

# Çimento Hammaddeleri için Optimum Kırıcı Seçimi ve İşletilmesi

## Optimum Selection and Operation of Crusher for Cement Raw Materials

**Hasan ERGİN, Cengiz KUZU**

İTÜ, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 34390, Maslak, İstanbul  
hergin@itu.edu.tr, kuzu@itu.edu.tr

**ÖZET:** Kırma teknolojisi; kütle, hız, kinetik enerji, gravite gibi çok sayıda fizik kanunu perspektifinde başlamıştır ve gelişme göstermektedir. Buna rağmen uygulamada kırıcı seçimi, bilimsel metodlardan uzak, daha çok kişisel tecrübeler ve yapılan bazı testler ışığında yapılmaktadır. Bu çalışmada, çok sayıda çimento fabrikasında, hammadde hazırlama işlerinde kullanılan kırıcı sistemleri incelenerek, gerek hammadde özellikleri gerekse makine özellikleri dikkate alınarak optimum kırıcı seçimine ışık tutacak bir veritabanı oluşturulmuştur. Bunun sayesinde, ,değişik kırıcı tipleri için, beslenen malzeme özellikleri (sertlik, rutubet, aşındırıcılık), boyut dağılımı ve istenilen ürün boyutu spesifikasyonlarma bağlı olarak kırıcı sistemlerinin optimum kullanım sınırları ve şartları (boyut küçültme oranı, enerji tüketimi, ürün boyut dağılımında stabilité, toz oluşumu) tanımlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çimento hammadde hazırlama. Kırıcı tipleri, Optimum kırıcı seçimi

**ABSTRACT:** The technology of crushing was initiated and is being developed by the laws of physics involving mass, velocity, kinetic energy and gravity. Crusher selection, even today, is not made under the scientific rules but it is still mainly a matter of personal experience and testing. In this study, it is aimed at developing a database that serves how to decide the optimum crusher according to the cement raw materials which are subject to crushing. Hence, the optimum application conditions and borders (size reduction ratios, energy consumption, stability on product size distributions, dust generation) have been determined for the different crushers under the known material characteristics (hardness, moisture, abrasiveness), maximum feed size and the required product size distributions.

**Keywords:** Preparation of cement raw materials, Crusher types, Optimum crusher selection

## 1. GİRİŞ

Çimento üretiminde kırma işlemi, hammadde ocağında üretilen malzemenin fabrikada mevcut bulunan hammadde öğütme sistemine beslenmeye uygun boyuta getirilmesini ifade eder. Çimento hammaddelerinin kırma işlemi genellikle basit bir prosedür ibaret olmakla birlikte, nadir de olsa aşınma ve sıvanma problemi ile karşılaşmaktadır. Bazı çimento fabrikaları hammadde kırma işlemini yalnızca bir kırıcı ile yaparken (yaygın olarak çekiçli kırıcı ile) günümüzde yeni kurulan çimento fabrikalarının çoğunda 2-3 hammadde kırıcı hattı kurulmaktadır. Bu da fabrikaya hammadde beslemesinin koordinasyonunu kolaylaştırmakta ve optimum kırıcı ünitesinin seçilebilmesine imkan vermektedir.

Çimento üretiminde hammadde kırıcı ünitelerindeki enerji tüketimi diğer üretim birimleri ile karşılaştırıldığında çok düşüktür. Ancak kırıcı ünitelerinin ve ekipmanlarının seçiminde enerji tüketiminden çok aşağıda belirtilen üç nokta önemli olmaktadır:

- Üretim prosesinin güvenilirliği
- Bakım ve aşınmanın ekonomik boyutu
- Yatırım maliyetleri [1]

Kırma teknolojisi; kütle, hız, kinetik enerji, gravite gibi çok sayıda fizik kanunu perspektifinde başlamış ve gelişme göstermektedir. Buna rağmen uygulamada kırıcı seçimi, bilimsel yöntemlerden uzak, daha çok kişisel tecrübeler ve bazı test sonuçları ışığında yapılmaktadır. Bu çalışmada, çok sayıda çimento fabrikasında, hammadde hazırlama işlerinde kullanılan kırıcı sistemleri incelenerek, gerek hammadde özellikleri gerekse makine özellikleri dikkate alınarak optimum kırıcı seçimine ışık tutacak bir veritabanı oluşturulması amaçlanmıştır.

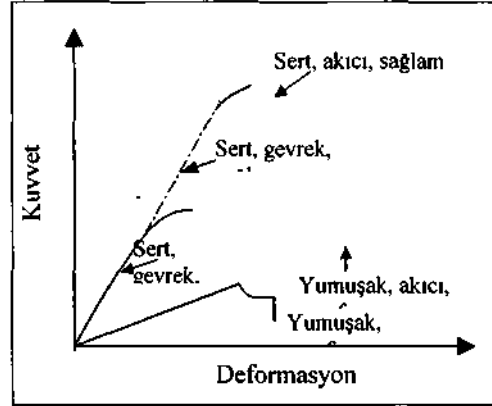
## 2. KIRMA İŞLEMİNİN İLKELERİ

Katı cisimlerin parçalarını birbirine bağlı tutan iç kuvvetlerin varlığı ve bu kuvvetlerin değişik yönlerde değişik değerler taşıdığı bilinmektedir. Dıştan tatbik edilecek bir kuvvetle, iç kuvvetlerin yenilmesi sonucu boyut küçültme işlemi gerçekleşir. Tatbik edilecek dış kuvvet "darbe", "basınç" veya "kesme" kuvveti şeklinde olabilir. Dış kuvvetin parçalara

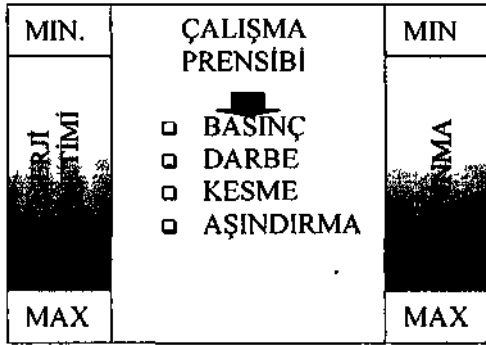
uygulama şekli, kırıcının yapısına bağlıdır. Boyut küçültme başlangıç ve bitiş seviyeleri arasındaki fark önemli olup, gerek malzeme gerekse araç yapıları gözönüne alınarak boyut küçültmenin kademeli şekilde uygulanması tercih olunur.

Maddelerin sertlik - H (hardness) ve dayanıklılık - K (toughness) özellikleri, sırasıyla deformasyona ve çatlak oluşmasına karşı dirençlerini ifade etmektedir. H/K gevreklik indeksi (index of brittleness) olarak tanımlanmaktadır. Bu indeks yüklenme şartlarından bağımsızdır ve maddelerin boyut küçültme kolaylığına göre sınıflandırılmasında önemli bir yaklaşımdır. Yüksek gevreklik indeksi olan maddelerin kolay boyut küçültme özelliği olup, düşük gevreklik indeksine sahip malzemelerin ise boyut küçültmeleri zordur. Çünkü plastik örneğinde olduğu gibi, çatlakların oluşum dirençleri yüksektir.

Maddelerin aşınma (abrasion), uzayıp genişleyebilme özelliği (ductility) ve sıvanma özelliği (stickyness) boyut küçültme işlemlerinde etkin olan diğer yapısal özellikleridir. Malzeme özelliklerine bağlı olarak kuvvet-deformasyon ilişkisi Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 2'de ise kırma işleminde etken olan kuvvetler ve bu kapsamda enerji tüketim oranları ile aşınma ilişkisi karşılaştırılmaktadır. İlk bakışta, basınç prensibi ile kırma, hem enerji tükeminin hem de aşınmanın en az olduğu şartları sağladığı için öncelikle seçilmesi gereken seçenek olarak görülmektedir.



Şekil 1. Malzeme Özelliklerine Bağlı Kuvvet-Deformasyon Değişimi [1,2]



Şekil 2. Kıırma Prosesinin Prensipleri

Ancak malzemenin sıvanma özelliği, besleme boyutu, ürün boyut dağılımı, ilk yatırım maliyetleri v.d. şartlar dikkate alındığında kırıcı seçim prosesi daha farklı ve komplike bir şekil almaktadır.

Bir kırma ünitesinde, kırıcı makine ana komponenttir. Kırıcının tipi ve tasarımına bağlı olarak, beslenecek malzemenin şartları ve üründe istenen spesifikasyonlara bağlı olarak kırıcı sistemi az veya çok komplike olabilmektedir.

### 3. OPTİMUM KIRICI SEÇİMİ

Optimum kırıcı seçiminde Çizelge 1'de verilen ve aşığıda açıklanan parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir [1,3,4].

#### 3.1. Malzemenin Durumu ve Fiziksel Özellikleri

Doğru kırıcı seçimi için, kırılacak malzemenin özellikleri ve kırılmış üründe aranan özellikler bilinmek zorundadır. Genellikle malzemenin cinsi, kimyasal kompozisyonu, homojenliği, beslenecek malzemenin maksimum boyutu, maksimum su içeriği ve yoğunluğu yanında istenilen ürün boyut dağılımı ile ilgili bilgiler hazır proje bilgileridir. Ancak, enerji tüketim miktarı, aşındırma özellikleri, malzeme basınç dayanımı ve sıvanma özelliklerinin de belirlenmesi gerekir. Enerji tüketimi, aşınma ve sıvanma özelliklerinin belirlenmesinde genel kabul gören standartlar mevcut değildir. Özellikle sıvanma özelliğinin tespiti yanında, bunun negatif etkisinin önlenmesi ve iyileştirilmesi çok zor olup, temelde bu özellik malzemenin yapısı ve

su içeriği ile ilgilidir. Marn ve kil gibi ince taneli, iyi konsolide olmamış çimento hammaddeleri sıvanma özelliğine daha yatkındırlar. Genel olarak %10-12'den daha az su içeriğine sahip çimento hammaddeleri çok seyrek olarak sıvanma problemi oluşturmaktadır. Dođal su içeriğinin tesbiti ocakta tecrübeli jeolog ve maden mühendisi tarafından yapılmalıdır. Kırıcıya beslenecek malzemenin maksimum boyutu da seçilecek kırıcı boyutuna karar vermede önemli bir etkindir. Malzemenin maksimum boyutu ve boyut dağılımı ocakta uygulanan delme patlatma prosesine bağlıdır. İkincil patlatma veya iri parçaların kırılması yoluyla kırıcıya beslenecek malzemenin maksimum boyutu düşürülebilmekte ancak bu da ilave zaman kullanımı ve maliyet artışı getirmektedir.

#### 3.2. Boyut Küçültme Oranı

Diğer önemli bir faktör de, kırıcının boyut küçültme oranıdır. Bu oran, kırıcıya beslenen malzemenin boyutunun kırıcıdan ürün olarak çıkan malzeme boyutuna oranını vermektedir. Düşük boyut küçültme oranına sahip kırıcılar çimento hammadde kırma işlemlerinde bazı problemlerle karşılaşılmasına neden olabilmektedir. Çeneli kırıcılar, konili kırıcılar ve merdaneli kırıcılar düşük boyut küçültme oranına sahiptir. Bunun yanında, çekiçli kırıcılar genellikle yüksek boyut küçültme oranına sahiptirler. Bu nedenle çekiçli kırıcıların kullanılması durumunda, kırma işlemi genellikle bir kademedede tamamlanabilmektedir. Diğer kırıcı tiplerinin kullanılması durumunda ise iki, üç veya bazen daha fazla kademedede kırma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır.

Eğer basit bir kırıcı ünitesine ihtiyaç varsa çıkışında ızgara olan çekiçli kırıcı uygun kırıcı olabilir. Bazen üründe en büyük boyut için bir kısıtlama olmayabilir bu durumda çıkışa ızgara konulması gerekmez. Eğer üründe en büyük boyut kontrolü kırıcı çıkışına konulan bir elekte sağlanıyorsa bu kez elek üstündeki kalın parçaları kırıcıya tekrar besleyecek bir taşıma ünitesine ihtiyaç vardır.

#### 3.3. Kapasite ve Kırıcı Boyutu

Kırıcı seçimi yalnızca belli bir kapasitenin sağlanması kriteri dikkate alınarak

seçilmemelidir. Eğer ocaktan gelen malzemede herhangi bir gecikme olursa, kırıcıya beslemenin yapılamaması nedeniyle durdurulması gerekir. Ayrıca bütün kırıcılarda primer ve sekonder olmasına bakılmaksızın malzemenin köprü yapması ve bloklaması nedeniyle durdurulması gerekebilir. Bu nedenle, kırıcılar bu problemlerin neden olacağı besleme gecikmelerinden dolayı üretimi aksatmayacak oranda, daha büyük kapasiteli seçilmek zorundadır. Minimum rezerve kapasite %25 olmalı, bu oran kritik durumlarda %50'ye kadar çıkartılmalıdır.

Kırıcı boyutunun seçilmesinde, beslenen en büyük parça boyutu, üretim kapasitesi ve ürünün inceliği dikkate alınmaktadır. Kapasite, üründen istenen inceliğe bağlı olarak değişmektedir. Yalnızca kırıcı kataloglarındaki verilere bakılarak, seçim yapılmamalı, mutlaka üretici firmanın kapasite garantisi aranmalıdır. Kırıcı için seçilecek motor boyutu da üretici firma tarafından seçilerek garanti edilmelidir.

#### **3.4. Hammadde Ocaklarında Uygulanan Üretim Yöntemi**

Hammadde üretiminde delme patlatma yöntemi kullanılıyorsa, delik boyutları ve geometrisi malzemenin özelliklerine uygun seçilmelidir. Uygun olmayan delme patlatma tasarımları, beslenecek malzemenin ortalama boyutunun kırıcı için çok büyük olmasına neden olabilmektedir. Özellikle yeni bir primer kırıcının alınması durumunda, eğer mevcut delici değiştirilmeyecekse bu durum mutlaka dikkate alınmalıdır. Keza değişik patlayıcılar, çıkan yığının özelliklerini ve parçalanmayı önemli derecede etkilemektedir.

Ocakta bulunan yükleme ve taşıma ekipmanları da seçilecek kırıcı ile uyumlu olmalıdır. Kırıcıya kesintisiz malzeme beslemesinin yapılabilmesi için malzemenin taşıma mesafesi, kamyon sayısı vd. üretim parametreleri dikkate alınmalıdır.

### **4. KIRICININ OPTİMUM İŞLETİLMESİ**

#### **4.1. İşletilmesi**

Kırıcıya beslenen malzemede mevcut ince tanelerin ayrılması kırıcı verimini arttıracaktır

Özellikle ince kırma işleminde kırıcı öncesinde iyi bir eleme, hem kırıcıdaki aşınma oranını azaltacak hem de üründeki toplam ince malzeme miktarını arttıracaktır. Genellikle aşırı rutubet ve hammadde içindeki kirlenme daha çok ince malzeme içinde bulunmaktadır. Aşırı rutubet ve kilin, kırıcı içinde oluşturacağı aşırı stresin de bu şekilde önüne geçilebilmektedir.

Kesintisiz ve düzgün (regüler) besleme kırıcının daha verimli çalışmasını ve kapasitesinin yüksek olmasını sağlayacaktır. Eğer bir kırıcı malzeme bekliyor ve boşta çalışıyorsa optimum çalışmadan söz etmek mümkün değildir. Primer kırıcının önüne bir silo konularak, düzgün besleme sağlanabilmektedir. Keza, eğer sekonder kırıcı mevcutsa beslenmedeki dalgalanmayı önlemek amacıyla yine bir stok yığını oluşturularak regüler olarak kırıcıya beslemenin yapılması maksimum verimliliğe ulaşılması için gereklidir. Kırıcılarda gereğinden fazla besleme yapılması durumunda, elektrik motorlarının ve hidrolik sistemlerin korunması dikkate alınmalıdır.

Optimum performansın ancak optimum işletim şartlarında elde edileceği unutulmamalıdır. Aşınmalar rutin olarak kontrol edilmeli ve gerekli ayarlamalar yapılmalıdır.

Kırıcıya beslenen malzemede metal parçalarının olabileceği dikkate alınmalı ve metal dedektör tarafından kırıcıya beslenmeden algılanarak ayrılması sağlanmalı ve kırıcıya vereceği zarar önlenmelidir.

Kırıcı ünitelerin otomasyonunun verimliliği artıracığı açıktır. Kırıcıya beslenecek malzeme miktarının değiştirilmesinde otomasyon sistemi manuel sisteme nazaran daha hızlı ve hassas olarak bu işlevi yerine getirebilmektedir. Elektronik devre sayesinde motor amperleri ve mekanik yüklemeler izlenebilmekte ve besleme miktarına bağlı olarak ayarlamalar yapılabilmektedir. Eğer kullanılan kırıcıda hidrolik bir sistem varsa, basınç seviyeleri izlenerek, optimum kırıcı kuvvetleri sağlanabilmektedir.

#### **4.2. Bakım**

Etkili bir bakım planlaması bir kırıcı ünitesinden maksimum faydanın sağlanmasında önemli bir parametredir. Bu amaçla:

- Kırıcı etrafında yeterli boş alan bulundurularak gözlem ve yağlama noktaları izlenebilmelidir.
- Bakım personeli iyi eğitilmeli, kırıcı katalogları incelenmeli ve iyi anlaşılmalıdır.
- İyi bir yağlama sağlanmalı, tozun vereceği negatif etki önlenmelidir.
- Kırıcı plakaları zamanında değiştirilmeli ve düşük kapasiteyle uzun süre çalışması önlenmelidir.
- Yedek parça stoku iyi planlanarak arızada geçen süre minimize edilmelidir.

#### 4.3. Kırıcılarda Aşınma

Kırıcılarda aşınmaya maruz kalan parçaların üretiminde genel olarak Mn alaşımlı çelikler kullanılmaktadır. Doğru dökülmüş ve ısıl işleminden geçirilmiş bu malzeme, orta aşındırıcılıkta çimento hammaddeleri için çok iyi sonuç vermektedir. Mn alaşımlı çeliklerin başlangıç sertlik değerleri yaklaşık 200 Brinell sertliği civarındadır. Kırma işlemi sırasında basınç ve darbe etkisiyle sertlik 450 Brinell değerlerine kadar yükselmektedir. Ayrıca, Mn alaşımlı çeliklerle yapılmış parçalarda aşınan kısımların kaynakla doldurulması mümkündür. Eğer kırılacak malzemenin sertliği kırıcı parçasının sertliğinden fazla ise, aşırı miktarda aşınma söz konusu olacaktır. Bu durumda daha yüksek dayanımlı Cr-Mo alaşımlı malzemeden kırıcı parçalarının yapılması yoluna gidilmektedir. Bu malzeme sert ve kırılan olup, sertliği 70 Rockwell civarındadır ve kaynakla dolgu yapılması mümkün değildir. Kırılan özelliğinden dolayı da primer çekiçli kırıcılarda kullanılmasında problemler oluşmakla birlikte, sekonder kırıcılarda başarılı uygulamaları mevcuttur. Uygun malzeme seçiminde; kırıcıyı üreten firma, çelik malzeme sağlayıcısı ve kırıcının kullanıldığı işletmenin işbirliği içinde çalışması etkin çözümlere ulaşmada bir zorunluluktur.

#### 4.4. İş Güvenliği

Yazılı kurallar hazırlanmalı ve uyulması sağlanmalıdır. Yüksek voltaj ve yüksek basıncın yaratabileceği muhtemel tehlikelerin önlemi alınmalıdır. Hareket eden makine parçalarının önü güvenlik plakaları ile kaplanarak muhtemel kazaların önüne geçilmelidir. Bütün motorların

açılıp kapatılmasının yetkililer tarafından yapılması sağlanmalıdır.

Kırıcıya beslenen kayaçların büyük kuvvetlere maruz kalıp, kırıcı ağızından potansiyel olarak dışarı fırlama tehlikesi olacağı dikkate alınarak gerekli önlemler alınmalıdır.

### 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kırılacak malzemenin özellikleri kırıcı seçiminde ve işletilmesinde en önemli rolü oynamaktadır. Hammaddelerin aşındırma özellikleri kırma prosesinin seçiminde ve dolayısıyla kırma işleminin kaç aşamada yapılacağına saptanmasında en önemli faktördür. Eğer formasyon masif ve büyük bloklardan oluşuyor, sert ve aşındırıcı özellikte ise, basınç kuvvetinin etkin olduğu çeneli veya konili kırıcılar primer kırıcı olarak seçilmelidir. Primer kırıcı boyutunun belirlenmesinde, kırılacak malzeme miktarı ve kırıcıya beslenecek maksimum malzeme boyutu dikkate alınmalıdır. Bu kırıcılarda üründe %80'in geçtiği elek boyutu 100-250 mm arasında değişmektedir. Eğer hammadde sıvanma özelliğine sahipse, çeneli ve konili kırıcıların seçilmesi uygun değildir. Çekiçli kırıcılar sıvanma durumu olan malzemelerde nispeten iyi çözümler verirken, hammaddenin her seviyede sıvanma probleminine karşı merdaneli kırıcıların kullanılması en iyi sonucu vermektedir.

Yumuşak ve orta sert hammaddelerde ise darbe kuvveti ile kırma yapan çekiçli kırıcılar daha iyi çözüm sunmaktadır. Bu kırıcı makineler, aşındırıcı olmayan veya aşındırıcılığı az olan malzemeler için tasarlanmış olup, yüksek boyut küçültme oranlarında ve yüksek tonajlarda işletilebilmekte ve aynı zamanda ürün içerisinde yüksek oranlarda ince malzeme bulunmaktadır. Keza spesifik enerji tüketimleri de, aynı boyuttaki çeneli kırıcı ve konili kırıcı ile kıyaslandığında daha düşüktür. Ekonomik boyut küçültme oranları, basınç kuvveti ile çalışan kırıcılarda 1:3-1:7 arasında iken, bu oran darbe kuvveti ile çalışan çekiçli kırıcılarda 1:50 oranlarına kadar çıkmaktadır. Kırıcı kapasitesi ocaktan gelen malzemede kesiklik olması ve muhtemelen kırıcıda oluşacak tıkanma ve arızaların cereyan etmesi durumunda fabrikaya kesintisiz malzeme beslenmesine uygun büyüklükte seçilmesi gerekmektedir. Bu oran,

Çizelge 1. Kırıcı Karakteristikleri ve Malzeme Durumuna Göre Uygulama Alanları [1,3,4]

KIRICI TİPİ	MALZEME ÖZELLİKLERİ									KIRICI MAKİNE KARAKTERİSTİKLERİ										
	Sertlik			Rutubet			Aşındırıcılık			Boyut Küçültme Oranı				Enerji Tüketimi			Ürün Boyutu		Toz Oluşumu	
	Yumuşak	Orta	Sert	Kuru	Rutubetli	Sulu	Düşük	Orta	Yüksek	1:5	1:15	1:30	1:50	Düşük	Orta	Yüksek	Stabil	Değişken	Yüksek	Düşük
Tek Dayanak Kollu Çeneli Kırıcı	●	●	●	●	●	○	●	●	○	●	○	○	○	✓				✓		✓
Çift Dayanak Kollu Çeneli Kırıcı	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	○	○	✓				✓		✓
Konili kırıcı	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	○	○	✓				✓		✓
Merdaneli Kırıcı	●	●	○	●	●	●	●	●	○	●	○	○	○		✓			✓		✓
Tek Şaftlı Çekiçli Kırıcı	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	●	○	○			✓		✓		✓
Tek Şaftlı Çekiçli Kırıcı (Izgaralı)	●	●	●	●	●	○	●	●	○	●	●	●	○			✓	✓		✓	✓
Çift Şaftlı Çekiçli Kırıcı	●	●	●	●	●	●	●	○	○	●	●	●	○			✓		✓		✓
Çift Şaftlı Çekiçli Kırıcı (Izgaralı)	●	●	●	●	●	○	●	●	○	●	●	●	●			✓	✓		✓	✓

●=En uygun

●=Uygun

○=Uygun değil

✓=Uygun seçenek

normal şartlarda %25 rezerv kapasiteli olup kritik durumlarda bu rezerv kapasite %50'ler oranında seçilmelidir. Üründeki en büyük parça boyutu önemli ise, kırıcı çıkışına ızgara veya elek konulmalıdır. Kırıcı ilk yatırım ve işletme maliyetleri seçim aşamasında mutlaka dikkate alınmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Steer F.J., "The Selection and Operation of Crushers", TIZ-Fachberichte.Vol 4, No.6, 1984.
- [2] Mellor S.H., "An Introduction to Crushing and Screening", Institute of Quarrying, 1990.
- [3] ANON, "Handbook of Crushing", Pennsylvania Crusher Corporation, USA.
- [4] ANON, "Nordberg Reference Manual" Clintonville Winconsin, USA.

