

## Ruhr Havzasında Kömür Flotasyonu

### Coal Flotation in Ruhr District

Suat ÖZKOL (\*)

#### ÖZET

Son yıllarda kömür kazı yöntemlerinin gittikçe artan oranda mekanize olması ve kömür alıcıların daha kaliteli kömür talep etmeleri üzerine kömürün en ince tane boyutu olan -0,5 mm nin altını da zenginleştirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Bu fraksiyonu zenginleştirme yöntemi olarak flotasyon yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Önce bilinen mekanik hücre flotasyonu, daha sonra büyük hacimli yine mekanik flotasyon makineleri devreye girmiştir. Son yirmi yılda geliştirilen pnomatik flotasyon makinasının özellikle çok ince tane boyutundaki kömür için çok uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Bu pnomatik flotasyon hücresi endüstriyel çapta uygulama bulmuş ve mekanik flotasyon makinelerine göre bazı avantajlar sağlamıştır.

#### ABSTRACT

Due to the recently increased mechanization of coal winning methods and the demand for better quality coal, upgrading of coal size under 0.5 mm was required too. For this purpose the flotation has begun to be used widely.

First it was introduced the known mechanical cells, then large-volume cells in the flotation. The pneumatic flotation, which is developed in last 20 years, proved to be suitable method for coal fines. This pneumatic flotation has introduced to coal industry and has involved some advantages against mechanical flotation.

(\*) Doç. Dr., Hacettepe Üni., Maden Müh. Bl., Ueytepe-Ankara

## 1. GİRİŞ

Almanya'nın taş kömürü rezervi 23 10 ton ile Polonya'nın rezervinin iki katı, Hindistan'ınkinin yaklaşık dört katı kadardır. Almanya'da taş kömürü üretimi yapılan Ruhr, Aachen ve Saarland havzaları içinde en önemlisi Ruhr havzası olmaktadır.

Kömür kazı yöntemlerinin gittikçe daha fazla mekanize olması sonucunda adam ve vardiye başına üretkenlik 4,5 tona ulaşmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak tüvenan kömür özelliklerinde değişiklikler olmuştur. Üretimde mekanizasyon sonucu tüvenan kömürün şist oranı % 20 den % 50 lère, 0,5 mm nin altındaki ince tane oranı % 8 lerden % 20 ye ve bu ince tanedeki şist oranı da % 12 lerden % 24 lère çıkmıştır.

Ayrıca yeraltı toz mücadelesi nedeniyle 10 mm nin altındaki ince kömürün nem oranı da % 2 lerden % 6 lara ulaşmıştır(1). Bu nem oranının artışı daha önce havalı separasyonla ayrılan -0,5 na kısmın artık yaş eleme ile ayrılmasını gerektirmekte, daha önce kömür tozu olarak elde edilen -0,5 mm şimdi şlam olarak ortaya çıkmaktadır. Üstelik bu şlamm kül ve kükürt içeriği kömür tozuna nazaran daha yüksek olmaktadır.

Bu gelişmeler sonucu bu ince ve yaş fraksiyonun temizlenerek kullanıma sunulması gereği hasıl olmuştur. Ayrıca lavvar yıkama suyundaki katı miktarında da artış olması, yıkama suyunu arıtma işlemini zorlaştırmıştır.

Bu teknolojik gelişmelerin yanı sıra yasal gelişmeler de ince taneli kömürün temizlenmesi yönünde etkileyici faktör olmuştur. Daha önce zenginleştirilmeden kullanılan balast kömürün de temizlenmesi gereği çevreyi korumayı amaçlıyan yeni yasal düzenlemelerle daha belirgin hale gelmiştir. Baca gazları ile atmosfere ulaşan kükürtdioksit ve azotoksit miktarlarının sınırlanması, bunların baca gazlarından arındırılmasını zorunlu kılmıştır. Böylece ortaya çıkan jips ve de küllerin deponi problemleriyle karşılaşılması daha temiz ve kaliteli balast kömürü talebini doğurmuştur.

Bu gelişmelerin sonucunda flotasyon ince tane zenginleştirme yöntemi olarak ve yıkama suyunu kısmen arıtmak amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Modern kömür yıkama tesislerinde flote edilmesi gereken miktarlar 100 ile 200 t/h arasında, tüvenan kömürdeki ince tane miktarına bağlı olarak değişmektedir(2). Yetmişli yıllarda Ruhr havzasında 4-5 000 t/gün olan toplam flotasyon kapasitesi bugün bunun iki katı civarındadır.

Flotasyon üst tane sınırı genellikle -0,5 mm ve pulp katı miktarı 100 ile 120 g/l ( yıkama suyu flotasyonunda daha düşük ) olacak şekilde yapılmaktadır(3). Ellili yıllarda flotasyon reaktifi olarak kullanılan taş kömürü katran yağları, mevzuat gereği artık kullanılmamaktadır. Bunların yerini tensid ilave edilmiş uzun zincirli alkoller ( Cg - 0,0 ) almıştır(4). İyonlaşmayan tensidler selektiviteyi etkilemeden flotasyon zamanını kısaltmıştır. Bu tensidler ayrıca kömürün filtrasyonunu da kolaylaştırmıştır.

Aynı yazıda anyonik tensidlerin de flotasyon artıklarının filtrasyonunu kolaylaştırdığından bahsedilmektedir.

Yıkama suyu flotasyonu sözkonusu olduğunda arıtma amaçlı verilen flokülantların takip edecek flotasyonu negatif etkilediğinden söz edilerek yıkama suyu flotasyonunun flokülant vermeden düşük katı yoğunluklarında yapılması önerilmektedir(5).

Kullanılan flotasyon makinaları önce mekanik hücreler sonra flotasyon kapasitesinin artması sonucu büyük hacimli mekanik flotasyon makinaları olmuştur. Yetmişli yıllarda başlayan bir proje sonucu bir pnomatik flotasyon hücresi geliştirilmiş ve endüstriyel çapta kullanılmaya başlanmıştır(6).

## 2. MEKANİK FLOTASYON MAKİNALARI

Yetmişli yılların ortalarında meydana gelen hızlı kapasite artışına kadar kullanılan hücreler 4 nr ve daha küçük flotasyon hücreleri iken şimdi 14 hatta 16 *msr* lük hücreler

reler satılmaya başlanmıştır(7). Bunların arasında Agitair, Denver, Wemco gibi değişik markalar yer almaktadır. Bu hacim büyümesi ile hücre flotasyonundan tekne (Trog-) flotasyonuna geçiş olmuştur(2). Her tekne 5-6 karıştırıcı bulunmaktadır. Hücreler arası bölme olmamasına karşın selektiviteyi sağlamak amacıyla 3. ile 4. karıştırıcı arasında yine de bir bölme konmuştur.

Krupp firması tarafından pazarlanan Agitair hücreleri Rheinpreussen lavvarında devreye alınmış ve % 35 kül içerenli şlam flote edilerek % 10,5 küllü konsantre ile % 70 küllü artık elde edilmiştir(7).

Friedrich Heinrich lavvarında 14 nr lük Wemco hücreleri ile 84 nr toplam kapasiteli bir kademeli flotasyon tesisi 1977 de devreye girmiştir(8). % 20,5 küllü beslenen kömürden % 10 küllü konsantre ve % 77 küllü artık üretilmiştir. Wemco flotasyon hücresinde karıştırıcıya yüzeye yakın olması nedeniyle iri tane flotasyonu yavaş olmakta ve iri taneler genellikle son hücrelerde yüzmektedir. Bu nedenle son karıştırıcıların devirlerinin düşük tutulması önerilmektedir.

Lohberg ve Minister Stein lavvarlarında Denver hücreleri DR-500 kullanılmaktadır. Kaba ve temizleme olarak iki kademeli olarak yapılan flotasyonda % 31 küllü şlamdan % 8 küllü konsantre ve % 72 küllü artık elde edilmektedir(8). Minister Stein'da % 28 küllü beslenen kömürden #6,5 küllü konsantre ile % 75 küllü artık elde edilmiştir. Beslenen kömürdeki -0,06 mm tane boyunun miktarının % 60 lara varması ve gang minerallerinin yüzmeye eğilimi göstermesi nedeniyle temizleme kademesi mevcuttur.

Ruhr havzasında halen çalışsan flotasyon tesisleri dikkate alınırken hücre hacimleri 3 ile 14 nr arasında, toplam flotasyon kapasiteleri 28 ile 110 nr arasında değişmektedir(9). Kullanılan reaktifler genellikle Ekofol ve Montanol, miktarları ise 80 ile 600 g/t arasındaadır. Artıkta kaçan kömür yüzdesi ortalama % 6 civarında olmakta ve ayrılabilir piritin de yaklaşık % 75 i artıkla ayrılabilir.

tedir. Kül yapıcı mineraller de % 80 nin üstünde bir oranla artıya geçmektedirler.

### 3. PNOMATİK FLOTASYON

Yetmişli yıllarda TU Clausthal'da yapılan bir araştırma sonucunda bugün Westerholt lavvarında çalıştırılan pnomatik flotasyon hücresi geliştirilmiştir.

Mekanik flotasyonun en önemli dezavantajı olarak emilen havanın küçük kabarcıklar halinde dağıtılması, hava kabarcıklarının taneciklerle yüklenmesi ve sonuçta köpüğün pulptan ayrılması işlemlerinin aynı kabın içinde gerçekleşmesi nedeniyle bunların birbirlerini etkilemeden optimize edilmesinin zorluğundan bahsedilmektedir(10). Buna karşın pnomatik flotasyonda hücrede sadece köpük ayrılması yapıldığından daha kısa zamanda flotasyon gerçekleşmektedir.

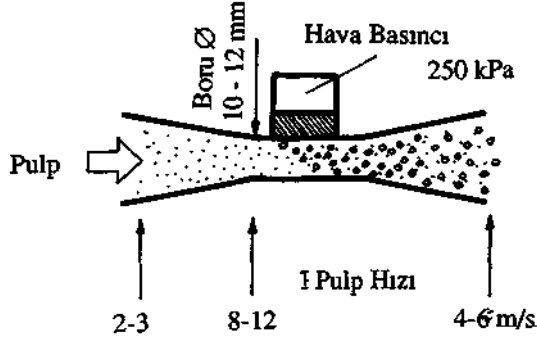
Flotasyon birbirini takip eden şu üç olayın bir bütünü olup basarısı da bunların herbirinin optimal koşullarda yürütülebilmesindedir(11):

- Pulpu kondüsyonlanması,
- Pulpu havalandırılması ve taneciklerin hava kabarcıklarına yapışması,
- Tanecik-Kabarcık agregalarının köpüğe kadar ulaşabilmesi ve köpükle pulptan ayrılması.

Yapılan çalışmada ikinci ve üçüncü safhaların daha iyi gerçekleşmesini sağlamak amaçlanmıştır ve bunlar ayrı ayrı yerlerde yapılmıştır. Pulpu havalandırılması için bir reaktör geliştirilmiş ve burada pulp hava kabarcıkları ile çok dar bir alanda çok etkili bir şekilde karşılaştırılmıştır. Böylece kömür taneciklerinin hava kabarcıklarına yapışmasının saniyenin binde biri kadar bir sürede gerçekleştiği görülmüştür.

Bu havalandırma reaktöründe basınçlı hava ile poröz bir ara tabakadan geçirilerek oluşturulan kabarcıklar pulp akışına dik olarak pulpu içine verilmektedir. Poröz tabaka olarak önce perfore plastik borular, daha sonra poröz seramik fritler kullanılmıştır(12).

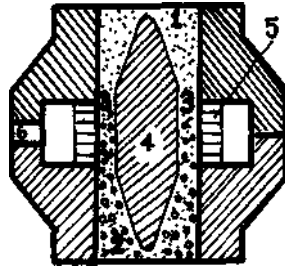
Bu reaktörlerin genelde çalışma prensipleri Şekil 1 de basit olarak gösterilmiştir(13) •



Şekil 1. Havalandırma Reaktörünün basit çalışma prensibi

Çapı 10-12 mm olan ve üzerinde çok ince yarıklar bulunan bir borudan pulp geçirilmekte ve bu yarıklardan basıncı yaklaşık 250 kPa olan hava verilmektedir. Bu hava küçük kabarcıklar halinde pulpun içine dağılmaktadır.

Şekil 2 de böyle bir reaktörün kendisi görülmektedir.



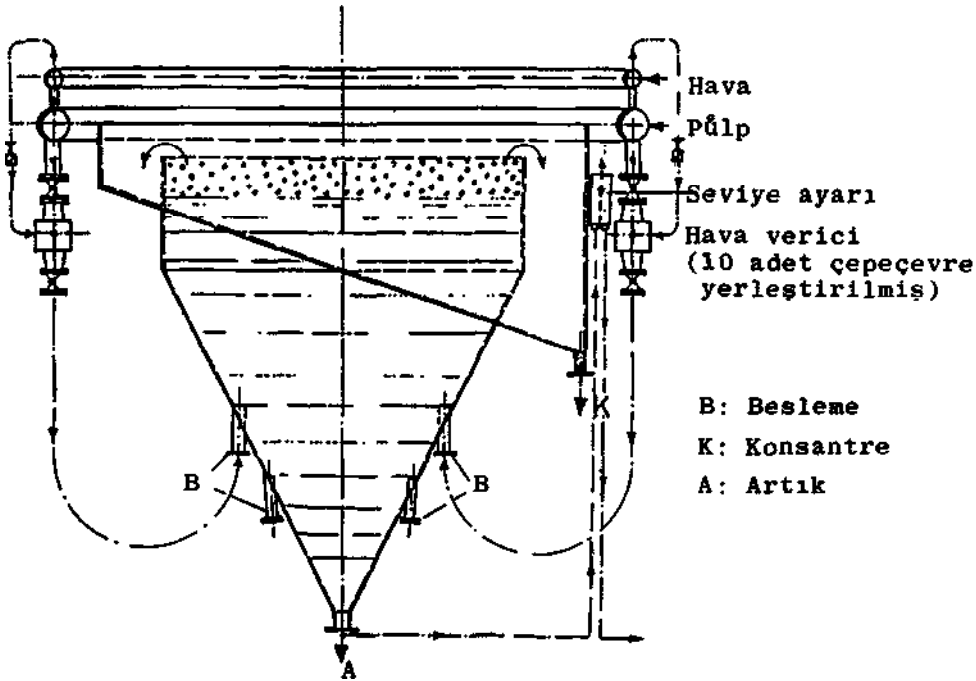
- |                 |               |
|-----------------|---------------|
| 1 Pulp Girişi   | 2 Çıkış       |
| 3 Ring Kanal    | 4 Sıkıştırıcı |
| 5 Ring Dilimler | 6 Hava Girişi |

Şekil 2. Kapandırmalı Reaktör (I\*3) ü (13)

Şekildeki 4- nolu sıkıştırıcı 1 nolu girişin çapını halka şeklinde bir kanala çevirmektedir. Bu kanalın eni 10 mm olmakta ve etrafında 5 nolu havalandırma dilimleri bulunmaktadır. Bu dilimlerin herbiri üzerinde üç yarık mevcut olup bu yarıkların açıklığı 0,05 ile 0,075 arasındadır.

Böyle bir reaktörden 1,1 milyon m<sup>3</sup> pulp ile 50 000 t katı geçtikten sonra aşınma kontrolü yapılmış ve normal seviyelerde olduğu tespit edilmiştir(12).

Reaktörde havalandırılan pulp daha sonra Şekil 3 te görülen ayırma kabına beslenmekte ve kabın silindirik kısmından konsantre, alt ucundan da artık alınmaktadır.



Şekil 3. Verbundbergwerk Westerholdt tesisinde kömür flotasyonunda kullanılan pnomatik flotasyon hücresi

Pulpm beslenmesi konik kısımdan aynı seviyede değişik

noktalardan olmaktadır. Bu arada pulpa verilen enerji, köpüğü etkilememesi için, ancak köpük seviyesine ulaşabilecek kadar ayarlanmaktadır. Şekil 3 teki şekli ile Westerholdt 1 nolu flotasyon tesisinde kurulu olan pnomatik flotasyonun kapasitesi 550 ur/h tir. Daha sonra hava ve pulp girişleri konik kısmın altına alınarak 800 m /h kapasiteli ikinci bir flotasyon ünitesi yine aynı tesiste kurulmuştur. Bu tesiste % 40 küllü besleme malından % 10 küllü konsantre ile % 70 küllü artık alınmaktadır. Pnomatik flotasyonda sonucu etkileyen önemli faktörler olarak hava/pulp oranından (optimal 1,2 : 1 ) ve köpük yüksekliğinden söz edilmektedir. Köpük yüksekliği 300 ile 800 mm arasında değiştirilmiş ve 400 mm nin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir(12).

#### 4. PNOMATİK/MEKANİK FLOTASYON KAEŞİLAŞTIEILMASI

Pnomatik flotasyonda pulp havalandırması ve köpük ayırımı ayrı ayrı kaplarda gerçekleştiğinden bunların birbirinden bağımsız olarak optimize edilmesi mümkündür.

Pnomatik flotasyonda ulaşılan kabarcık yükleme değerleri (0,025 ile 0,040 g/cnr) bu incelikte tane boyutunda mekanik flotasyona göre daha iyidir. Basınçlı hava da dahil enerji ihtiyacı  $0,15 \text{ kW/m}^3$  ile mekanik flotasyondan ( $2 \text{ kW/m}^3$ ) daha düşüktür. 2,5 ile 3 dakika civarında olan flotasyon zamanı mekanik flotasyon makinası ile yapılan flotasyonunkinin yaklaşık yarısı kadardır(12). Kapasite her ikisinde de aynı seviyelerdeyken gerekli inşaat hacmi pnomatik flotasyon için daha azdır.

Bu kömür için geliştirilen pnomatik hücre daha sonra Brazilya'da fosfat flotasyonunda, İspanya'da kurşun-çinko, Almanya'da kaolin ve tuz flotasyonunda da devreye girmiştir

#### 5. SONUÇ

Almanya'da kömür kazanımında artan mekanizasyon sonucu lavvara gelen tüvenan kömür kalitesinde düşme olmuştur.



Tüvenan kömürün şist miktarı % 50 leri geçmiştir.Tane boyu olarak en ince tane(-0,5 mm) miktarı % 15 ler civarında olup bunun kül yüzdesi de % 20 lère çıkmıştır. Ayrıca bu fraksiyonda pirft yüzdesi de artma gösterdiğinden bunun flotasyonla zenginleştirme gereği ortaya çıkmıştır.Bu yüzden hemen hemen her tesiste değişik kapasitelerde flotasyon ünitesi mevcuttur.Yetmişli yıllardaki genel tesis dizayn gelişmelerine paralel olarak büyük hacimli mekanik flotasyon hücreleri devreye girmiştir.Kömürün yüzebilirliğine bağlı olarak bir veya iki kademeli flotasyon yapılmaktadır.

Bu sırada Westerholdt tesisinde pnomatik flotasyon hücresi geliştirilmiş ve yaklaşık on senedir kullanılmaktadır.Elde edilen sonuçlara göre pnomatik flotasyon hücresi mekanik hücreye göre bazı avantajlar sağlamıştır.

#### 6. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- 1» KUBÎTZA H?,WÎLCZYNSKÎ P.,BOGENSCHNEÎDER B.,Die Aufbereitung von Steinkohle in der Bundesrepublik Deutschland, Slückauf **123(198?)H\*.»p,177** ,
2. BECKER M., Der Weg zu den Grossraumflotationsanlagen bei der Ruhrkohle AG, Glückauf 113(1977)Nr.19, p.952
5. BARTELS D., Entwicklungstendenzen in der Steinkohlenaufbereitung seit den 50 er Jahren, Aufbereitungs-Technik Nr.4/1989, p.203
4. KAISER M.,HEY W., Die Wirkung von Tensiden auf Trennprozesseader Steinkohlenaufbereitung, Aufbereitungs-Technik\_Nr.6/1989, p-357
5. SCHNEIDER P.-IT.,HOBERG H., Über den Einfluss molekularer synthetischer Hochpolymere auf deren Adsorptionsverhalten und Wirkung in Trennprozessen, Symposium Entwaessern feinstkörniger Feststoffe, Forschungsgesellschaft Verfahrenstechnik e.V.(G.V.T.) Aachen, 13-15.3-1991

6. KELLERWESSEL H., 1981-1990 Was gab es in der Aufbereitungspraxis Neues ?, Aufbereitungstechnik 5/1991 p.227
7. SUPP A., AUERBACH H., Grossraum-Flotationsanlagen in der Praxis der Steinkohlenaufbereitung des Ruhrgebiets, Erzmetall 33(1980)Nr.9, p.4-41
8. MÜLLER J.M., BROCKHOFF D.J., Planung, Ausführung und betriebliche Erfahrungen mit Denver-Grosszellen-Flotation im deutschen Steinkohlenbergbau, Aufbereitungstechnik Nr.3/1978 p.131
9. MONOSTORY F.P., KUBÎTZA K.H., Trennergebnisse von Betriebsanlagen für die Schaumflotation der Schlämme in Steinkohlen-Aufbereitungsanlagen, Aufbereitungstechnik Nr.5/1989, p.278
10. CLEMENT M., BAHR A., Über Untersuchungen am Institut für Aufbereitung, Erzmetall 28(1975)Nr.5, p.240
11. BAHR A., LÜDKE H., MEHRHOFF F.W., The Development and Introduction of a new coal flotation cell, XIV. Intern. Min.Proc.Congr., 17-23 oct.1982, Toronto, Canada
12. BAHR A., LEGNER K., LÜDKE H., MEHRHOFF F.W., 5 Jahre Betriebserfahrung mit der pneumatischen Flotation in der Steinkohlenaufbereitung, Aufbereitungstechnik Nr.1/1987, p.5
13. IMHOF R., Pneumatische Flotation-eine moderne Alternative, Aufbereitungstechnik Nr.8/1988, p.4-53