

$$\sum I_{\text{akım kaçağı}} = 10 \text{ mA}$$

Akım Toplamları

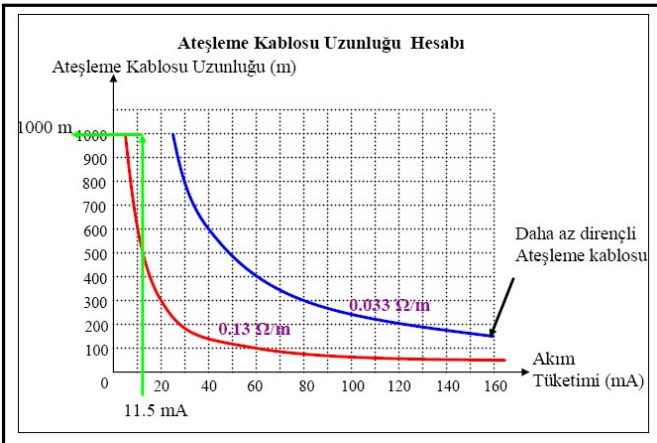
$\sum I_{\text{akım kaçığı}} = 1.5 \text{ mA} + 10 \text{ mA} = 11.5 \text{ mA}$
 Şimdi, aşağıdaki grafik kullanılarak maksimum ateşleme kablosu belirlenebilir.



Şekil 8. Grafik yöntemi ile ateşleme kablosu hesabı (3)

Yaklaşık 0.13 Ω/m direnci olan bir standart sistem kablosu kullanılacak olursa maksimum uzunluk yaklaşık 530m olmalıdır. Hiçbir akım kaçığı olmaması durumunda 500m ateşleme kablosu sistem limitlerine yakındır.

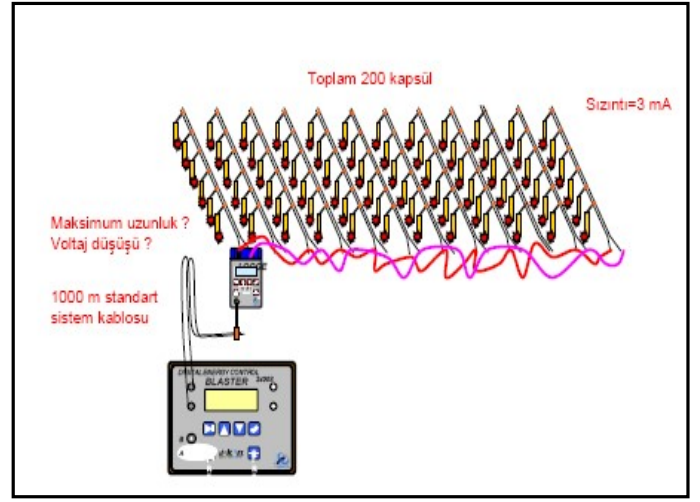
Şekil 9'daki grafikte yer alan daha az dirençli 0,033 Ω/m ateşleme kablosu seçilirse, bu, akım kaçığını önemli bir şekilde düşürecektir. Bu şekilde bir ateşleme kablosunun maksimum uzunluğu 1000 m'ye kadar yaklaşır.



Şekil 9. Grafik yöntemi ile ateşleme kablosu hesabı 2 (3)

5.3.2 Ohm kanunu yöntemi

İlk adım, Bölüm 5.3.1'de anlatılan sistem içerisindeki akım kaçaklarının toplamıdır.



Şekil 10 Ateşleme kablosu hesabı 2 (3)

Spesifik olarak güç tüketimi her bir kaydedici ve bağlı kapsüller için mutlaka 3.5 mA ile hesaplanmalıdır (kaydediciye bağlı olan kapsül sayısından bağımsız olarak). Kaydedici ile ölçülen 3 mA, daha yüksek patlatma akımından dolayı 5 ile çarpılmalıdır (yaklaşık 5 kat). Sistem içerisindeki toplam akım kaçığı 18,5 mA olarak hesaplanır.

Kaydedici ile kapsüllerin akımı = 3.5 mA
 Kaydedici(ler) üzerindeki akım = 3x5=15 mA

Akımlar toplamı $\sum I = 18.5 \text{ mA} = 0.0185 \text{ A}$

Ateşleme kablosunun direncinin hesaplanması;

Direnç = 1000 m x 0.13 Ohm/m = 130 Ohm

Ateşleme kablosu üzerindeki voltaj düşüşü, ohm kanununun kullanılması ile hesaplanabilir;

Ohm Kanunu;

$V \text{ (volt)} = R \text{ (direnç)} \times I \text{ (akım)}$

$V \text{ (volt)} = 130 \text{ Ohm} \times 0.0185 \text{ A} = 2.4 \text{ volt}$

Belirlenen voltaj düşüşü yaklaşık 2.4 voltur. Bundan dolayı, kaydediciler 20 volttan daha fazlası ile beslenir, bu da bir patlatmayı tetiklemek için yeterlidir.

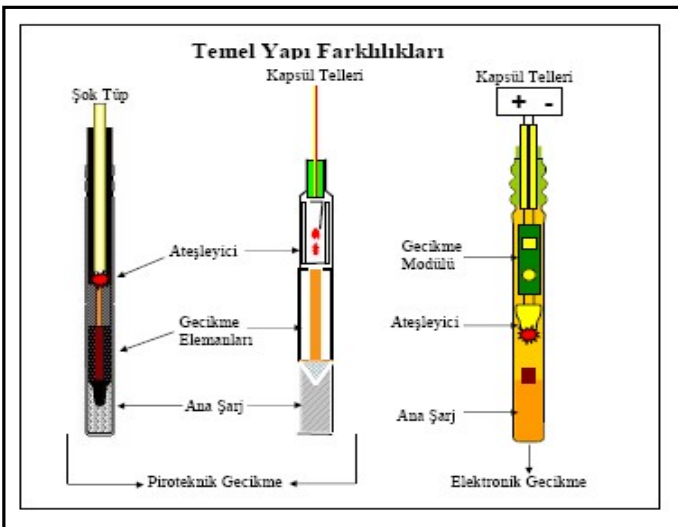
6 PİROTEKNİK GECİKMELİ KAPSÜLLER İLE KIYASI

Elektronik kapsüller, gecikme elemanı piroteknik malzeme ile üretilen diğer kapsüller ile kıyaslandığında en büyük temel farklılık gecikme elemanlarının farklı olmasıdır. Şekil 11'de görüldüğü gibi ana

şarj ve primer şarj her kapsülde aynı yerde ve aynı patlayıcı madde olabilmektedir. Diğer bir farklılık ise ateşleyici ve elemanıdır. Elektrikli kapsüllerde bulunan ateşleyici elemanı (kibrit başı) elektronik kapsüllerde de bulunmaktadır. Elektriksiz kapsüllerde kibrit başı yerine şok tüp kullanılmaktadır. Ateşleyici, elektrikli ve elektriksiz kapsüllerde gecikme elemanından önce gelmektedir. Fakat elektronik kapsüllerde ateşleyici gecikme modülünden sonra gelmektedir.

Konvansiyonel kapsüllerde gecikme elemanı, standart bir sürede yanmak üzere tasarlanmış piroteknik malzemeden oluşur. Ayrıca gecikme sürelerine dışarıdan herhangi bir müdahale edilip değiştirilemez. Bu tür kapsüllerin gecikme sürelerindeki sapma elektronik kapsüllere göre çok daha fazladır.

Elektriksiz kapsüllerde iki farklı ürün bulunmaktadır. Açık ve yer altı işletmeleri için ayrı kapsüller üretilmektedir. Açık işletmelerde 25 ms aralıklarla artan 40 yakın (farklı markalar) gecikme bulunmaktadır. Yer altı işletmelerinde ise 100-500 ms aralıklarla artan 25-30 farklı seri üretilmektedir. Elektronik kapsüllerdeki mikro çipe 1ms artışla 0–15000 ms arasında bir gecikme verilebilir. Çok hassas patlatmaların yapıldığı yerlerde standart kapsüller sınırlayıcı olmakta ve yeterli sayıda seri bulunamadığından kritik noktalarda patlatma yapılamamaktadır.



Şekil 11. Temel yapı farklılıkları (6)

7 TÜRKİYE’DE GERÇEKLEŞTİRİLEN UYGULAMALAR

15–16 Mart 2005 tarihlerinde Türkiye’de ilk kez elektronik ateşleme sistemleri ile biri yeraltı projesi olmak üzere üç farklı patlatma Ankara’da gerçekleştirilmiştir. Bu denemelerdeki en önemli ayrıntı gerek elektrikli kapsül gerekse elektriksiz kapsüller ile sağlanması mümkün olmayan 20ms gecikme süresinin kullanılmış olmasıdır. Yerüstü atımları sırasında delikler arası gecikme süresi olarak 20ms seçilmiştir.

Patlayıcı madde kullanıcılarının ve akademik personelin ilgi duyduğu etkinlikte ayrıca Ankara Hilton Oteli Seminer salonunda elektronik kapsüller üzerine bir seminer gerçekleştirilmiştir.

7.1 Baştaş Çimento Fabrikası Taş Ocağı

Baştaş Çimento Fabrikası yönetiminin desteğiyle firmanın Ankara İli, Elmadağ İlçesinde bulunan taş ocağında elektronik kapsüllerle 16.03.2005 tarihinde bir patlatma gerçekleştirilmiştir. Patlatmalar öncesinde Baştaş Çimento yetkilileriyle yapılan görüşmelerde var olan patlatma tasarım ve parametrelerinin değiştirilmemesi üzerinde fikir birliğine varılmış, sadece gecikme süreleri tarafımızdan ayarlanan elektronik kapsüller ateşleme sistemi olarak kullanılmıştır (Çizelge 2). Burada önemli olan

Çizelge 2. Baştaş Çimento Fabrikası Taş Ocağı’nda yapılan patlatmanın parametreleri.

Formasyon	: Kireç Taşı
Delik düzeni	: Şaşırtmalı
Delik durumu	: Kuru-sulu
Basamak yüksekliği	: 7.0-10.0 m
Alt delme	: 1.0 m
Şarj boyu	: 4.5 m – 8.5 m
Yük mesafesi	: 2.5 m
Delikler arası mesafe	: 3.0 m
Sıkılama	2.5 m

Patlatılan alanın hacmi	: 52.5 – 75.0 m ³ /delik
Patlatılan delik sayısı	: 52 ad.
Patlayıcı delik çapı	: 89 mm
Ana patlayıcı	: Emülsiyon, ANFO
Ana patlayıcı miktarı	: 22.5 – 42.5kg/delik
Yemleme	: Powergel Magnum (50*450mm) 1.0 Kg
Ateşleme sistemi	: i-kon Elektronik Kapsül
Özgül Şarj	: 0.43 – 0.57 kg./m ³



Şekil 13. Deliklerin ANFO ile doldurulması

Ateşleme sisteminin gecikme süreleri programlandıktan sonra ana patlayıcı olarak kullanılan ANFO 25kg.lık torbalar vasıtasıyla deliklere sıkılama boyu gözetilerek doldurulmuştur (Şekil 13).

Deliklerin doldurulma işlemi tamamlandıktan sonra elektronik kapsüllerin bağlantıları yapılmıştır. Alınan güvenlik önlemleri sonrasında patlatma gerçekleştirilmiştir. Patlatma alanının konumu gereği kısıtlı serbest yüzey alanı nedeniyle patlatma sırasında savrulma gözlenmiştir.

Patlatma sonucu oluşan yığın şekli ve geometrisi, ortalama parça boyutlarının uygun olduğu görülmüştür (Şekil 14).

Elektronik kapsüllerin gecikme süreleri kaydedici (logger) aracılığıyla delik başında ayarlanmıştır (Şekil 12). Patlatma performansını arttırabilmek için komşu deliklerin ateşlenmesinde uygun kısa gecikmelerin kullanıldığı seride, her deliğin ayrı ayrı olarak ateşlenmesi planlanmıştır.



Şekil 12. Patlatma deliklerine yerleştirilen elektronik kapsüllerin gecikme sürelerinin yüzeyden ayarlanması



Şekil 14. Patlatma sonrası yığın görünümü

7.2 Yibitaş Lafarge Taş Ocağı

Yibitaş Lafarge'nin Ankara İli, Lalahan beldesinde bulunan bulunan taş ocağında elektronik kapsüllerle 15.03.2005 tarihinde bir patlatma gerçekleştirilmiştir. Patlatmalarda işletmenin var olan delme patlatma parametreleri korunmuştur (Çizelge 3).

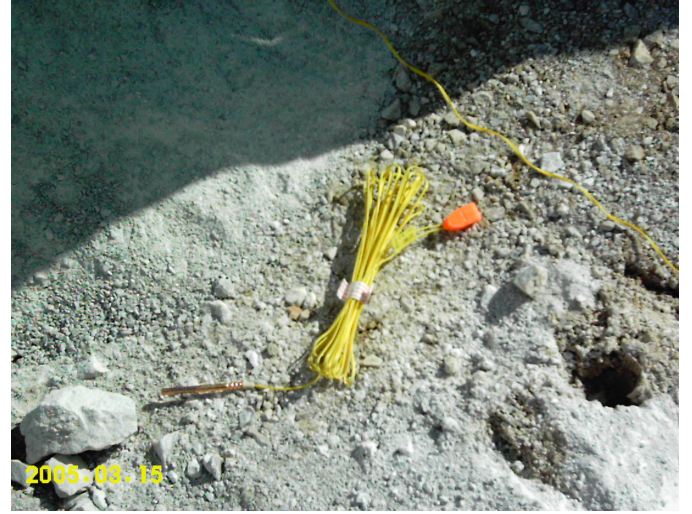
Çizelge 3. Yibitaş Lafarge Taş Ocağı'nda yapılan patlatmanın parametreleri.

Formasyon	: Kireç Taşı
Delik düzeni	: Şaşırtmalı
Delik durumu	: Kuru-sulu
Basamak yüksekliği	: 10.0 m
Alt delme	: 1.0 m
Şarj boyu	: 6.5 m
Yük mesafesi	: 3.5 m
Delikler arası mesafe	: 4.0 m
Sıkılama	3.5 m
Patlatılan alanın hacmi	: 140.0 m ³ /delik
Patlatılan delik sayısı	: 44 ad.
Patlayıcı delik çapı	: 102 mm
Ana patlayıcı	: Emülsiyon, ANFO
Ana patlayıcı miktarı	: 42.25 kg/delik
Yemleme	: Powergel Magnum (50*450mm) 1.0 Kg
Ateşleme sistemi	: i-kon Elektronik Kapsül
Özgül Şarj	: 0.30 kg./m ³

Elektronik kapsüllerin gecikme süreleri logger aracılığıyla delik başında ayarlanmıştır (Şekil 12). Ana patlayıcı (ANFO), yemleme (Powergel Magnum 50*450mm) ve elektronik kapsüller deliklere dağıtılmıştır (Şekil 15, Şekil 16).



Şekil 15. Delik başlarına dağıtılan ANFO ve yemleme (Powergel Magnum 50*225mm)



Şekil 16. Delik başlarına dağıtılan elektronik kapsüller (i-kon Detonator)

Ateşleme sisteminin gecikme süreleri programlanırken (Şekil 17) aynı zamanda ana hat iletken teli ile (harness wire) bağlantıları yapılmıştır (Şekil 18).



Şekil 17. Kaydedici (Logger)

Gecikme süreleri yüzeyden programlanırken aynı zamanda da deliklerin birbirleriyle olan

bağlantıları yapılmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. Bağlantısı yapılmış gecikme süresi ayarlanmış bir patlatma deliği

Deliklerin doldurulma işlemi tamamlandıktan sonra elektronik kapsüllerin bağlantıları tamamlanmıştır. Alınan güvenlik önlemleri sonrasında patlatma gerçekleştirilmiştir.

Patlatma sonucu oluşan yığın şekli ve geometrisi, ortalama parça boyutlarının son derece iyi olduğu görülmüştür (Şekil 19).



Şekil 19. Patlatma sonrası yığın görünümü

8.5 Ulus-Keçiören Metro İnşaatı

Türkerler - Limak Adi Ortaklığı'nın yapımını üstlendiği Ulus-Keçiören Metro İnşaatının Kuyubaşı Bölgesi tünellerinde elektronik kapsüllerle 16.03.2005 tarihinde bir patlatma gerçekleştirilmiştir. Sarsıntı kontrolü için daha önceden belirlenmiş gecikme başına patlayıcı miktarına uymak adına ayna iki kademe patlatılmaktadır.

Önce aynanın alt kısmı kesme bölgesiyle birlikte patlatılmakta, daha sonra alt tarafta serbest yüzey oluşturulduktan sonra üst bölüm tavan ve aşağı tarama delikleri patlatılmaktadır (Şekil 20). Bu iki ayrı patlatma çalışma sırasında büyük zaman kaybına yol açmakla birlikte var olan piroteknik kapsüllerin gecikme sayıları bu çalışmayı zorunlu kılmaktadır.

Elektronik kapsüllerde birer milisaniye aralıklarla 15000 milisaniye kadar gecikme verilebildiğinden aynayı iki kademe patlatmak yerine tek seferde patlatılması planlanmıştır.

Çizelge 4. Keçiören Metro tüneli genel delme-patlatma parametreleri

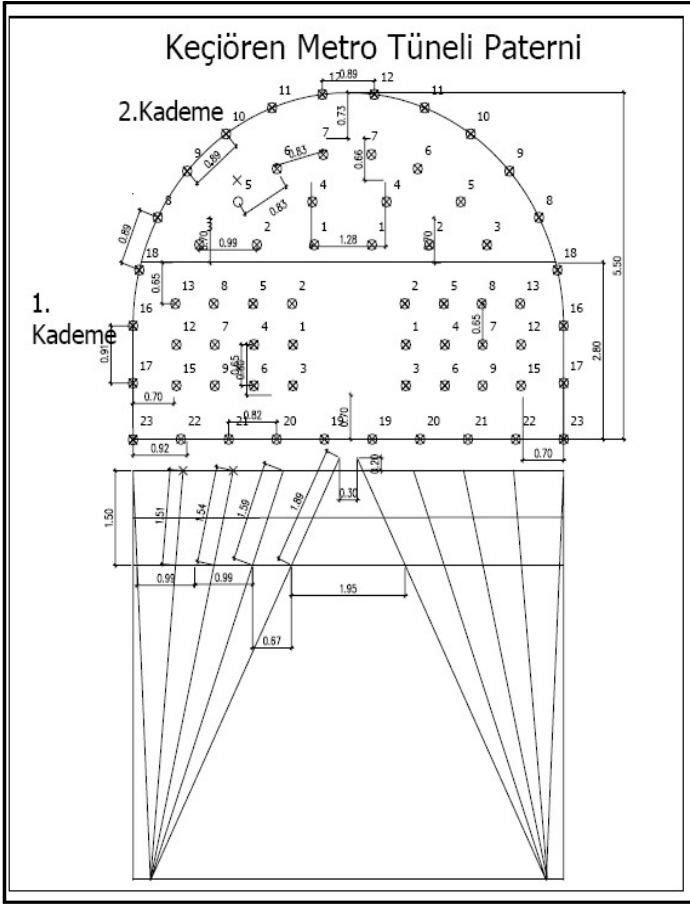
Formasyon	: Dasit andezit
Patlatma yöntemi	: V-kesme
Kesit alanı	: 31.09 m ²
Galeri taban genişliği	: 6.00 m
Galeri yüksekliği	: 5.50 m
Ortalama delik sayısı	: 64 ad.
Patlayıcı delik çapı	: 45 mm
Delik boyu	: 1.50 m
Şarj boyu (kesme)	: 0,675 m
İlerleme (%90)	: 1.35 m
Patlatılan Hacim	: 46.635 m ³
Ana patlayıcı	: P. Magnum 365 Ø 38x225 mm
Toplam ana patlayıcı	: 41.004 Kg.
Ateşleme sistemi	: Exel LP 2 m.
Yüzey bağlantı sistemi	: Infilaklı fitil (5g./m)
Ozgül şarj	: 0.88 kg./m ³
Ozgül delik	: 2.06 m/m ³

Her deliğe 100'er milisaniye aralıklarla ayrı ayrı gecikmeler verilmiştir (Şekil 21). Patlatma sonucunda tünel aynasında bazı deliklerin kalıntılara rastlanmış ilerlemenin %100 olmadığı görülmüştür. Denemelerde, şekil 20'de görülen tasarımda alt yarısındaki kesme bölgesinde bulunan 1,2,3 nolu gecikmelere 3 adet 306 gr'lık (bir delikte toplam 918 gr), diğer deliklere ise 2 adet 306 gr'lık (toplam 612 gr/delik) patlayıcı şarjlanmıştır. Elektronik kapsüller ile yapılan deneme ise her deliğe 2 adet 306 gr'lık patlayıcı şarjlanmıştır (Şekil 21). Beklenen ilerlemenin gerçekleşmemesi özgül şarjın

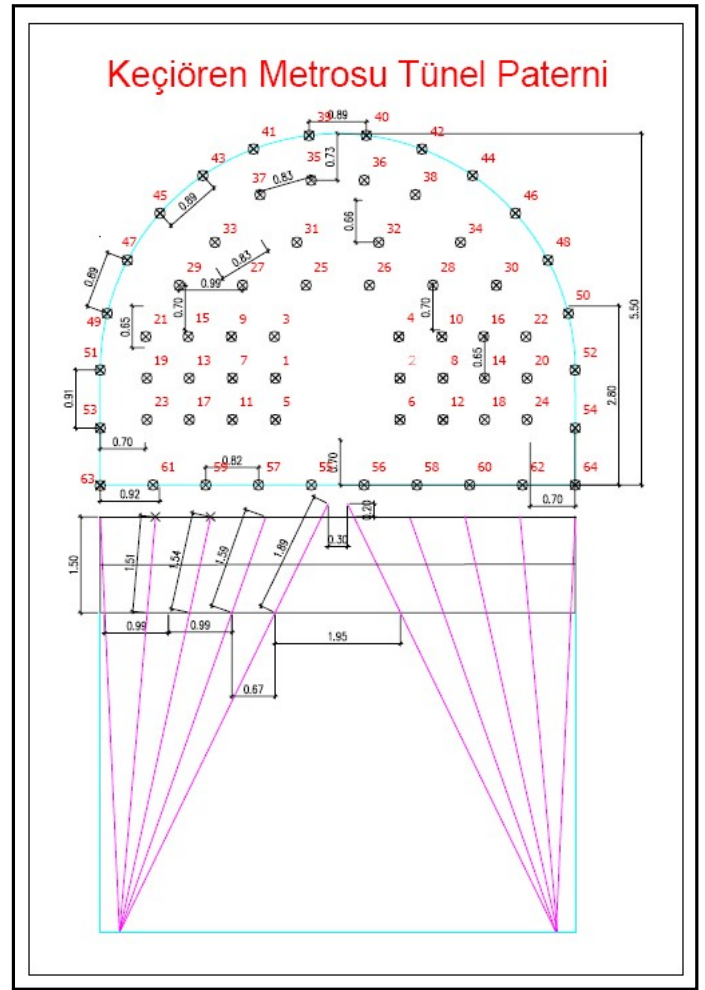
düşük olmasına, kesme bölgesindeki yetersiz şarj yoğunluğuna ve boyuna bağlıdır (Çizelge 4 ve Çizelge 5). Elektronik kapsüller ile yapılan deneme patlatmasında ölçülen sarsıntının (PPV) değeri elektriksiz kapsüller ile yapılan patlatmalardan daha düşük olduğu görülmüştür. Patlatma verimliliği ile ilgili kısmi sorunlar ile karşılaşılsada temelde çözülmeyecek bir sorun olmadığı söylenebilir. Bu durumda bir kaç iyileştirme ile elektronik kapsüller ile tam kesitte patlatma yapıldığında sorunsuz çalışmalar gerçekleştirilebileceği görülmüştür. Sonuç olarak birim maliyetleri yüksek olan bu ateşleme sistemi bu gibi birden fazla kesitte patlatma yapılan tünellerde patlatma operasyonunun süresini düşüreceğinden kullanım alanı bulabilir.

Çizelge 5. Keçiören Metro tüneli elektronik kapsül deneme parametreleri

Formasyon	: Dasit andezit
Patlatma yöntemi	: V-kesme
Kesit alanı	: 31.09 m ²
Galeri taban genişliği	: 6.00 m
Galeri yüksekliği	: 5.50 m
Ortalama delik sayısı	: 64 ad.
Patlayıcı delik çapı	: 45 mm
Delik boyu	: 1.50 m
Şarj boyu (kesme)	: 0,45 m
İlerleme (%70)	: 1.05 m
Patlatılan Hacim	: 46.635 m ³
Ana patlayıcı	: P. Magnum 365 Ø 38x225 mm
Toplam ana patlayıcı	: 39.168 Kg.
Ateşleme sistemi	: i-kon elektronik kapsül
Ozgül şarj	: 0.84 kg./m ³
Ozgül delik	: 2.06 m/m ³



Şekil 20. Elektriksiz kapsül ile yapılan genel patlatma tasarımı



Şekil 21. Elektronik kapsül ile yapılan deneme patlatmasının tasarımı

8 SONUÇLAR

Bu bildiri de çeşitli kaynaklardan yapılan derlemeler ile dünyada her geçen gün kullanımı artan elektronik kapsüller hakkında detaylı bilgiler verilmiş ve ülkemizde bu ürünler ile yapılmış olan ilk uygulamalar anlatılmıştır.

Ticari olarak ilk kez 1993 yılında kullanılan elektronik kapsüller teknik üstünlüklerine karşın yüksek maliyetleri nedeniyle şimdilik özel ve sınırlı sayıda projede kullanım alanı bulmaktadırlar. Türkiye’de elektronik kapsüller kullanılarak gerçekleştirilen bu ilk patlatmaların üzerinden henüz 5 yıl geçmesine rağmen bu kapsüllerin birim maliyetleri bugün yarı yarıya düşmüştür. Bu, yakın bir gelecekte bugün kullandığımız piroteknik ateşleme sistemlerinin yerini elektronik kapsüllere bırakacağı anlamına gelmektedir.

9 KAYNAKLAR

1. Orica Mining Services, *i-kon Digital Energy Control System Technical Data Sheet*.
2. Orica-Nitro Patlayıcı Madde San. Tic. A.Ş., Ankara, Türkiye, 2003. *Kaya Patlatma Tekniği (Yayımlanmamış)*, (50 - 64 s.).
3. Orica, *Annual International Course, Advanced Rock Blasting Technique Notes – Best Practise.*, Sweden, 2009. (14 – 18 s.).
4. Orica, *i-kon Electronic Detonators Manual*.
5. Orica, *Advance Blasting Course Notes – U.K.*, Manchester, 2001.
6. Orica, *Annual International Course, Advanced Rock Blasting Technique, Electronic Blasting System Workshop.*, Sweden 2009.
7. Orica, *Annual International Course, Advanced Rock Blasting Technique, Initiation Systems Workshop.*, Sweden 2009

