

Kısa Devre Havalandırma Yeni Bir Alternatif

Recirculation of Mine air - A New Alternative

Cem ŞENSÖĞÜT *
Saim SARAÇ **

ÖZET

Günümüzde kömür ocakları yeryüzü bağlantılarından gün geçtikçe uzaklaşmaktadır. Klasik havalandırma yöntemleriyle üretim yerlerine yeterli miktarda havanın ulaştırılmasında güçlükler ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda bazı derin ocaklarda havanın bir kısmının kontrollü olarak tekrar dolaştırılması alternatif bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Bu bildiride, Kısa Devre Havalandırma yönteminin teorisi verilmiştir.

ABSTRACT

Today, many coal mines are continually extending from the surface connections. In many cases, difficulties are being encountered in delivering adequate air quantities to the working areas by means of conventional systems. Recently in some deep mines, controlled recirculation of air has been applied as an alternative system. In this paper, the theory of recirculation of mine air is given.

* Dr. Maden Müh., G.L.I Tunçbilek, KÜTAHYA

** Yrd. Doç. Dr., Anadolu Univ., Maden Müh. Böl., ESKİŞEHİR

1. GİRİŞ

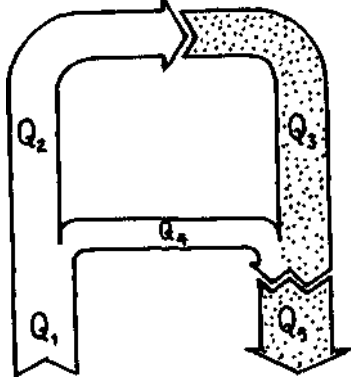
Günümüzde yeraltı üretim ayaklarının yeryüzü hava bağlantılarından yatay ve dikey yönlerde uzaklaşması yeraltında yeterli havanın etkili olarak dolaştırılmasını güçleştirmiştir, özellikle sıcaklık probleminin olduğu derin ocaklarda ve yeryüzüne bağlantı açma olanaklarının kısıtlı olduğu denizaltı işletmelerinde, havalandırma problemlerine klasik havalandırma yöntemleriyle çözüm getirmek maden mühendisi için daha da zorlaşmaktadır.

Kullanılan vantilatörlerin çalışma performansları ve enerji maliyetleri gözönüne alındığında, sözü edilen havalandırılması güç ocaklarda bazı önlemlerin alınması zorunluluğu doğmuştur. Bu gereksinim doğrultusunda "Kısa Devre Havalandırma" (KDH) sistemi klasik havalandırma yöntemlerine alternatif olarak geliştirilmiş, yapılan model çalışmaları sonucunda ümit verici sonuçlar alınmıştır. Teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen bilgiler pratiğe geçirilerek İngiltere'de Wearmouth kömür ocağında ve Güney Afrika'da birden fazla altın işletmesinde uygulanmış ve elde edilen sonuçlar teoriyi doğrulamıştır (1,2).

2. KISA DEVRE HAVALANDIRMA TEORİSİ

Yöntemin teorisi ilk defa Lawton tarafından 1932 yılında sıcak ve derin yeraltı işletmelerinde yerel soğutmayı sağlamak için geliştirilmiştir. Lawton, havanın yeniden dolaştırılmasını yardımcı havalandırma olarak kabul etmiş ve bu yöntemin ayak havasındaki gaz oranlarında herhangi bir artışa yol açmadığını savunmuştur (.3).

Klasik havalandırma sistemlerinde kaçaklar nedeniyle yeraltına gönderilen hava miktarı azalır, dolayısıyla yeterli konsantrasyon düşüşü sağlanamaz. Panoya gelen hava miktarı (Q_1), ayak içinde azalmış olarak (Q_2) değerine ulaşır. Kaçak hava ayak havalandırılmasında kullanılmadan dönüş havasına karışarak panoyu terk eder (Şekil-1).

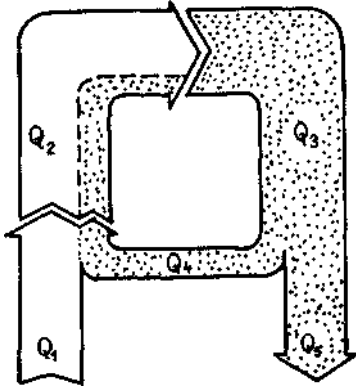


Şekil-1 : Klasik Havalandırmada Bir Panodaki Hava Dağılımı.

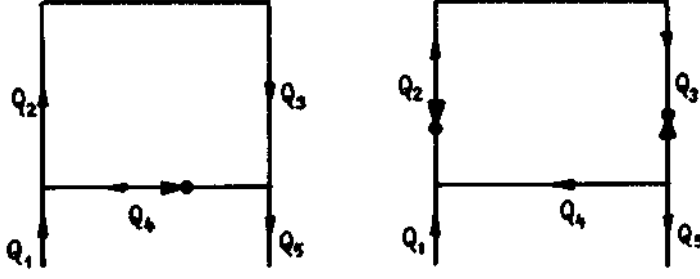
Ayağa ulaşan havanın artırılabilmesi için, oluşan kaçakların önlenmesi veya azaltılması gerekir. Ancak, ayağa giren hava yine de tehlikeli gaz konsantrasyonunun düşürülmesi için yeterli olmayabilir. Pano dönüş havası gazlarla fazla kirlenmemiş, yani izin verilebilir sınırları aşmamışsa bu havanın belirli bir kısmı ayak giriş havasına verilerek hava miktarı artırılabilir. Şekil-2 aynı panoda kısa devre havalandırma yönteminin uygulanması durumunda, hava dağılımını şematize etmektedir.

3. YARDIMCI VANTİLATÖRLERİN KULLANIMI

Bir pano içinde havanın yeniden dolaştırılmasının sağlanabilmesi, bu panoya yardımcı vantilatör yerleştirmekle mümkün olabilmektedir. Yardımcı vantilatör pano içinde iki konumda yerleştirilebilir (Şekil-3).



Şekil-2 : Kısa Devre.Havalandırmada Hava Dağılımı



Seki 1-3 : Kısa Devre Havalandırmada Vantilatörün Konumu.

İlk durumda vantilatör tavan ve taban yolunu birleştiren havayolu içindedir. İkinci durumda ise vantilatör KDH giriş yoluna yerleştirilebileceği gibi, KDH dönüş yoluna da yerleştirilebilir. Bu konumda kullanılan vantilatörün güç gereksinimi, ilk konumdakine oranla daha fazla olmaktadır. Bunun nedeni, panoya giren havanın yanısıra yeniden dolaştırılan havanın da bu vantilatörce basılmasıdır. Gerek güç gereksiniminin azlığı, gerekse getirdiği pratik kolaylıklar bakımından yardımcı vantilatörün bağlantı havayoluna yerleştirilmesi daha uygundur (4).

4. KDH SİSTEMİNİN GAZ KONSANTRASYONUNA ETKİSİ

Ayak havalandırılmasında kullanılmış havanın yeniden ayak içine gönderilmesi fikri emniyet açısından bazı çekinceleri de beraberinde getirmiştir. Ülkemizde olduğu gibi bazı ülkelerde de kısa devre havalandırmanın yasaklanmasının nedeni olan bu çekinceler KDH devresinde zararlı gaz oranlarının artması tehlikesiyle ilgilidir.

Havalandırma emniyeti bakımından hayati öneme sahip olan bu hususlar teorik ve deneysel çalışmalarla irdelenmiş, panodaki maksimum gaz konsantrasyonunun panoya gelen hava miktarı ve panodaki gaz emisyonuna bağlı olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmalar KDH devresinin dönüş yolundaki gaz konsantrasyonunun, panoya gelen hava miktarı ve panodaki gaz emisyonunun

sabit kalması durumunda, klasik havalandırmadaki ne eşit olduğunu göstermiştir (5,6,7,8,9).

5. YERİNDE ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

Teorik çalışmaların doğrulanması amacıyla Güney Afrika'da Loraine altın madeninde ve İngiltere'de Wearmouth kömür ocağında bir dizi yeraltı çalışması gerçekleştirilmiştir (1,2,10),

5.1. Loraine Altın İşletmesi

Bu çalışma sırasında panodaki KDH oranı değiştirilerek, devredeki CO konsantrasyonu belirli aralıklarla ölçülmüştür. "KDH" oranı Seki 1-2'deki notasyonlara göre?

$$\text{KDH oranı} = F = \frac{Q_A}{Q_3} \quad \text{Cl]}$$

olarak tanımlanır.

Belirli aralıklarla gerçekleştirilen ölçümler sonucunda KDH oranındaki değişimin, KDH devresi dönüş yolunda herhangi bir değişikliğe yol açmadığı belirlenmiştir. Başka bir deyişle, KDH oranının artması veya azalması ayak içi havasındaki zararlı gaz oranını etkilememektedir.

5.2. Wearmouth Kömür Ocağı

İngiltere'de ilk geniş ölçekli denemeler NCB Wearmouth kömür ocağında 1983 yılında gerçekleştirilmiştir (10). Bu ocağındaki üretim yerleri yeryüzü bağlantılarından 10 kilometreden daha fazla Kuzey Denizi'nin altına doğru uzanmaktadır. Panoların kuyulardan uzaklaşmasıyla üretim yerlerine yeterli havanın ulaştırılmasında güçlükler çıkmıştır. Bu problemin çözülebilmesi için yeni hava yollarının açılması, varolan hava yollarının genişletilmesi ve yardımcı vantilatörlerin kullanılması yoluna gidilmişse de bu önlemlerin ancak geçici çözümler getirebildiği gözlenmiştir. Birincisi, pano sınırında *Kuzey* Denizi içinden havalandırma kuyularının açılması, ikincisi kısa devre havalandırmanın uygulanması olmak üzere iki ayrı çözüm önerisinin etüdüleri yapılmıştır. Deniz içinde kuyu açılmasının güç ve masraflı olacağı düşünülerek ikinci

alternatifin uygulanması yoluna gidilmiş, % 30'luk bir KDH oranı uygulanmıştır. KDH sistemi ile, üretim yerlerine ulaşan hava miktarları 70'den 97.3 m³/s'ye artırılmıştır, ön denemelerden elde edilen veriler, hava dönüş yolundaki metan oranında ölçülebilir bir değişikliğin olmadığını da göstermiştir. KDH sistemi hava giriş yolundaki metan oranının ise kabul edilebilir sınır değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

6. KDH SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELLEMESİ

Sekil-2'de verilen KDH sistemindeki hava miktarları arasındaki ilişkiler yazılacak olursa;

$$Q_1 = Q_5 \quad [2]$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 + Q_4 \quad [3]$$

$$Q_5 = Q_3 - Q_4 \quad [4]$$

eşitlikleri elde edilir. Klasik havalandırmada bir miktar hava kaçak olarak panoya giren temiz havayı terk etmektedir. Klasik havalandırma ve KDH sistemleri karşılaştırılınca hava miktarları arasında şu ilişkiler yazılabilir;

Klasik Havalandırma

$$Q_4 = \text{negatif}$$

$$Q_2 < Q_1$$

$$Q_3 < Q_5$$

Kısa Devre Havalandırma

$$Q_4 = \text{pozitif}$$

$$Q_2 > Q_1$$

$$Q_3 > Q_5$$

Bu ilişkilerden, panoya giren hava miktarının sabit olması durumunda, kısa devre havalandırmanın ayağa ulaşan hava miktarını artırdığı görülebilir.

KDH sistemindeki her kolun hava miktarını devreye giren temiz hava miktarına bağlı olarak ifade edebilmek için KDH oranı (F) kullanılır. C1] eşitliğinden;

$$Q_4 = F \cdot Q_3 \quad [5]$$

bulunur. Bu değer [3] eşitliğinde yerine konulursa;

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 + F \cdot Q_3 \quad [6]$$

elde edilir. Buradan da;

$$Q_1 = Q_3 \cdot (1 - F) \quad [7]$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 / (1 - F) \quad [8]$$

$$Q_4 = F \cdot Q_3 = F \cdot Q_1 / (1 - F) \quad [9]$$

eşitliklerine ulaşılır.

Kısa devre havalandırmada ilk iterasyonda nefeslikte kaçak hava veya ek hava geliri sözkonusu değildir. Bundan sonraki iterasyonlarda, F oranındaki hava bu nefeslik yoluyla pano hava giriş yoluna yönlendirilir ve bu orandaki havanın temiz hava ile karışması sağlanır.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$Q_4 = F \cdot Q_3 = F \cdot Q_1$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 + Q_4 = Q_1 \cdot (1 + F)$$

$$Q_4 = F \cdot Q_3 = F \cdot Q_1 \cdot (1 + F) = F \cdot Q_1 + F^2 \cdot Q_1$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 + Q_4 = Q_1 + F \cdot Q_1 \cdot (1 + F) = Q_1 \cdot (1 + F + F^2)$$

$$Q_4 = F \cdot Q_1 + F^2 \cdot Q_1 + F^3 \cdot Q_1$$

$$Q_2 = Q_3 = Q_1 \cdot (1 + F + F^2 + \dots + F^{n-1})$$

$$= Q_1 \cdot \frac{1 - F^n}{1 - F} \quad [10]$$

bulunur. Eğer $-1 < F < +1$ ise Q_3 değeri $Q_1 / (1 - F)$ delerine yaklaşır. Bir süre sonrada sistem dengeye erişir "

$$Q_3 = \frac{Q_1}{1 - F} \quad [11]$$

olur. Görüldüğü gibi bu eşitlik [7] eşitliğinin bir tekrarıdır.

6.1. Sistemdeki Zararlı Gaz Konsantrasyonunun Hesaplanması

KDH sistemindeki zararlı gaz konsantrasyonunu belirlemek için gaz olarak metan seçilmiş ve KDH sistemine iki kaynaktan metan emisyonu olduğu kabul edilmiştir.

- KDH sisteminin uygulandığı panodaki damar ve yan kayaçlardan metan emisyonu ($M \text{ m/s}$)
- Bu panoya temiz hava ile birlikte ulaşan metan ($M_1 \text{ m}^3/\text{s}$)

KDH sistemine ulaşan hava X ile simgelenirse Sekil-2'deki panoya giren toplam hava miktarı ve metan konsantrasyonu;

$$Q_1 = X + M_1 \quad [12]$$

$$C_1 = \frac{M_1}{Q_1} \quad [13]$$

Klasik havalandırmada ise kaçak olmaması durumunda bu değerler için;

$$Q_1 = Q_2 = X + M_1 \quad [14]$$

$$C_1 = C_2 = \frac{M_1}{Q_1} \quad [15]$$

ilişkileri geçerlidir. Çalışılan damardaki metan emisyonu hesaba katıldığında ayak içi hava miktarı ve metan oranı;

$$Q_3 = Q_2 + M = X + M_1 + M \quad [16]$$

$$C_3 = \frac{M + M_1}{Q_1 + M} \quad [173]$$

olarak tanımlanır. Sabit bir F oranında KDH uygulanırsa;

tik iterasyonda:

$$Q_1 = Q_2 = X + M_1$$

$$Q_3 = X + M_1 + M$$

$$Q_4 = F \cdot Q_3 = F \cdot (X + M_1 + M)$$

İkinci iterasyonda:

$$Q_2 = Q_1 + Q_4 = (X + M_1) + F \cdot (X + M_1 + M)$$

$$Q_3 = Q_2 + M = X + M_1 + F \cdot (X + M_1 + M)$$

$$Q_4 = F \cdot (X + M_1 + M + F \cdot (X + M_1 + M))$$

n. iterasyonda:

$$Q_3 = (X + M_1 + M)(1 + F^2 + F + \dots + F^{n-1})$$

$$= (X + M_1 + M) \frac{(1 - F^n)}{(1 - F)}$$

n değerinin sonsuza yaklaşması durumunda;

$$Q_3 = \frac{1}{(1 - F)} (X + M_1 + M) \quad [18]$$

$$Q_4 = \frac{F}{(1 - F)} (X + M_1 + M) \quad [19]$$

$$Q_5 = X + M_1 + M \quad [20]$$

$$C_3 = C_4 = C_5 = \frac{M_1 + M}{Q_1 + M} \quad [21]$$

olur. [21] ifadesinde M değeri Q^ değerine oranla çok büyük olduğundan paydadandan atılabilir.

$$C_3 = C_4 = C_5 = \frac{M_1 + M}{Q_1} \quad [22]$$

Bu eşitlik $F < 1$ olması durumunda KDH sistemi hava çıkış yolundaki metan konsantrasyonunun KDH oranından bağımsız olduğuna işaret etmektedir.

Klasik havalandırmada panoya gelen havanın bir kısmı nefeslikten kaçmakta, ayağa giren hava miktarı azalmaktadır.

$$\begin{aligned} Q_{1K} &= X + M_1 \\ Q_{2K} &= Q_{1K} - Q_{4K} \\ Q_{3K} &= Q_{2K} + M = X + M_1 + M - Q_{4K} \\ C_{3K} &= \frac{M_1 + M}{Q_{1K} - Q_{4K}} \end{aligned}$$

Kısa devre havalandırmada ise ayak içi gaz oranı;

$$C_{3KDH} = \frac{M_1 + M}{Q_{1KDH}}$$

olacaktır. Bu ifadeden çıkarılacak ilginç bir sonuç, KDH sistemindeki metan oranının klasik havalandırma ile elde edilen orandan, beklenenin tersine daha az olmasıdır.

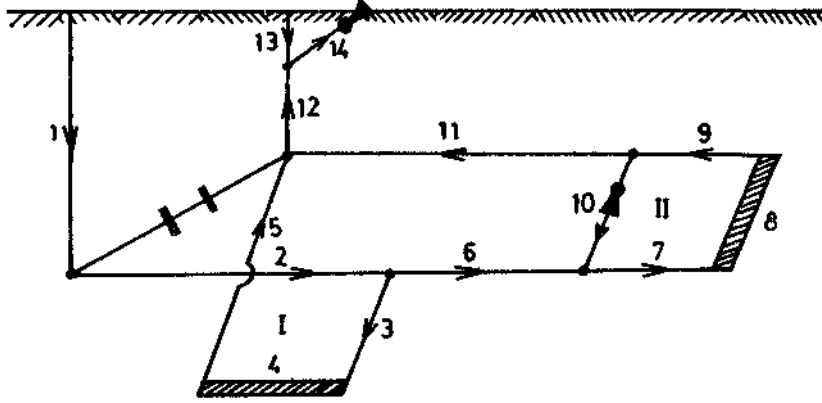
7. BİR MODEL ŞEBEKE ÜZERİNDE UYGULAMA

Kısa devre havalandırma sisteminin teorisi Şekil-4'de verilen model şebekeye uygulanmıştır. Model ocakta iki ayakta

komur üretimi yapılmakta, hava dolaşımı emici olarak yerleştirilmiş bir vantilatörle sağlanmaktadır. Pano 1 'de klasik havalandırma. Pano I I'de ise kısa devre havalandırma uygulanmaktadır. 10 numaralı kola yerleştirilen bir vantilatör yardımıyla, ayağı terk eden havanın %20'si kısa devre halinde yeniden ayak giriş havasına verilmektedir. 2,4 ve 8 numaralı kollarda gaz emisyonu olmaktadır.

Çizelge-1 s Model Şebekedeki Gaz Emisyonları (m³/s).

Kol No	CO	CH _n	COi
2	0.0001	0.005	0.003
4	0.0002	0.013	0.0034
8	0.00032	0.017	0.0008



Seki 1-4 ! Model Şebeke

Model şebekedeki hava dağılımı VNET (11) paket programı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değerler, kabul edilen zararlı gaz emisyon değerleri ile birlikte SPLIT (12) paket programına veri olarak verilmiş ve kollardaki gaz konsantrasyonları hesaplanmıştır (Çizelge-2).

Bu değerleri klasik havalandırma sistemi ile karşılaştırabilmek için, aynı şebekede klasik havalandırma uygulanması durumunda kollardaki gaz oranları hesaplanmıştır. En ideal koşullarda 10 numaralı nefeslik yolundan hiç kaçak olmaması durumunda, elde edilen gaz konsantrasyon değerleri Çizelge-deki gibi olmuştur.

Cizelge-2 t Model Şebekede Hava Dağılımı ve baz Oranları

Kol No	Q (m ³ /s)	CO (%)	CH ₄	CO ₁ (%)	Açıklama
1	100	0	0	0	
2	100	0.0001	0.005	0.003	
3	50	0.0001	0.005	0.003	
4	50	0.0005	0.031	0.0098	
5	50	0.0005	0.031	0.0098	
6	50	0.0001	0.005	0.003	Pano hava girişi
7	62.5	0.00025	0.012	0.0033	KDH hava girişi
8	62.5	0.00074	0.039	0.0046	Ayak içi
9	62.5	0.00074	0.039	0.0046	KDH hava dönüşü
10	12.5	0.00074	0.039	0.0046	Pano hava dönüşü
11	50	0.00074	0.039	0.0046	
12	100	0.00062	0.035	0.0072	
13	10	0	0	0	
14	110	0.00056	0.032	0.0065	

Cizelge-3 : Klasik Havalandırma Uygulandığında Gaz Oranları.

Kol No	Q (m ³ /s)	CO (%)	CH ₄ (%)	CO ₁ (%)
6	50	0.0001	0.005	0.003
7	50	0.0001	0.005	0.003
8	50	0.00074	0.039	0.0046
9	50	0.00074	0.039	0.0046
10	0	0	0	0
11	50	0.00074	0.039	0.0046

Her iki çizelge değerleri karşılaştırıldığında, KDH uygulandığında gaz oranlarının sadece 7 numaralı hava yolunda bir artış gösterdiği, diğer kollarda klasik havalandırma değerlerinin elde edildiği açıkça görülmektedir. Kollardaki hava miktarlarında ise önemli artışlar sağlanmaktadır.

8. SONUÇ

Havalandırma güçlükleri olan bir panoda Kısa Devre Havalandırma sisteminin uygulanması, bu panoya ek hava sağlanmasında en ekonomik yöntem olarak belirmektedir. Ayak havalandırmasında kullanılmış havanın yeniden dolaştırılmasının, ayak içi havasındaki gaz oranlarını artıracağı kaygısı ise yapılan teorik ve pratik çalışmalar sonucunda etkisiz bırakılmıştır. Ayrıca günümüz teknolojisiyle ocak gazlarının hemen hepsinin güvenli olarak uyarı sistemleriyle kontrol edilebilmesi KDH sisteminin bir sigortası olmaktadır. Bu sistemde zararlı gaz konsantrasyonları sadece temiz hava miktarının ve panodaki gaz emisyon değerinin bir fonksiyonu

olmaktadır. Bu sistem havalandırma güçlüğü olan panolar için bir alternatif çözüm yaratmasının yanında, sıcaklık ve toz kontrolünde da kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. ROBINSON R., HARRISON T., 1987, "Controlled Recirculation of Air at Wearmouth Colliery", The Mining Eng., Vol. 146, pp. 661-670.
2. BURTON R. C., PLENDERLEITH W., STUART J. M., 1984, "Recirculation of Air in the Ventilation and Cooling of Deep Gold Mines", 3 rd Int. Mine Vent. Con., pp. 291-299.
3. LAWTON B. R., 1933, "Local Cooling Underground by Recirculation", Trans. Ins. Min. Eng. Vol. 85, pp. 63-76.
4. LONGSON I., LEE R., LOWNDES I., 1985, "The Feasibility of Controlled Air Recirculation around Operating Longwall Coal Faces", 2 nd US Mine Vent. Symp. pp. 227-237.
5. LEACH S. J., SLACK A., 1969, "Recirculation of Mine Ventilation Systems" The Mining Engineer, Vol 128, pp. 227-236.
6. TRUTUIN W., 1982, "On Gas Concentration Behaviour in Mine Workings with Recirculating Air", Mining Dept. Magazine, University of Nottingham, Vol 36, pp. 41-48.
7. LEE R. D., LONGSON I., 1984, "A Feasibility Study of Recirculation in Main Ventilation Systems of Mines", Mining Dept. Magazine, Uni. of Nottingham, Vol 36, pp. 41-
8. SENSÖGUT C., LOWNDES I., 1989, "Computer Simulations of the Distribution of Gaseous Contaminants within Controlled District Recirculation Circuits with Special Reference to Radon", 4 th Nat. Cong. of Mining Eng., India.
9. HARDCASTLE S. G., KOLADA R. J., STOKES A., 1984, "Studies in to the Wider Application pf Controlled Recirculation in Mine Ventilation", The Mining Eng., June 1984, pp. 591-598
10. PICKERING A. J., ROBINSON R., 1984, Application of Controlled Air Recirculation to Auxiliary Ventilation System and Mine District Ventilation Circuits", 3 rd Int. Mine Vent. Cong., pp. 315-322.
11. McPHERSON M. J., 1964, " Mine Ventilation Network Problems", Colliery Guardian, Vol 209, pp. 253-259.
12. SENSÖBÜT C., 1989, "Computer Simulation of Gaseous Contaminant Distribution in Ventilation Networks with Special Reference to Controlled District Recirculation", PhD. Thesis, University of Nottingham.