bu bir MMO yayınıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Pnömatik İletim

HÜSEYİN AKKOÇ
NURİ ARUN

ED-VAN
Vantilatör Ltd.

MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

BİLDİRİ

DÜZELTME ÇİZELGESİ

Sayfa	Satır	Yanlış	Doğru
281	11	$\Delta p_{din} = \Delta p_{st} = \zeta_H/2 \times V^2_H$	$\Delta p_{din} = \Delta p_t - \Delta p_{st} = \zeta_H/2 \times V^2_H$
289	26	4 ve 5'te	4'te
291	7	tasarlanmıştır.	tasarımlanmıştır.
294	3	işin özelliği hafif tozlar	is türünden hafif tozlar
294	Şekil 3.3	τ_i Dalgıç boru radyusu	r_i Dalgıç boru radyusu
294	Şekil 3.3	τ_a Siklon boru radyusu	r_i Siklon radyusu
296	13	biçimde yapılanması	biçimde yapımlanması
301	6	Δp= Basınç kaybı N/m^2	Δp= Basınç kaybı Pa/m^2
302	28	V_F = 30 m/h ila 150 m/h	V_F = 36 m/h ila 150 m/h
302	30	V_F = 30 m/h ila 150 m/h	V_F = 30 m/h ila 120 m/h
303	26	hızıyla üfürülmesine	hızıyla üfürülmemesine
313	40	yığın mallarda	yığın mallara
316	15	atelyelerinin kutulmasına	atelyelerinin kurulmasına

PNÖMATİK İLETİM

Hüseyin AKKOÇ
Nuri ARUN

ÖZET

İlk pnömatik iletim tesisatı 19. yüzyılın ikinci yarısında yapılmıştır. Bu tür iletim pratik olarak gemi boşaltmalarında uygulanmıştır. Kurulan tesisler bilimsellikten hayli uzak bulunuyordu. Bugün için bir pnömatik tesisin gereken ölçülerini belli ilkelere dayanarak yeterli doğrulukta saptamak olanağı vardır. Günümüzde endüstrinin bir çok dallarında pnömatik iletim geniş çapta kullanılmaktadır.
Öte yandan çevre havasının temiz tutulmasında filtre uygulaması son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Aynı olgu çevrenin korunması dikkate alındığında pnömatik iletim için de geçerlidir.Halen filtre teorisi üzerinde yoğun çalışmalar sürmekle beraber bugün için toz ayırıcı filtreler doğrudan pratik bilgilere dayanılarak gerçekleştirilmektedir.

Son 20 yıldan bu yana pnömatik iletim alanında teorik hesap araştırmalarına hız verilmiştir. Bu araştırmaların yardımıyla firmalar çok detaylı hesaplara saplanmadan endüstriden gelen istekleri yerine getirebilmektedir.

1. GİRİŞ

1.1 İletim Tekniğinin Ana İlkeleri

1.1.1 İletim Tekniğinin Görevleri

İletim tekniğinin endüstrideki görevi, bir malı gerektiğinde üretim yerine ve buradan stok ambarına iletilmesine yardımcı olmaktır. Tüm üretim kademelerinde iletim tekniğine rastlanmaktadır. Bir üretim kuruluşunun planlanmasında mal akış probleminin çözümü en önemli konudur.

İletim malı veya maddesinin çeşitleri yer yüzünde üç belirgin halde bulunmaktadır;

katı

sıvı

gaz

Sıvı ve gaz halinde bulunan maddeler doğrudan pompa veya kompresör yardımı ile iletilir. Bu iki madde burada iletim tekniği kapsamı dışındadır. İletim tekniği katı maddelerin iletimini içerir. Katı maddeleri iki bölümde kavramak mümkündür;

parça halinde olan mallar

yığın halinde olan taneli ve tozsu mallar.

Bu mallar, üretim yolunun bir ucundan başlanarak öteki ucunda bulunan bir mekâna ulaştırılır. Bir iletimin gerçekleştirilmesi için bir araca gereksinim vardır. Bu araç üç biçimde çalıştırılabilir;

mekanik

hidrolik

pnömatik

1.1.2 Pnömatik ve Mekanik Sürekli İletim

İletim tekniği sürekli ve süreksiz olmak üzere iki ayrı amaçlı olabilir. Örneğin; bir vincin ağır bir makina parçasını bir döküm atelyesinden alarak başka bir mahale taşıması süreksiz bir iletimdir. Buna karşın bantlı bir konveyör, bir malın kesintisiz akışını sağlama durumundadır. Böylece pnömatik iletim, bantlı konveyörde veya spiral ileticide olduğu gibi sürekli iletici katagorisinde yerini alır.

Projeyi hazırlamakla görevli bir mühendis iletim sorununu çözümlerken mevcut yığın malın iletimi için mekanik sistem ile pnömatik tesisat arasında seçimini iyi yapmalıdır. En iyi sisteme karar vermek oldukça güç bir olgudur. Çünkü her sistemin kendine özgü faydalı ve kusurlu yönleri vardır. Aşağıdaki Tablo 1.1 'de karar verme kriterlerinin bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Herhangi bir endüstri kolunda iletim yöntemini saptarken bu kriterlerin önemini gözardı etmemek gerekir. Örneğin; bir kum ocağında mekanik sürekli ileticiye (bantlı konveyör) karar verildiği halde, plastik endüstrisinde pnömatik iletici tercih edilir. Tercih nedenleri Tablo 1.1 de açıkça görülecektir.

2.Pnömatik İletim Yönteminin İlkeleri

Pnömatik iletim kavramı aşağıda özetlendiği gibi açıklanabilir;

a) Pnömatik özellikle hava ile bağıntılı olduğundan iletim aracı olarak hava, pnömatik tekniğinin temelini oluşturacaktır.

b) İletim hattı boyunca oluşan, basınç düşümüne genellikle basınç kaybı denir. Ancak bu, pnömatik iletimde önemsenmeyen bir enerji kaybı anlamına gelmez.

Kriterler	Pnömatik iletimde	Mekanik iletimde
Enerji tüketimi	Sürtünmeler nedeni ile çok	Az
İletim yolu	Her yönde esnek	Çoğu kez düz yol
Malın verilişi	Emme sistemi sayesinde çok kolaylaşır	Çoğunlukla dozu önceden tespit edilerek
Malın sakatlanması	Yüzer ortamda çok	Az
Tesisatın aşınması	Az	Sert taneli malda çok
Malın tane büyüklüğü	Sınırlı	Sınırsız
İri taneli mal	Enerji tüketimi artar	Önemsiz
Malın başka özellikleri	Tıkanma tehlikesi	Önemsiz
Tahrik gücü gereksinimi	Çok (körük)	Az (tahrik motoru)
İletim yolu gereksinimi	Az (boru hattı)	Çok (iletim aracı)
Tozsuz iletim	Toz tutma filtresi	Havalandırma tesisatı
Toz patlama tehlikesi	Koruyucu gaz altında iletim	Önlenmesi çok zor
Yüksek sıcaklık	Emme yöntemli tesisatta olumlu	Kepçe zincirli ileticide olumlu
Gürültü dağılımı	a) Körükte b) İletim borusunda	Lastik bantlarda az

Tablo1.1 Pnömatik iletim sisteminin mekanik sürekli iletim sistemi ile (kriterler yardımı ile) karşılaştırılması

2.1Akışkanlar Biliminin İlkeleri

Bir pnömatik iletim tesisinde çok fazlı akışkanlar yasası geçerlidir. Katı faz (yığın mal), gaz halindeki faz (hava) içindeki akışını sürdürür.

2.1.1 Dinamik Basınç

Şekil 2.1 havanın bir ***Prandtl tüpü*** içinden nasıl akış yaptığını göstermektedir. Üç adet içlerinde su bulunan ***U tüpü*** vasıtasıyla aşağıdaki atmosferik basınç farkları ölçülür:

a) Toplam basınç Δp_t , tüpün ekseni boyunca, tüpteki akımın zıt yönünde

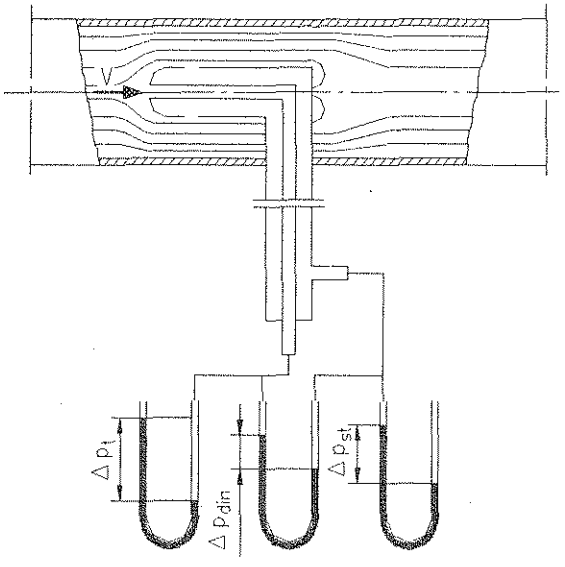
b) Statik basınç Δp_{st} , tüp çeperinin yönünde.

c) Dinamik basınç Δp_{din} , yukarıdaki her iki basınç arasındaki fark.

Dinamik basınç için şu denklem geçerlidir;

$$\Delta p_{din} = \Delta p_{st} = \frac{\rho_H}{2} \times v_H^2 \qquad (2.1)$$

Dinamik basınç salt hava akımı içindeki dirençler için bir kıyaslama değeri olup pnömatik iletim tesislerinin hesaplanmasında ilke teşkil edecektir.



Δp_t =Toplam basınç

Δp_{st} = Statik basınç

Δp_{din} = Dinamik basınç

Şekil 2.1 Dinamik basınç ölçen Prandtl tüpü

2.1.2 Salt Hava Akımındaki Basınç Kaybı

Yuvarlak kesitli bir boru içindeki hava akımının neden olduğu basınç kaybı için şu denklem geçerlidir;

$$\Delta p_H = \lambda_H \times \frac{\Delta l}{d} \times \frac{\rho_H}{2} \times v_H^2 \qquad (2.2)$$

Denklem (2.2)'ye göre Δp_H , dinamik basınç ile orantılıdır. λ_H , basınç kaybı katsayısıdır. Tüm pnömatik iletim tesislerinin hesabında λ_H **= 0.02** yeterli görülmektedir. Burada;

Δp_H = İletim havasının akım sürecinde oluşan basınç kaybıdır (Pascal)

Δl = İletim hattı üzerindeki tüm dirençlerin iletim borusu üzerine indirgenmiş olduğu halde toplam boru uzunluğu (m)

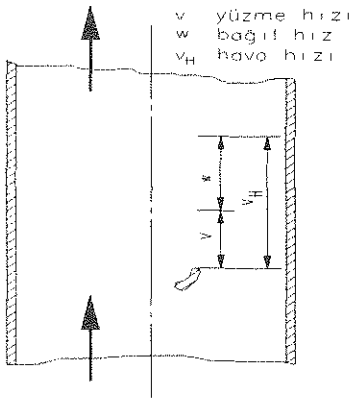
d = İletim borusunun iç çapı (m)

ρ_H= İletim havasının özgül ağırlığı (1.2 kp/m^3)

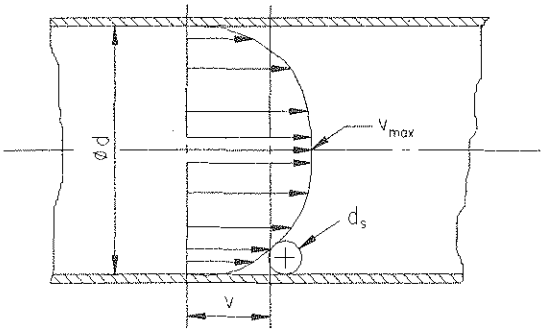
v_H= İletim havasının hızı (m/s)

2.1.3 Pnömatik İletimin Kısa açıklaması

Tane malın dikey olarak iletilebilmesi, ancak belli bir hava hızının oluşması ile mümkündür. Bu hız Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi çökelme veya yüzme hızından daha büyük olmalıdır.



Şekil 2.2 Dikey bir iletim borusu içindeki hızlar



Şekil 2.3 Hız profili

Kesit üzerinden bakıldığında her borunun içinde belli bir hız profili gerçekleşir (Bkz. Şekil 2.3). Hava hızı genel uygulamada hesaba alınan kesit üzerindeki (v) ortalama hızdır.

Yatay boruda, mal taneleri bu hızın yaratttığı sürtünme etkisiyle daha çok borunun iç çeperinde çöküş yapar. Bununla birlikte hız profili de olumsuz etkilenmiş olur.

Yatay borulu sistemde, daha güçlü bir pnömatik iletim elde etmek için gerekli hava hızını dikey sistemdeki hava hızından daha yüksek tutmalıdır. Ancak pratik uygulamalarda çoklukla yatay ve dikey sistemler kombinasyonuna yer verilmektedir. Bu nedenle, işletmecilik yönünden dikey ve yatay iletim olgusunu birlikte gerçekleştirebilecek hızlarla çalışmak gerekir.

İletim borularının eğik tarzda döşenmesinden mümkün olduğu kadar sakınmalıdır. Çünkü mal tanesi ağırlığı ile çeperlerdeki sürtünmeler birleşerek akışa karşı direnci arttırır ve bu nedenle daha yüksek hava hızı gerektirir.

Taneli bir malın güvenceli işletme çerçevesinde iletilebilmesi için yaklaşık 100 mm çapındaki boru içerisinden yüzme hızının 2~2.5 katına eşdeğer bir hız (genel olarak 20 m/sn) uygulanır. Tozsu malların iletiminde aynı hız geçerlidir.

Hava hızı, malın hareket halinde olmasını sağlamak için gereklidir.

Pnömatik iletim, mekanik iletimle karşılaştırıldığında, aşağıdaki belirgin faydaları vardır:

- Dıştan sıkıca kapalı sistem içindeki iletim olgusunda mal kaybı olmamaktadır (öncelikle tozsu mallar).
- Yer gereksinimi az, her yere kurulabilir, iletim boru hattını herhangi bir yöne yöneltmek olanağı vardır.
- Hareketli parçaların çok az olması çalışan personel kadrosunu minimumda tutmak olanağı vardır.
- İletim olgusunu tümüyle otomatikleştirme olanağı vardır.
- İletim sürecinde prosesin duraklatılmaması ((örneğin kurutma) olanağı vardır.
- Komplike iletim branşmanlarında ve istenilen yerde konstrüksiyonun basit bir çözümle gerçekleştirilme olanağı vardır.
- Yaygın boru iletim hattının az bir yatırımla gerçekleştirilmesi olanağı vardır.
- Yerden tasarruf ve tesisin yeterince ışık alma olanağı sağlanır.

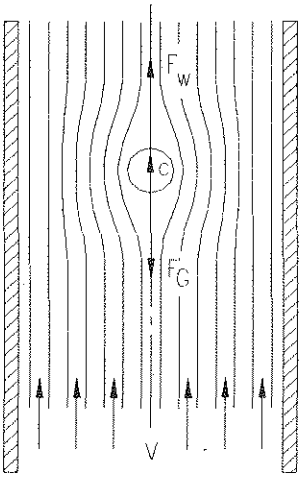
Her nekadar pnömatik iletimde güç gereksiniminin daha fazla olması ve aşındırıcı malların etkisiyle tesisatın yıpranması düşünülebilirse de yukarıda belirtilen faydalar pnömatik iletime daima üstünlük kazandırmaktadır.

2.1.4 Mal Tanesinin Yüzme Hızı

Mal tanesini yüzme durumuna getirebilmek için alttan üfüren bir hava akımına verilmesi gereken yüzme hızı v_Y, sürtünme v.b. kayıplar düşünülmezse serbest düşme hızına eşittir. Şekil 2.4 'de görüdüğü gibi akış hızının direnci, statik yüzdürme dikkate alınmadığı varsayıldığında akış direnci F_W, tanenin ağırlığı F_G 'ye eşit olacaktır. Boru içinden akan havanın v ortalama hızı egemen olurken tanenin özgül ağırlığı ρ_S, havanın özgül ağırlığı ρ_H'dan daha büyük ise;

$$v = v_Y = \sqrt{\frac{4 \times g \times d_S \times \rho_S}{3 \times c_W \times \rho_H}} \qquad (2.3)$$

v_Y	Tanenin yüzme hızı	m/s
g	Yer çekimi ivme hızı	9.81 m/s^2
d_S	Tanenin irilik çapı	m
ρ_S	Tanenin özgül ağırlığı	kg/m^3
ρ_H	Havanın özgül ağırlığı	kg/m^3
c_W	Direnç katsayısı :	
	küresel tanelerde	0.45
	taneler ovalleştikçe	0.65
	silindirikleştikçe	0.90



Şekil 2.4 Dikey boru içerisinde tanenin simetrik akış şeması

Örneğin: Aşağıdaki verilere göre polietilen granül tanesinin yüzme hızını hesap etmek için (2.3) denklemi uygulanır.

Tanenin çapı	:	d_S	=	3 mm = 0.003 m
Tanenin özgül ağırlığı	:	ρ_S	=	1000 kg/m^3
Havanın özgül ağırlığı	:	ρ_H	=	1.2 kg/m^3
Direnç katsayısı	:	c_W	=	0.6

değerleri alındığında;

Tanenin yüzme hızı $v_Y = \sqrt{\frac{4 \times 9.81 \times 0.003 \times 1000}{0.6 \times 1.2}} = 7.4$ m/s bulunur.

2.1.5 Yüzer Ortamlı İletim

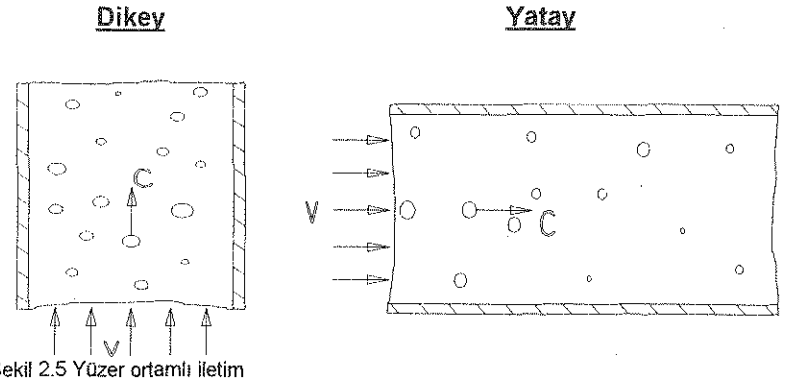
Şekil 2.5 yüzer ortamlı iletim, pnömatik iletimin klasik bir türüdür. Yüksek hava hızı etkisiyle taneler boru kesiti üzerinde hemen hemen tekdüzende hava akımının içine dağılır. Tanelerin her biri düzgün aralıklarla borunun iç çeperlerine ve öteki tanelere çarpar.

Hava hızının 20 ila 35 m/s olması ve yüzme hızının genellikle 10 m/s'nin biraz üzerinde olması nedeni ile tanelerin dikey durumda geri düşmesi tehlikesi yoktur.

İletim malı: Buğday

Hava hızı : 25 m/s

Hız oranı : c/v = 0.7



Şekil 2.5 Yüzer ortamlı iletim

Olanaklı karışım oranı μ, yüzer ortamlı iletimi sınırlamaktadır. 15 yıl öncesine kadar teknik literatürlerde bu oran ;

$$\mu = \frac{Q_S}{Q_H} = 10$$

Q_S : Mal kitle debisi kg/s

Q_H : Hava kitle debisi kg/s

olarak bildirilmekle beraber son sunulan yeni tebliğlerde bunun aşıldığı anlaşılmaktadır. Her nekadar bu sınırda μ = 30 olabileceği bildirilmekte ise de bu oranın aşılması halinde tanelerin boru içindeki dağılım düzenini yitirerek sıçramalar oluşturur. Pnömatik emme yöntemli gemi boşaltma tesislerinde karışım oranının μ = 28'e ulaştığı ölçü sonucunda saptanmıştır. Ancak her iletim malı, özellikle ince taneli ve kohezif mallar yüksek karışım oranı ile iletilemez.

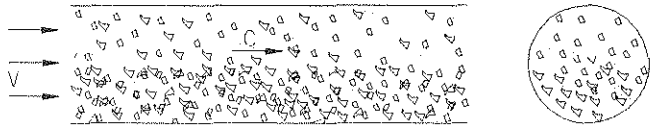
2.1.6 Çökeleksi Yüzer Ortamlı İletim

Havanın hızı 20 ila 23 m/s'nin altına düşürüldüğünde tanelerden her biri daha çok borunun alt yarısında artarak hareket eder. Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bunlar, tane büyüklüğü ve özgül ağırlıklarına göre hava akımından ayrılıp alta düşerlerken bir bölümü çökeleksi durumda iletim borusunun içinden ilerlemeyi sürdürür.

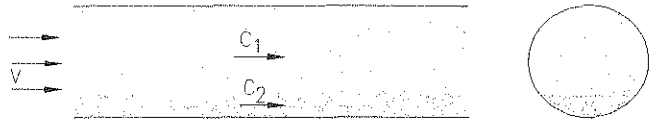
İletim borusundaki bu çökelekleşme, tanelerin bir tür yığışımıdır. Çökelekleşim olgusu zamanla değişerek tamponsu ve hatta tıkaçsı bir durum sergiler[1]. Detaylı ölçümlerle kanıtlanmıştır ki, karışım oranı arttırıldıkça ve hava hızı düşürüldükçe, havanın boru kesitindeki akım profili simetrikleşir.

Düşük hava hızı yönünde çökeleksi yüzer ortamın sınırı tıkanma sınırıdır. Geçmiş yıllarda yapılmış olan deneylerden edinilen bilgilere göre tıkanma sınırı iletim tesisine tabi olmayan bir olgu değildir. Bu hal özellikle vantilatörün karakteristiğine bağlıdır.

İletim malı: Buğday[2]
v = 17.4 m/s



İletim malı: Kuartz tozu[3]



Şekil 2.6 Çökeleksi uçar ortamlı iletim

[1] WELSCHOF, G. Pneumatische Förderung bei grossen Fördergut-Konzentrationen. *VDI-Forschungsheft 492*. Düsseldorf VDI-Verlag, 1962

[2] WELSCHOF, G. Pneumatische Förderung bei grossen Fördergut-Konzentrationen. *VDI-Forschungsheft 492*. Düsseldorf VDI-Verlag, 1962

[3] MUSCHELKNAUTZ, E. KRAMBROCK, W. Vereinfachte Berechnung horizontaler pneumatischer Förderleitungen bei hoher Gutbeladung mit feinkörnigen Produkten. *Chem.-Ing.-Techn.* 41 (1962) Nr. 21, S. 1164-1172

2.1.7 Tıkaçsı Ortamda İletim

Yaklaşık 20 yıldan bu yana yapımlanan pnömatik tıkaçsı ortamlı tesislerden alınan sonuçlara göre bu tür iletim stabil bir olgudur.

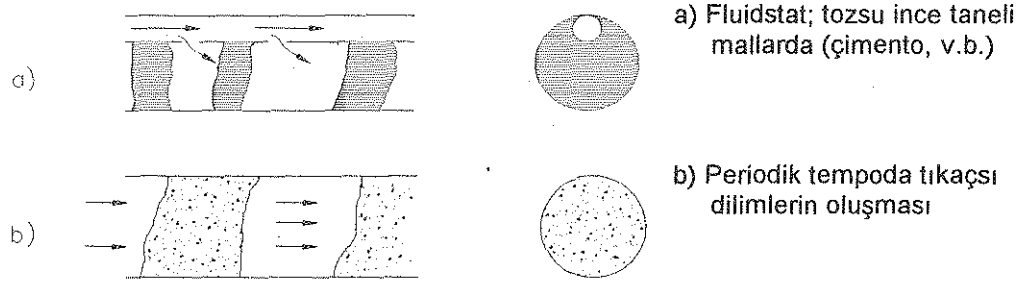
Bir boru, mal ile doldurulup dipten hava ile üfürülünce hava, mal kolonunu bir tıkaç haline dönüştürür. Yapılan deneysel araştırmalarda bir katı akımlı olan bu yöntemi gerçekleştirmek için iletim hattının sonuna bir verici yerleştirme gereği saptanmıştır. Eğer bu gereklilik yerine getirilmiş olmazsa tanelerin porlu akımıyla mal kolonu tamponlara ayrışır.

Tıkaçsı kolon, tüm boru kesitini doldurunca kendi iç basıncının etkisi ve farklı akım nedeni ile çok sayıda tıkaçsı dilimlere ayrılır. Ancak borunun üst kesitinde mal kitlesi gevşek olduğundan, buradan daha çok hava akış yapar. Tıkaçsı dilimler, iletim borularında daha çok parçalanmakla birlikte sürekli yeniden oluşurlar (Bkz. Şekil 2.7)

Havanın sıkıştırılabilir olmadığı varsayımıyla körük gücünün hesabı, aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$P = \Delta_p \times V \qquad (2.4)$$

Tıkaçsı iletimin gerektirdiği enerji, yaklaşık yüzer ortamlı iletimdeki enerji gereksinimine eşittir. Bu demektir ki, güç ekonomisi yönünden düşünüldüğünde tıkaçsı iletim yöntemine karar vermek ile vermemek arasında özünlü bir fark yoktur.



Şekil 2.7 Bir iletim tesisinde, iletim hattı boyunca zincirleme tıkaçsı kolonun parçalanması

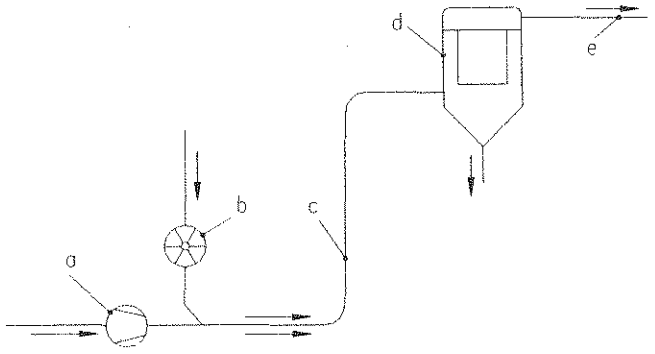
2.1.8 Akış Nitelikli İletim

Mal kitlesi yani iletim malı, özellikleri itibarı ile bazı kez katı bir cisim ve bazı kez de akış yatağında sıvı akışkan gibi bir karakter sergiler.

2.2 Pnömatik İletim Tesisatında Malın Akışı (Fluidstat)

Bir pnömatik iletim tesisinin ana işlevi Şekil 2.8'deki örnekte olduğu gibi bir basınç yöntemli iletim tesisatının şemasından izlenebilmektedir.

Körük a, iletim için emdiği atmosferik havayı gerekli basınca getirir. Basınç sayesinde hava c iletim hattının içine akar. b hücreli çark basınca karşı koyarak iletim malını, iletim hattına bırakır. İletim malı ve iletim havası karışımı iletim hattından akarak d ayırıcısına varır ve burada hava ayrılır. Hava, temiz hava hattından dışarı serbest bırakılır. İletim malı, ayırıcıyı terk ederek depolanmış veya işlenecek bir yere iletilir. İletim malının hareketinin işlevini düzenli sürdürebilmesi için iletim tesisatının en uygun iletim elemanları ile donatılması ve konstrüksiyonun buna paralel olarak iyi bir yöntemle gerçekleştirilmesi gerekir.



a Körük
b Hücreli çarklı verici
c İletim borusu
d İletim malı ayırıcı
e Temiz hava borusu

Şekil 2.8 Basınç yöntemli bir pnömatik iletim tesisatının şeması

2.2.1 İletim Malının Hızlandırılması

Malın hızlandırılmasından önce, iletim hattına kesin ulaşması gerçekleşmelidir:

a) Akış kesiti mümkün olduğunca büyük tutulmalıdır

b) Malın akış hızı düşük olmamalıdır. Bu, akış yönüne verilecek bir eğim ile sağlanır.

c) Malın akışını engelleyen vericideki hava kaçağını önlemek olanaksızdır. Ancak bunun mümkün olduğunca küçük tutulması gereklidir.

d) Vericinin sevk borusunu yatay yönde gerçekleştirmeyi tercih etmelidir. Çünkü yatay uygulamada hızlanma daha çabuk gerçekleşmektedir. Bundan başka aşağı yöne akıtılacak malı 90^0 kıvrımlı bir dirsekle gerçekleştirmelidir. Ancak, yukarı yöne boşaltma yapan basınçlı kaplar bunun dışındadır.

e) Vericisi dikey aşağı veya aşağı eğimli bir iletim hattı her zaman için faydalıdır. Çünkü iletim malı serbest yer çekimi etkisinde daha kolay hız kazanır.

İletim hattına ilk girişte gerçekleştirilebilecek malın debisi aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$Q_s = \rho_{ss} \times c \times A \qquad (2.5)$$

Bu denklemde:	Q_S:	İletim malı kitle debisi	(kg/m^3)
	ρ_{SS}	Yığın mal özgül ağırlığı	(kg/m3)
	c	Mal hızı (m/s); $(c = v - v_Y)$	
		v İletim havasının hızı	(m/s)
		v_Y Malın yüzme hızı	(m/s)
	A	Boru kesiti	(m^2)

2.2.2 Yüzme Ortamlı İletimde Malın Hızlandırılması

İletim malı, iletim hattına varınca hava akımı tarafından yakalanarak akıma katılır ve (v-c) hız farkıyla hızlanır. İvme kuvveti, başlangıçta maksimumda olup artan mal hızı (c) ile azalır.

Tesisat yapımcılarını ilgilendiren bir soru; iletim hattında vericiden itibaren döşenecek borunun uzunluğu ne kadar olmalıdır? Bu soruya kantitatif olarak yanıt verilemez. Benzer bir soru pnömatik iletim tesisatında vericiden sonra direkt dikey konumda yerleştirilecek olan kıvrımlı dirsek için yöneltilebilir. Burada (2.5) denklemi geçerli olmak koşuluyla vericiden sonraki hava hızının düşük

olmamasına özellikle dikkat edilmelidir. İletim hattını mümkün olduğunca kısa ve yatay konumda tutmalı ve kıvrımlı dirsekleri de küçük çaplı olarak tasarımlamalıdır. Çoğu kez vericiden sonra 8 metrelik yatay uzantı olanağı bulunmayabilir. Bununla beraber kıvrımlı dirsekleri vericiden 2 m yatay aralıktan sonra konumlandırmak iyi olur.

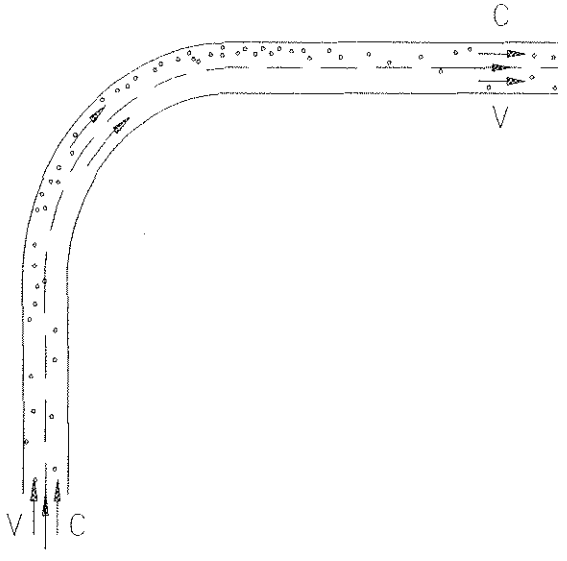
2.2.3 Tıkaçsı İletimde Malın Hızlandırılması

Tıkaçsı iletimde vericiden bırakılan iletim malının anında taşınması için hava hızının 2 ila 9 m/s olması yeterli olmaz. Mal, borunun tabanında toplanır ve arkadan gelen iletim malı ile yavaş hareket ederek bir tıkaç oluşturur. Asıl iletim, tıkaçlanma olgusu belli bir mesafeye eriştikten ve tüm boru kesitini doldurduktan sonra gerçekleşmeye başlar. Tıkaç olgusunun sonu ile başlangıcı arasında doğan basınç farkı, tıkaçsı kitleyi ileri yürütecek büyüklüktedir. Tıkaçsı kitle iletim hattının devamı boyunca parçalanır ve tekrar dikey konumda yeniden oluşur. Tıkaçsı kitlenin 1 ila 3 m/s olan hızı, gerek hava hızının ve gerekse tanenin yüzme hızının altındadır.

Tıkaçsı iletimdeki hızlar küçük olduğundan burada malın hızlandırılması için hiç bir ilave basınç kaybı meydana gelmez. Tıkaçsı kitleler çok veya az düzenli olarak iletim hattının içine yerleşir. İletim hattında, tıkaçlar yeniden oluştukça verici, aynı oranda malı arkadan yetiştirir.

2.2.4 Kıvrımlı Dirsek İçerisinde Malın Akış Yönünün Saptırılması

Pnömatik iletimde yön saptırılması kıvrımlı dirsek ile kolay bir biçimde gerçekleştirilir. Bu esnada iletim malı yüzer ortamda hava akımından ayrılır (Bkz. Şekil 2.9)

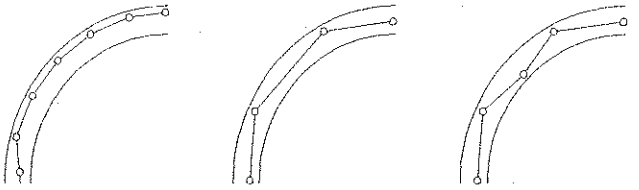


Şekil 2.9 Kıvrımlı dirsek içerisinde mal akış yönünün saptırılması

2.2.4.1 Kıvrımlı Dirsek İçinde Akış

İletim havası kıvrımlı dirseğe uyum sağlamakla beraber iletim malı eylemsizlik nedeni ile yön dönüşümüne uyum sağlamaz ve dirseğin dış ceperine çarpar[1] . Mal dirseğin dış çeperine çarptığında kinetik enerjisinin bir bölümünü kaybeder. İletim malının büyük bir bölümü dirsekten kurtuluncaya kadar kayar. Bunun ardından mal hava akımı tarafından yakalanır ve yüzer ortamla uyum sağlayarak boru kesitine homojen bir biçimde yayılır. Özellikle elastik yapılı iletim malı, geniş kıvrımlı dirsekten geçerken malın bir bölümü dirseğin iç çeperine sıçrar, veya mal dirseğin dış çeperinde yapmış olduğu sıçramalarla boru içine hareket eder (Bkz. Şekil 2.10).

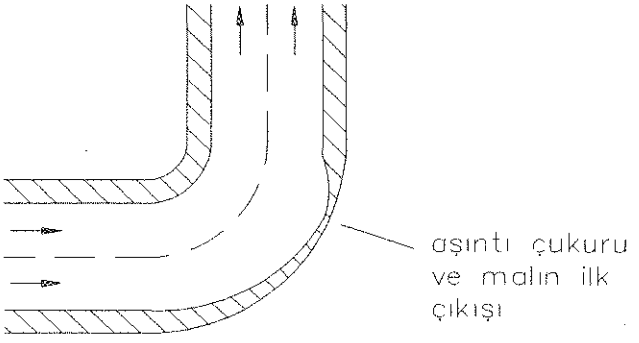
[1] BRAUER, H. *Grundlagen der Einphasen- und Mehrphasen- Strmungen.* Aarau und Frankfurt: Verlag Sauerländer, 1971



Şekil 2.10 Her bir mal tanesinin kıvrımlı dirsek içindeki hareketinde üç olabilirlik

2.2.4.2 Kıvrımlı Dirsek ve Mal Aşındırması

Tanelerden her birinin dirseğin dış cephesine ilk çarpmasında, tane ve çeper şiddetle zorlanır. Yüzer ortamlı iletimde yüksek hızlar (28 m/s dengi 100km/h) bu bölgede çoğu kez tanenin kırılması ve aşındırması olayına neden olur. Bunun tersi abrazif iletim malı, tesisatın bu bölgesinde sonderece yüksek aşıntı oluşturur (Bkz. Şekil 2.11)[2][3] . Dirseğe özellikle yapay bir aşıntı çukuru açarak bu olgu azaltılır. Böylece iletim malı burada yerleşir ve gelen mal öteki mala çarpar.



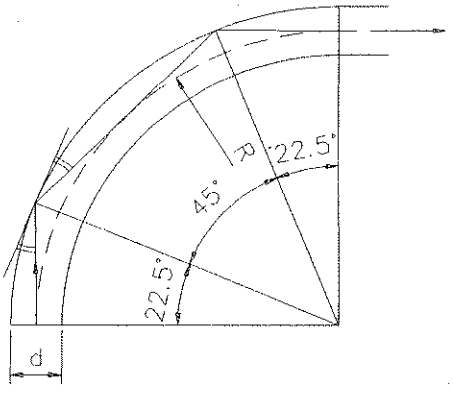
Şekil 2.11 Kıvrımlı dirsekte mal aşındırması

2.2.4.3 Kıvrımlı Dirsek Geometrisi

Dirsek sırt iç çeperine çarpan tanelerinden her birinin çarpma açısı teorik olarak sıçrama açısına eşittir[1] . Şekil 2.12'de görüldüğü gibi iki çarpılan nokta yardımıyla kıvrım yarı çapı R ile boru çapı arasında aşağıdaki orantı elde edilir.

$$R/d = 6.07 \qquad (2.6)$$

Bu orantıya dayanarak bazı pnömatik tesisat yapımcıları kıvrımlı dirseklerde R/d = 6 oranını baz kabul etmektedir.



$$\cos 22.5^\circ = \frac{R}{R+\frac{d}{2}} = \frac{1}{1+\frac{d}{2R}}$$

$$\frac{R}{d} = 6.07$$

Şekil 2.12 Kıvrımlı dirsek içinde iki çarpılan nokta

[2] BRAUER, H.; KRIEGEL, K.; Verschleiß von Rohrkrümmern beim pneumatischen und hydraulischen Feststofftransport. *Chem.-Ing.-:Techn.* 37 (1965) Nr. 3, S. 265-276.

[3] GLATZEL, W.; Verschleiß von Rohrkrümmern beim pneumatischen Transport. Dissertation, Technische Universtät Berlin, 1977.

[1] WAGNER, K.:Teoretische Untersuchungen des pneumatischen Fördervorganges. Dissertation, Tecnische Hochschule Dresden, 1925.

Ancak gerçekte taneler kıvrımlı dirsek içinde sıçramazlar, sadece kayarlar. Yüzer ortamlı iletimde dirseğin kıvrımlı yarı çapı çok küçük değildir. Çoğu uygulamada (2.6) denkleminden elde edilen sonuç bir minimumdur. Yapısal nedenlerle R/d = 4'ün altına bile inilmektedir. Piyasada genellikle sergilenen kıvrımlı dirseklerde R/d = 2.5 veya 1.5 düzeyindedir. Pnömatik yüzer ortamlı iletimde, bu ölçekteki dirseklerde büyük tıkanma tehlikesinin oluştuğu izlenmiştir. Bu nedenle önerilmediği bildirilmektedir.

Çoğu kez pnömatik iletimde boru çapı d'ye bağımlı olmayan aşağıda ölçüleri yazılı kıvrımlı dirsekler kullanılmaktadır.

R = 500, 1000, 1500, 2000 mm

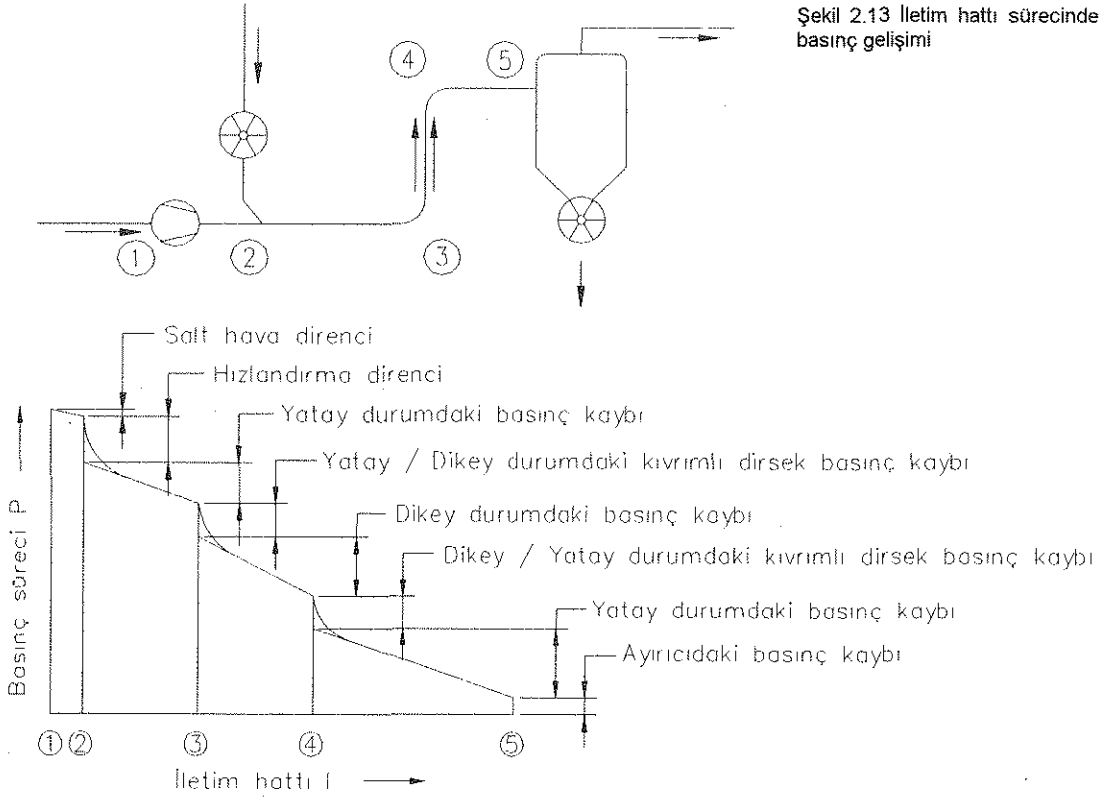
Bunlar R/d = 6'dan daha büyük değerde olduğundan çoğunlukla tercih edilir.

Plastik mal endüstrisinde granül tanelerinin köşeleri boru çeperlerinden kayarken eriyerek ağda kıvamlı ipliksi sıvaşmalar oluşturduğundan, büyük yarıçaplı kıvrımlı dirseklerin biraz uygun olmayacağı bildirilmiştir.

Sonuç olarak buraya kadar açıklanan olgular yalnız yüzer ve çökeleksi ortamlı iletimde geçerlidir. Tıkaçsı iletimde kıvrımlı dirseklerde sorun çıkmamaktadır. Burada 90^0 kıvrımlı dirsekle birlikte 180^0 dönüş yapan kıvrımlı dirsekte uygulanabilir. Yapılan ölçümler göstermiştir ki simit biçiminde döşenmiş bir hat içinden tıkaçsı ortamlı bir iletim gerçekleştirilebildiği bildirilmiştir.

2.3 İletim Hattı Sürecinde Basınç Gelişimi

Paragraf 2.2.1'den, paragraf 2.2.4'e kadar olan bölümlerde iletim malının hareketi açıklanmıştır. Malın harekete geçirilebilmesi, ancak sürtünme kayıplarını önleyebilecek olan, bir güç sayesinde mümkündür (körük veya komprösör). Bu güç (2.4) denklemine göre sabit hava debisi altında tesisatın çeşitli bölümlerindeki dirençleri yenmeye hazırdır.



Şekil 2.13 İletim hattı sürecinde basınç gelişimi

Çeşitli bölümlerde oluşan basınç kayıpları Şekil 2.13'de görülmektedir. Bu kayıpları sırasıyla toplam iletim hattı sürecindeki genel kayıptır. İletim hattının özellikle her bir direnç oluşturan bölümünde (örneğin: vericide ve kıvrımlı dirsekte olduğu gibi) şiddetli basınç düşüşü kaydedilmektedir. Bir pnömatik tesisatın projesinin hazırlanmasında detay basınç kayıplarının nasıl hesaplanacağı paragraf 4 ve 5'te açıklanacaktır.

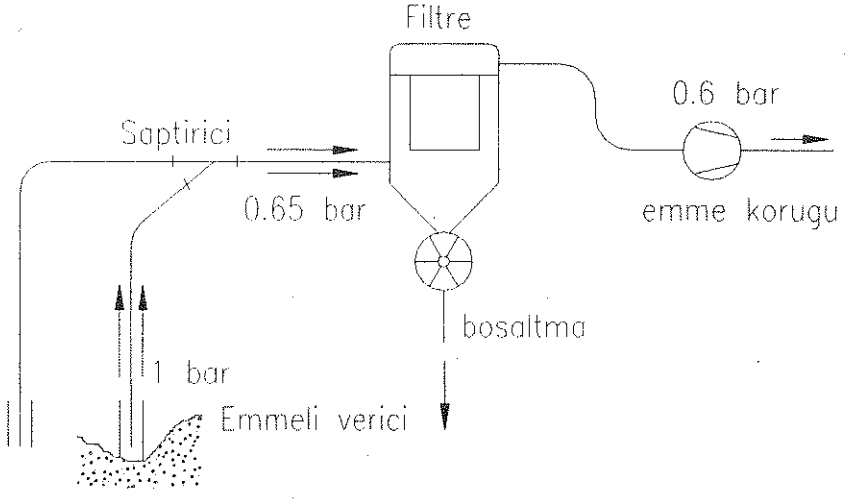
2.4 Emme ve Basınç Yöntemli Tesisler

Körüğün, iletim hattının başlangıç veya sonunda konumlandırılmış olmasına göre pnömatik emme ve pnömatik basınç yöntemli (Bkz. Şekil 2.14) iletim sözkonusu olur. Her iki yöntemde iletim hattı sürecinde basınç kaybı oluşur, öyle ki başlangıçtaki basınç en sondaki basınçtan yüksektir. Emme yöntemli tesiste verici, atmosferik basınçtadır. Böylelikle tüm iletim hattında negatif basınç egemen olur. Basınçlı tesisatta, verici atmosferik basınca kapalı olduğundan akış yönündeki basınç kaybı, iletim hattının her yerinde bir üst basıncın egemen olmasına neden olur. Bu basınç vericinin birleştiği noktada en büyük bir değerdedir. Bir pnömatik emme yöntemli tesisatı işletebilecek maksimum basınç farkı teorik olarak Δp_{max}=1 bar düzeyindedir.

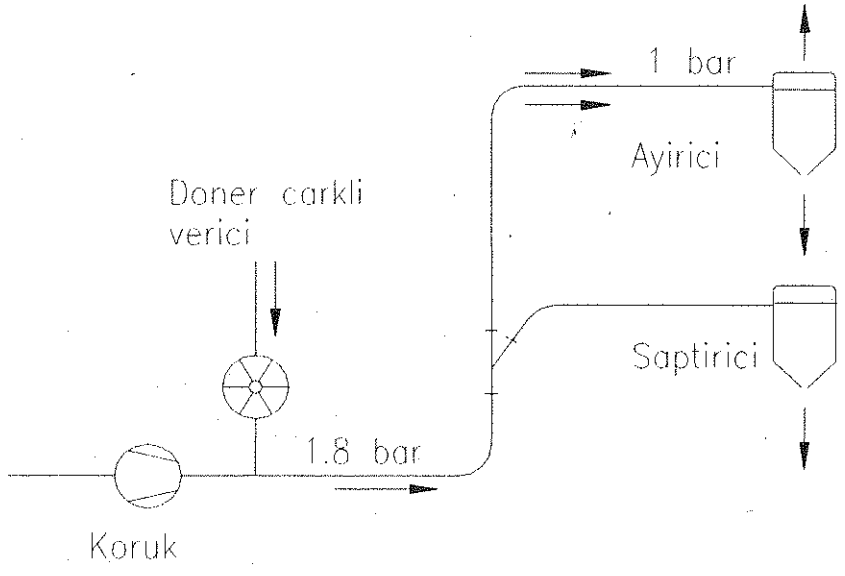
Negatif basınç üretimi ve pnömatik emme yöntemli bir işletme düşünüldüğünde ilke olarak p = 1 bar ve 0.6 bar (minimum 0.5 bar) pnömatik emme yöntemli bir iletim tesisatı için en ekonomik basınç farkıdır. Vantilatör veya komprösörün ürettiği basınca göre pnömatik iletimi aşağıda sıralandığı gibi ayırt etmek mümkündür.

İletim	Basınç üretme kaynağı	Basınç farkı
Alçak basınç yöntemli	Vantilatör	0 ila 0.15 bar
Orta basınç yöntemli	Döner pistonlu körük	0.15 ila 1 bar
Yüksek basınç yöntemli	Komprösör	1 ila 6 bar

a) Emme yöntemli iletim



b) Basınç yöntemli iletim



Şekil 2.14 Pnömatik iletim tesisatında iki seçenek :

Bundan başka basınç farkı açısından DIN 24163 aşağıdaki bilgiyi vermektedir.

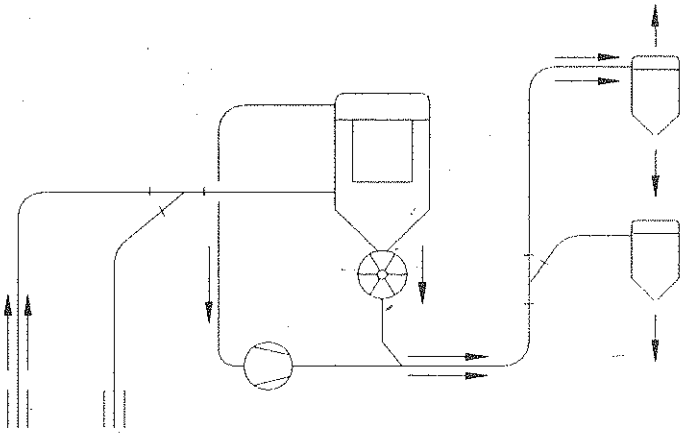
☆ 0 ve 0.3 bar basınç üreteçlerine körük veya vantilatör denmektedir.

☆ 0.3 bar'dan öte basınç üreteçlerine kompresör denmektedir.

Emme yöntemli tesisat, atmosferik basınçta malı ağızladığı için her hangibir sorun söz konusu değildir. Buna karşın malın iletimine süreklilik kazandırabilmek için tesisatın sonunda bir basınç farkının gerçekleştirilmesi gereklidir. Basınç yöntemli tesisatta asıl sorun malın ağızlatılmasındadır. Bu nedenledir ki yüksek basınçlı sistemlerde çok çeşitli ve enteresan tipte vericiler tasarlanmıştır.

Emme yöntemli tesisler özellikle yığın malların isteğe göre çeşitli noktalardan merkezi bir noktaya iletimini sağlamaya elverişlidir (Örneğin; bir gemi boşaltma tesisatı veya merkezi bir toz emme tesisatında olduğu gibi). Tesisatın sonunda filtre ve aspiratör bulunur. Buna karşın iletimin bir noktadan istenilen çeşitli noktalara gerçekleştirilebilme sorunları basınçlı yöntemle çok kolay çözümlenmektedir (Örneğin; silo tesislerinin dolumunda olduğu gibi). Çeşitli noktalardan çeşitli noktalara gerçekleştirilmesi istenen iletimde ortaya çıkabilecek problemler dikkate alındığında emme / basınç bileşik yöntemli pnömatik iletim tesisleri daha uygun olmaktadır.

Şekil 2.15 Emme/basınç bileşik yöntemli bir pnömatik iletim tesisatı



Aynı debide mal iletecek olan emme yöntemli bir tesisatın boru çapı, mevcut basınç farkının az olması nedeni ile basınç yöntemli bir tesisatın boru çapından çok daha büyüktür. Emme yöntemli tesisler, mal iletimini gerçekleştirebilmek için büyük miktarda havaya ve buna bağımlı olarak körük tahrik gücüne gereksinim vardır. Eğer enerji gereksinimi sorun olmuyorsa daha basit olması nedeni ile büyük kapasiteli pnömatik iletim tesislerinin emiş yöntemli olarak yapımlanması önerilmektedir. Kapasitesi saatte 800 ton'a kadar olan gemi boşaltma tesisleri buna bir örnek olarak gösterilebilir. (Üretim hızı 20 ila 40 m/s)

2.4.1 Emme Yöntemli İletim Tesisleri

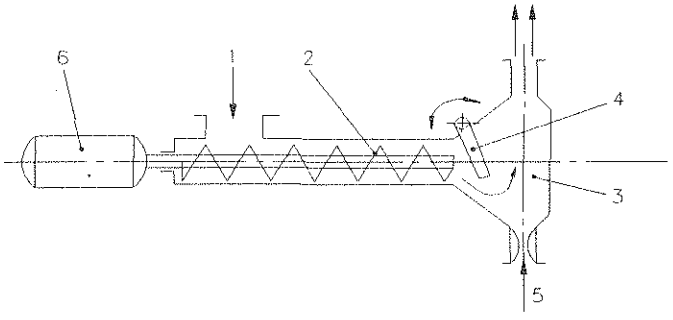
Emme yöntemli ileticiler, kısa iletim hatları ve hava akımı içinde kolay hareket ettirilebilen mallar için uygun görülmektedir. Emme yöntemli ileticinin yapım biçimi Şekil 2.14 a'da şematik olarak görülmektedir. Malın çekilmesi bir emme ağızlığı yardımıyla gerçekleşerek ayırıcı (filtre) ya iletilmektedir. Boru hattı oynak veya elastik birleştirme parçaları ile döşenmiştir. İletim malı, hava akım hızının kesit büyümesi nedeni ile yön ve hızının değişmesi sonucunda düşmektedir. İletim malı hücreli çark vasıtasıyla çıkışa verilir. Hava akımı bundan sonra ikinci bir toz ayırıcı (siklon) dan geçirilerek temizlenir ve körük üzerinden havaya verilir. Körüğün sürekli yaymakta olduğu gürültü şiddetini azaltmak için körüğün çıkışına bir susturucu konmaktadır.

İletimde malın hava içinde yüzer ortama geçirilebilmesi için hava hızının saptanması gereklidir. Taşıyıcı havanın hızı 20 ila 40 m/s'dir. Genelde ulaşabilecek dikey yükseklik 50 m, ve iletim kapasitesi saate 350 t düzeyindedir.

2.4.2 Basınç Yöntemli İletim Tesisleri

Bu türden olan tesisler, daha çok ağır hareket eden malların iletimi için yapımlanmaktadır. Burada bir besleme noktasından çok sayıda boşaltma noktasının beslenmesi olanağı sağlanmaktadır.

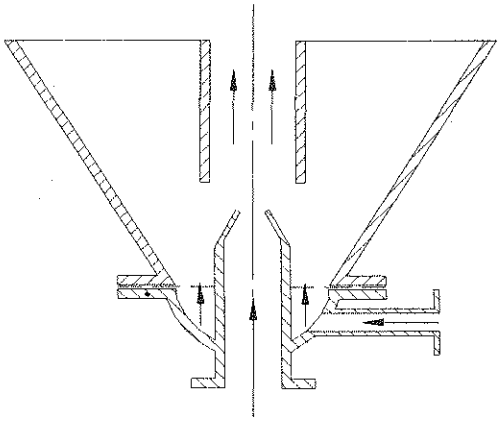
Ağır tozsu ve granül mallarda genellikle basınç yöntemli pnömatik tesisler kullanılmaktadır. Şekil 2.14 b'de basınç yöntemli bir iletim sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistemde iletim malı, iletim borusuna bir hücreli çark yardımıyla ulaştırılmaktadır. Bundan başka (Şekil 2.16) iletim malı bir spiral vericiyle, (Şekil 2.17 a) karıştırma depolu vericilerle veya (Şekil 2.17 b) enjektörlerle verilmektedir. İletim malı bir siklon ayırıcıda ayrılır ve bir hücreli çark yardımıyla boşaltılır.



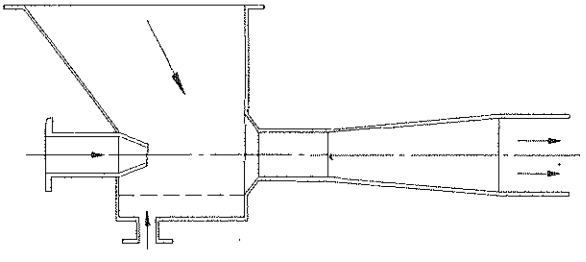
Şekil 2.16 Spiral verici şeması

Taşıyıcı iletim havası bir filtre üzerinden ayırıcıyı terk eder. Pnömatik tesislerde özellikle prosese yönelik endüstride filtreyi terk eden hava tekrar komprösöre verilir.

Duruma göre basınç yöntemli bir iletimde hava basıncı 6 bar dolayındadır.



Şekil 2.17 a Karıştırma depolu bir vericide dikey durumlu bir enjektör



Şekil 2.17 b Dipten gevşeticisi ile yatay durumlu bir enjektör

3.Pnömatik İletimde Malın Ayrıştırılması

Havanın atmosfere yayılabilmesi için bir pnömatik iletim tesisatının sonunda iletim malının havadan ayrılması gereklidir. Bazı ayrıcalıklar dışında iletim havası ve iletim malını direkt atmosfere üfürmek artık olanaksızdır. Çünkü böyle bir hava çevreyi rahatsız etmektedir. Çevre havasını bozmamak için izin verilen sınır değerler halen batı ülkelerinde tüzel teknik yönergelerle yığın mal ve hava debisine bağıntılı olarak saptanmış ve yurdumuzda da bu amaçla esaslı adımlar atılmaktadır. Maksimum toz konsantrasyonu 150 mg/m^3 hava için tehlikesiz sayılmaktadır[1] . Bu değere göre hava ve toz karışım oranı μ;

[1] TA Luft, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. *Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutz-Gesetz.* Berlin: Carl-Heymanns-Verlag, 1986.

$$\mu = \frac{Q_S}{Q_H} = \frac{0.00015}{1.2}$$

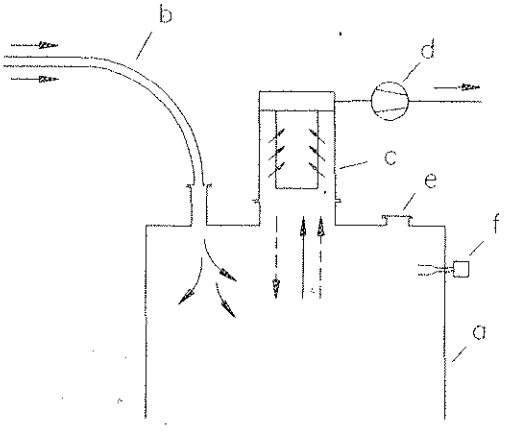
$\mu = 1.25 \times 10^{-4}$ kg toz (her kg hava içinde)
Q_S = Toz kitle debisi kg/s
Q_H= Hava kitle debisi kg/s

3.1 İletim Malını Ayırıcı Sistemler

İletim malı, örneğin geniş kesitli bir siloda depo edilmek üzere iletilecek veya iletim bir üretim prosesinde bir kademeyi oluşturuyor ise bu iki ilkeyi birbirinden ayırmak gerekir.

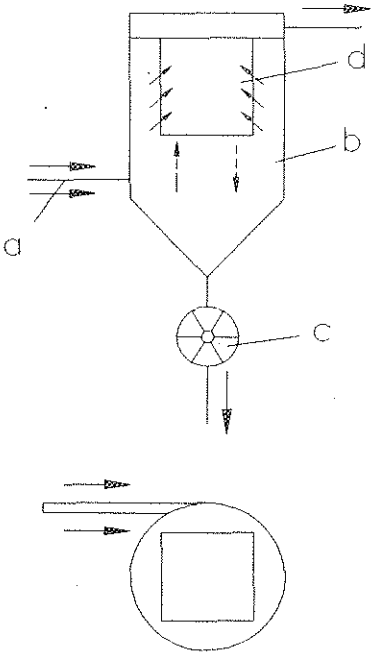
Birinci durumda Şekil 3.1 de görüldüğü gibi (a) silosunun işlevi, ayırma ve toz gidermektir. (b) iletim borusu aşağı doğru pozisyondaki kıvrımlı dirsek ile silonun tepesinden içeri girer. Siloda, üstte toplanan toz içerikli hava bir bunker filtresinde tozunu bırakır. Bir (d) emme vantilatörü siloda basınç oluşumunu engeller. Filtre sağırlaşınca manometrik basıncın artmasıyla silonun tavanındaki bir (e) klapesi açılır. Böylece silo izin verilmeyen bir basınçtan korunmuş olur. Bundan başka silo gövdesi üzerindeki bir (f) doluluk düzeyi haber vericisi, siloyu aşırı doluma karşı korur. Bu düzende iken emme vantilatörü, iletim durmuş olsa bile silonun kaldıramıyacağı herhangi bir negatif basınç üretmez.

Kesintisiz çalışan üretim proseslerinde malın ayrılması öncelikle Şekil 3.2 de görüldüğü gibi gerçekleştirilir. İletim borusu (a) burada teğetsel biçimde (b) ayırıcısına giriş yapar. Helezonlar oluşturarak akan iletim malı bir (c) hücreli çark vericisine ulaşır. Bu esnada hava bir (d) filtresinden geçerek temizlenmiş olur. İletim havası basıncının yaklaşık filtre direnci ile eşdeğer bir düzeye ulaştığında iletim havasının aşağıdan kaçıp gitmemesini sağlamak için bir hücreli çarklı vericiye gerek vardır.



a. Silo
b. İletim burusu
c. Bunker filtresi
d. Emme vantilatörü
e. Üst basınç klapesi
f. Doluluk seviye habercisi

Şekil 3.1 Siloda malın ayrılması



a. İletim borusu
b. Filtre ayırıcısı
c. Hücreli çarklı verici
d. Filtre

Şekil 3.2 Filtreli ayırıcıda kesintisiz mal ayırımı

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 de görüldüğü gibi malın ayrışması ancak aşağı çöküşmekte olan tozların hızı, yukarı yükselen hava hızından daha büyük olduğu zaman gerçekleşir. Başka bir durumda, aşağı çöken,işin özelliği hafif tozlar tekrar filtreye taşınarak zamanla filtreyi tıkanık hale getirir.

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görülen ayırma işlevinde her iletim malının filtre ortamına giderek onu tıkanma ve yıpratma durumuna getirmesi söz konusu değildir. Ancak ince tozlar filtre ortamına ulaşırken tüm kaba tozlar ayrışır. Burada asıl tehlike ince tozların filtreyi tıkamasıdır. Bu nedenle filtre ortamına mümkün olduğunca az miktarda toz tutunmalı. Ayrışma olgusu ne çok kuvvetli ne de çok zayıf olmalıdır. Bu düşünce, bazı filtre üreten firmaları, malın filtreye girişini teğetsel değil radyal biçimde gerçekleştirmeye yöneltmiştir.

3.2 Siklonlar

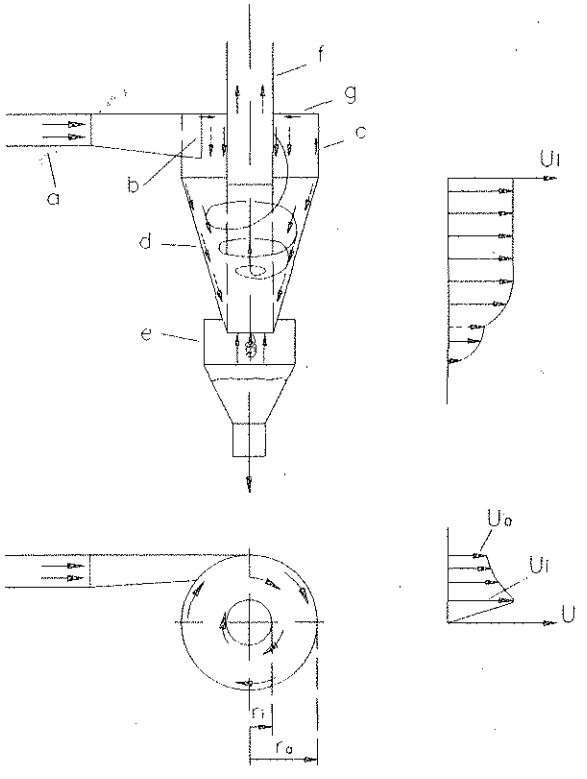
Siklonlar 100 yılı aşkın süredenberi yapılmakta ve 50 yıldan buyana yeni hesap yöntemleri uygulanmaktadır. Zamanımıza kadar bu alanda çok araştırmalar yapılmıştır.

Ayırıcı siklonlar endüstride en çok kullanılan toz tutma aparatlarıdır. İşletme ve yatırım masrafları açısından en ucuz olan sistemlerden biridir. Genellikle 5 ila 200 μ (micron) iriliğindeki partiküllerin tutulmasında uygulanır.

İşlevi:

İletim malı siklonda merkezkaç kuvvetinin etkisiyle hava akımından ayrışır. Merkezkaç kuvvet spiral akımla ortaya çıkar. Bir kaptan boşalan her akışkan (fluid) bundan başka bir anafor depresyonu oluşturma eğilimindedir. Potansiyel anafor içerisinde öteki akımların aksine uçuşmakta olan elementler birbirine engel olmazlar. Bu nedenle akışkanın ve iletim malının siklona teğetsel olarak girmesiyle kararlı bir spiral akım meydana gelir.

Şekil 3.3 de bir pnömatik iletim hattının sonundaki siklonun işlevi görülmektedir. Dairesel kesitli (a) iletim borusu dikdörtgen kesitli bir (b) giriş borusuyla eklenerek siklonun silindirik (c) kısmında ağızlanır. Buraya gelen iletim malı, tümüyle spiral yörüngedeki yumakcıklar halinde siklonun konik (d) kısmının çeperinden kayarak (e) çıkış kabına akın eder. Hava (f) dalgıç boru içine spiral bir biçimde akarak buradan dışarı çıkar.



a. İletim borusu
b. Havanın girişi
c. Silindirik siklon parçası
d. Siklon konik parçası
e. Çıkış kabı
f. Dalgıç boru
g. Siklon tepesi
τ_i Dalgıç boru radyusu
τ_a Siklon radyusu
u_i Dalgıç boru radyusunda çevresel hız
u_a Siklon radyusunda çevresel hız

Şekil 3.3 Hava iletim malının siklondan akışı

İletim malının (e) çıkış kabı yönünde ayrışmasını destekliyeceği için siklon gövdesinin koni kısmında ikincil bir akımın oluşması gerçekleşmiş olur. Ancak siklonun (g) tepesinin iç yüzeyinde ikincil akımın olumsuz etki yaptığı bildirilmiştir.

Bu konuda yapılan deneyler[1] göstermiştir ki, helezon çekirdeğinin içinde (e) çıkış kabından ayrılan tozun (f) dalgıç boru içinde yukarı çekilmesini önlemek için (e) akış kabının tepe kısmına koni biçimi verilmesi önerilmektedir.

Emme yöntemli tesislerde siklonun dibine yerleştirilen hücreli çarklı vericiden iletim malına karşı ters akım yapan kaçak hava, siklonun ayırıcı niteliğini fena etkiler.

Siklonlarda belirli bir teğetsel hızda merkezkaç kuvveti yarıçapla ters orantılı olarak değiştiğinden, küçük çaplı siklonlar büyük çaplı siklonlara göre yarattıkları merkezkaç kuvveti nedeniyle daha etkilidirler. Öteyandan proje mühendisi için yüksek sıcaklık, yüksek nem ve yapışkan nitelikte iletim malı sözkonusu olduğunda yatırım ve işletme masrafları yönünden siklonlu ayırıcılar çok daha ucuz oldukları için endüstride öncelikle tercih edilmektedir.

Hava ve mal karışım oranı (μ)'nün artması ile siklondaki basınç kaybı artmayıp aksine azalacaktır. Çünkü siklona akış yapan havanın (u) çevre hızı, havanın yığın mal üzerine sürtünmesi nedeniyle düşecektir.

İşlemsel uygulamada gazların temizlenmesinde hizmete konacak siklonlarda genel çalışma koşulları yaklaşık şöyledir;

Gaz debisi	:	*50 m^3/h ila 4500 m^3/h*
Gaz sıcaklığı	:	*1000 C^0 ye kadar*
Gaz basıncı	:	*vakum (- 0.5 at)*
Gaz giriş hızı	:	*6 m/s ila 21 m/s*
Basınç kaybı	:	*25 mmSS ila 125 mmSS*
Partikül boyutu	:	*2 μ ila 200 μ*
Partikül yoğunluğu	:	*0.23 gr/ m^3 ila 230 gr/ m^3*
Verim	:	*%50 ila %90*

3.2.1 Siklon Konstrüksiyonunu Etkileyen Faktörler

Siklonlar genel olarak belli bir basınç kaybı dikkate alınarak tasarımlanır. Atmosferik basınçta çalışan normal özellikteki siklonlarda körüğün (vantilatörün) karşılayabileceği basınç kayıpları, siklon gaz giriş hızlarını 6 ila 20 m/s arasında sınırlar. Bu nedenle siklonları genellikle 15 m/s gaz hızlarında çalışacak şekilde tasarımlamak gerekebilir.

Siklon verimini etkileyebilecek başlıca tasarım faktörü siklonun çapıdır. Aynı basınç kaybı altında çalışan daha küçük çaplı bir siklonun verimi daha yüksek olacaktır. Bu böyle olmakla beraber belirli bir miktardaki gazı ayrıştırabilmek için küçük çaplı siklonlardan birden fazlasının paralel olarak uygulanması gerekebilir. Bu biçim uygulamaya multisiklon tertibi de (Bkz. Şekil 3.4) denilmektedir.

Şekil 3.4 Multisiklon tertibi (J.L.. Alden - J.M. Kane)

[1] KRAMBROCK, W.:Berechnung des Zyklonsbscheiders und praktische Gesichtsounkte zur Auslegung. *Aufbereitungs-Technik* 12 (1971) Nr. 7, S. 391-401 und Nr. 10, S. 643-649.

Eğer tozun önemli bir mikdarında partikül boyutu 15 μ'dan küçük ve akımdaki dağılımı geniş bir aralıkta bulunuyorsa siklonlar seri olarak da tertiplenebilir. Böyle olunca iri partiküller geniş çaplı tek bir siklonda ayrıştırılarak yükü azalan gaz bundan sonra ufak çaplı paralel tertipteki multisiklon grubunda işleme tabi tutulur.

Siklondan geçen gaz miktarının artması ile verim normal olarak yüselecekse de yumakcıklar oluşturan tozlar yüksek hızlarda tekrar dağılacağından bu durumun tam tersi gaz miktarı arttıkça verim azalabilir.

Siklon gaz çıkış borusunun çapının azaltılması basınç kaybını arttırır. Siklon uzunluğunun gaz giriş borusu boyut oranı hakkında yapımcı firmalar kendi deneyimlerini değerlendirmektedir. Bununla beraber belli bir gaz giriş hızında genişliğin minimumda tutulması gerekir. Siklona gaz girişindeki boğaz uzantı parçasında uzunluk genişlik oranının yüksekçe tutulması da verimi yükseltir. Bundan başka gazın siklon gövdesine girişindeki basınç kayıplarının artmaması için boğaz uzantı parçasının gövdeye tedricen uyacak biçimde yapılanması gereklidir.

Yüksek verimli siklonların çoğunda koni yükseklikleri, siklon çapının 1.6 ila 3 katı kadar öngörülmektedir.

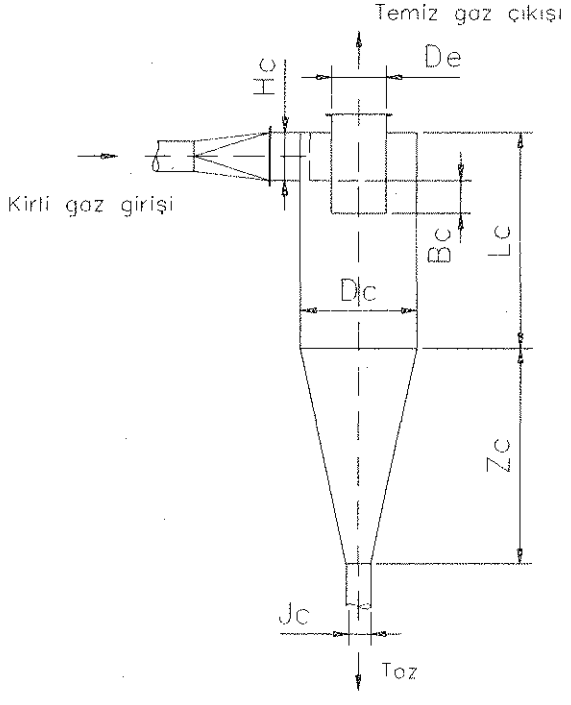
Bir siklon, basınç altında olduğu kadar vakum altında da çalışabilir. Vakum altında çalışan siklonlarda sızdırmazlığın çok iyi sağlanması zorunludur. En ufak bir sızdırmada özellikle ince tozların tutulma verimleri hızla azalır. Basınç altında çalışan siklondaki sızdırma kaçağı, çevre sağlığını ve temizliğini bozacağı için çok dikkat edilmesi gerekir.

Bir siklon ender olarak bazı hallerde yatay konumda da çalışabilir. Ancak bu durumda toz çıkış hattının tıkanma eğilimi artacak ve böylece siklonun verimi düşecektir.

Siklondan çıkan gaz borusunun tasarım gereği daraltılması istendiğinde, daralma geçişi, siklon çıkışından itibaren yaklaşık 5 çaplık bir mesafeden yapılmalıdır. Bu esnada bir dirsek varsa dirsekten sonra yapılmalıdır.

3.2.2 Standard Siklonlar

Şekil 3.5'te bütün boyutları, çap orantısı ile tespit edilen spiral akımlı bir siklonun konstrüksiyonunu gerçekleştirmek mümkün olabilmektedir.

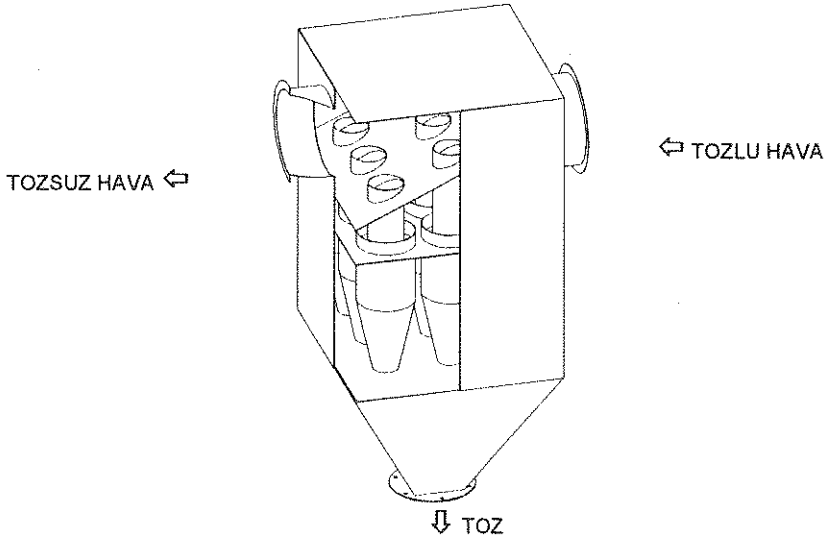


B_c	$D_c/4$
D_e	$D_c/2$
D_c	$D_c/2$
L_c	$2D_c$
S_c	$D_c/8$
Z_c	$2D_c$
J_c	Tasarımcı tespit eder (genelde $D_c/4$)

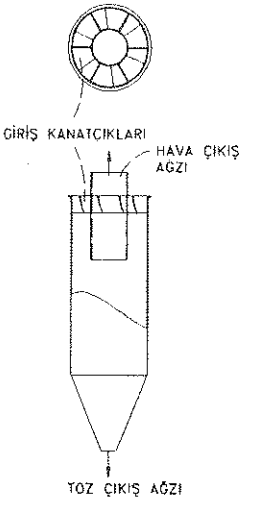
Şekil 3.5 Spiral akımlı siklon boyutları

Siklon tasarımında genel anlamda bir standardizasyon henüz mevcut olmamakla beraber tanınmış büyük firmalar bu alanda kendi deneyimleri doğrultusunda kendi standartlarını geliştirmişlerdir. Bununla birlikte, endüstrinin istek ve koşullarına göre tasarımcı bir mühendis genelde bu standartların dışına çıkabilmektedir. Malzeme olarak genellikle St.37 veya kaliteli paslanmaz çelik (Argon gazaltı kaynağı uygulayarak) kullanılmaktadır. Endüstrideki uygulamada gerektiğinde iç çeperi seramikle kaplanabilmektedir.

Şekil 3.6a'da küçük gövdeli siklonlardan oluşan bir multisiklon sistemi görülmektedir. Burada (Bkz. Şekil 3.6b) giriş kanatçıkları yardımı ile gaza spiral hareket verilmektedir. Gövdeler 15 ila 25 cm çapında ve dökme demir ve aşınmaya dayanıklı alaşımlı borulardan yapımlanmıştır. Bu tip siklonlar özellikle buhar kazanlarında uçucu külün tutulmasında kullanılmaktadır.



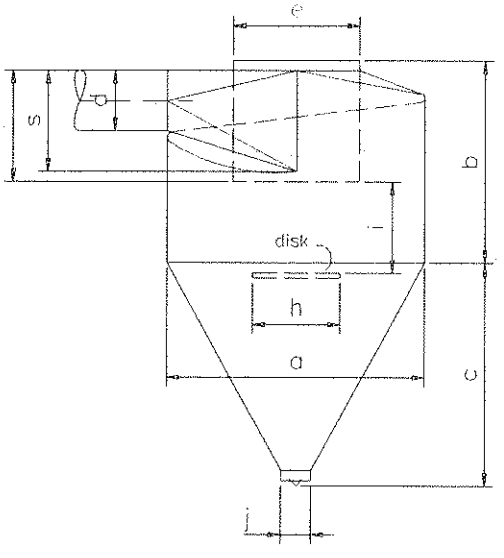
Şekil 3.6a Western Precipitation Corp. firmasınca üretilen bir multisiklon takımı



Şekil 3.6b Yüksek verimli, dar çaplı bir siklon

Amerika Birleşik Devletleri'nde endüstri tipi siklon üreten tanınmış bazı firmaların ürettikleri standard, düşük basınç ve spiral akımlı siklonlar Şekil 3.7-Tablo 3.1 ve ayrıca orta boyutlu, spiral tepelikli siklonlar Şekil 3.8-Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Her iki tabloda verilmiş olan değerler Amerikan ölçü birimleri ilkesine göre tertiplenmiş olduğundan metrik sisteme çevirmede aşağıdaki karşılık değerlerle çarpılması yeterli olacaktır.

1 cfm = 0.238 m3/dak
1 inch = 25.4 mm



Şekil 3.7 Düşük basınç ve spiral akımlı siklon boyutları

Kapasite	Boyutlar (inch)									
cfm	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
500....	37	15	33	05	10	12	08	07	08	03
1.000....	44	21	40	07	14	16	11	10	11	05
2.000....	54	30	49	10	20	19	15	14	15	06
3.000....	63	36	57	12	25	22	18	18	19	07
5.000....	75	48	68	16	32	28	24	22	24	10
7.500....	87	60	78	20	39	34	30	27	30	10
10.000....	97	68	87	23	45	38	34	32	34	12
12.500....	105	75	95	25	50	42	38	35	38	12
15.000....	114	82	103	27	55	45	41	38	42	12
20.000....	127	94	114	32	63	51	47	44	48	13
25.000....	139	105	125	35	70	57	53	49	54	13
30.000....	151	116	136	39	77	62	58	54	59	14
35.000....	163	126	147	42	84	67	63	59	64	14
40.000....	173	135	156	45	90	72	68	63	69	15

Tablo 3.1 Spiral akımlı siklon ölçüleri

ED-VAN Vantilatör Sanayii Ltd. firmasının standardında halen üretilmekte olan iki ayrı tipteki spiral akımlı orta ve yüksek basınçlı siklonlar (Şekil 3.9-Tablo 3.2), (Şekil 3.10- Tablo 3.3)'te gösterilmiştir.

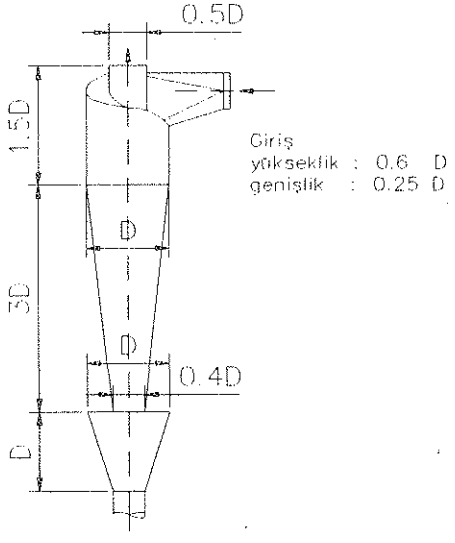
3.2.3 Siklon Uygulamasında Bazı Kriterler

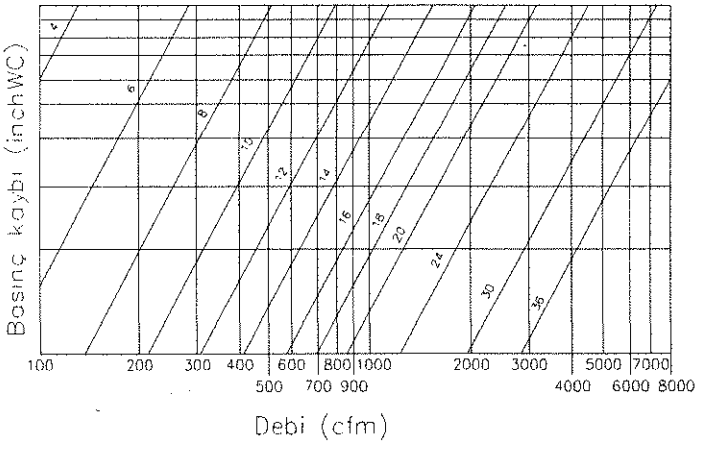
Pnömatik iletimde çoğu kez iletim malının sürtmesi ile boru çeperinde ince aşıntı olgusu ortaya çıkar. Bundan başka karışım oranı (μ) yüksektir. Böyle olunca artan hava sürtmesi, akım burgacını azaltacaktır. Sonuçta karışım oranı artınca hava miktarında iniş çıkışlar hasıl olur. Böylece projede siklondan beklenen optimum değerler amacından sapmış olacaktır.

Pnömatik tesislerin çoğunda siklonlu toz giderme işlevi çevre sağlığını koruma yönünden yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle pnömatik tesislerin sonuna, siklon yerine bir filtre yerleştirilir.

Bir tesiste tozu önce bir siklondan ve ardından da bir filtre ile nihai bir ayrıştırma işlemi gerçekleştirmek anlamsızdır. Bununla beraber siklonun teknik yöntemli proseslerde vazgeçilmez olduğu bir gerçektir.

Sonuç olarak, yüksek sıcaklık ve yüksek nem, yapışkan karakterli iletim malının söz konusu olduğu olağanüstü durumlarda toz ayırıcı olarak, yapımı çok basit olan siklon daima uygun bir sistemdir.

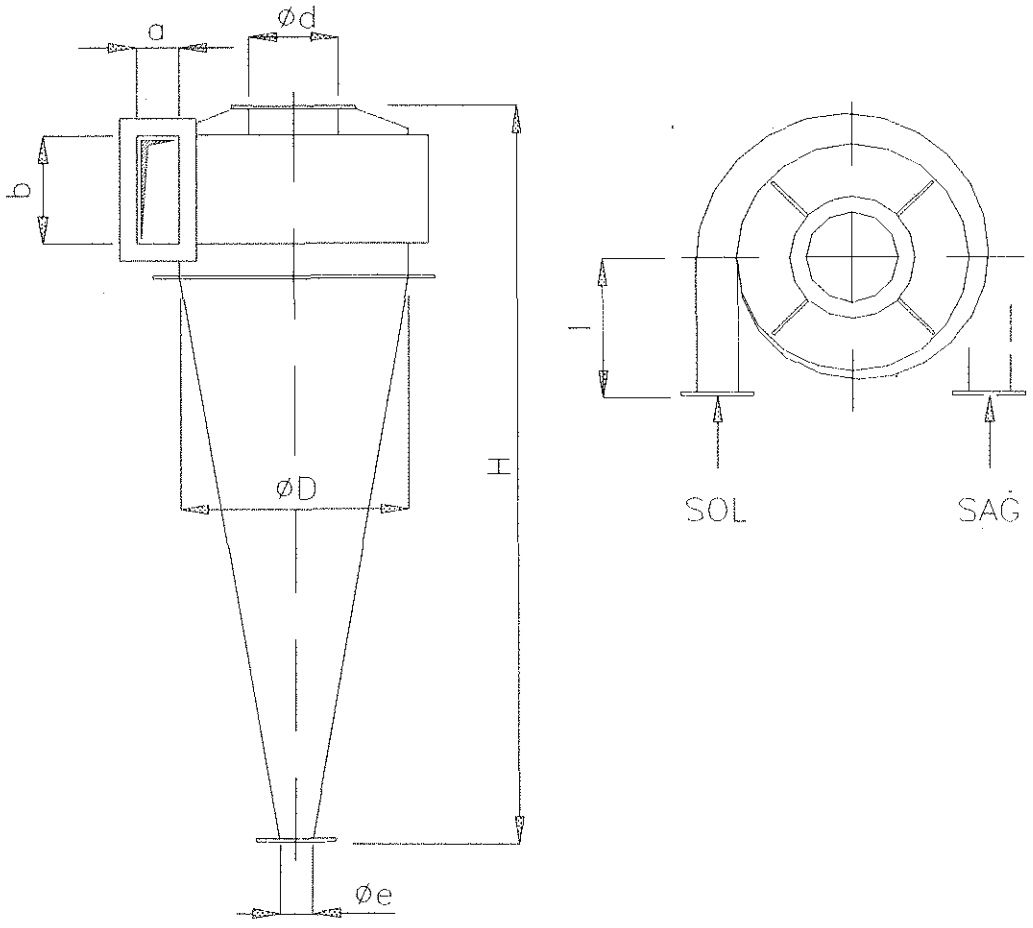




1 cfm = 0.238 m3/dak
1 inchWC = 25.4 mmSS

Şekil 3.8 Orta boyutlu ve spiral tepelikli siklon

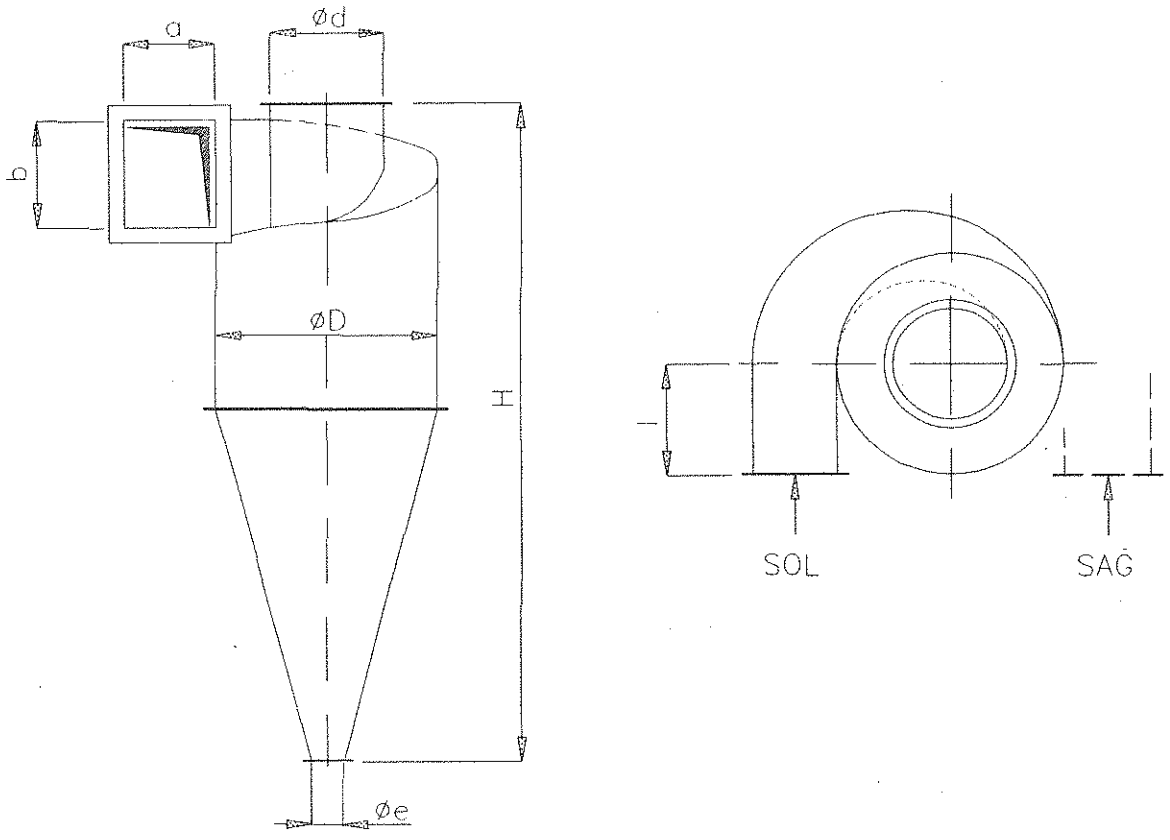
Diyagram 3.1 Orta boyutlu ve spiral tepelikli siklonlarda basınç kaybı diyagramı



Şekil 3.9 Orta basınçlı siklon

TİP	ϕ D	a	b	ϕ d	ϕ e	l	H	DEBİ m^3/h	BASINÇ KAYBI mmSS
OBS 35	350	65	170	150	50	210	945	576	118
OBS 46	460	80	240	210	100	300	1370	1080	124
OBS 58	580	100	280	260	150	365	1620	1620	123
OBS 70	700	120	340	315	150	420	2050	2340	120
OBS 82	820	140	400	380	150	500	2450	3240	112
OBS 94	940	170	480	450	200	550	2700	4320	100
OBS 115	1150	200	570	530	250	650	3250	4680	117
OBS137	1370	240	680	630	250	780	3970	9360	120
OBS 155	1550	275	700	710	300	880	4300	11160	120
OBS 185	1850	320	900	850	300	1050	5200	16560	118
OBS 204	2040	360	1000	960	400	1135	5800	20160	111
OBS 236	2360	410	1200	1120	400	1275	6800	27360	110
OBS 275	2750	480	1300	1250	450	1550	8100	36000	120

Tablo 3.2 Spiral akımlı orta basınçlı siklon ölçüleri



Şekil 3.10 Süper siklon

TİP	ϕ D	a	b	ϕ d	ϕ e	l	H	DEBİ m^3/h	BASINÇ KAYBI mmSS
ESS 55	550	180	220	250	145	275	1680	1200	60
ESS 60	600	200	245	300	145	300	1850	1800	76
ESS 70	700	250	320	330	145	350	2185	2700	94
ESS 82	820	310	390	400	145	410	2560	4200	100
ESS 100	1000	380	480	500	145	500	3190	6300	100
ESS 110	1100	400	500	550	145	550	3440	7300	93
ESS 120	1200	440	540	600	145	600	3790	9000	96
ESS130	1300	460	600	650	145	650	4040	10000	88
ESS 140	1400	500	640	700	145	700	4380	11500	87
ESS 150	1500	560	700	750	145	750	4740	14000	90
ESS 164	1640	620	780	800	145	820	5120	17500	100
ESS 175	1750	650	850	880	145	875	5470	20000	96

Tablo 3.4 Spiral akımlı yüksek basınçlı siklon ölçüleri

3.2.4 Ayırıcılarda Basınç Kaybı

Bir pnömatik iletim tesisinin sonunda yer alan siklon içinde malın ayrışması sonucu meydana gelen basınç kaybı, iletim hattındaki basınç kaybı ile (örneğin 1000 Pa).karşılaştırıldığında çok azdır

Ayırıcılarda meydana gelebilecek basınç kaybı aşağıdaki denklemle de bulunabilir:

$$\Delta p = \xi \times \frac{v^2}{2} \times \frac{\rho}{0.981} \qquad (3.1)$$

Δp	=	Basınç kaybı	N/m^2
v	=	Gazın çıkış hızı	m/s
ρ	=	Gazın özgül ağırlığı	kg/m^3
ξ	=	Basınç kaybı katsayısı	

Pnömatik iletimde, basınç kaybı katsayısı (ξ) deneysel ilkelerden elde edilen sonuçlara göre şöyledir:

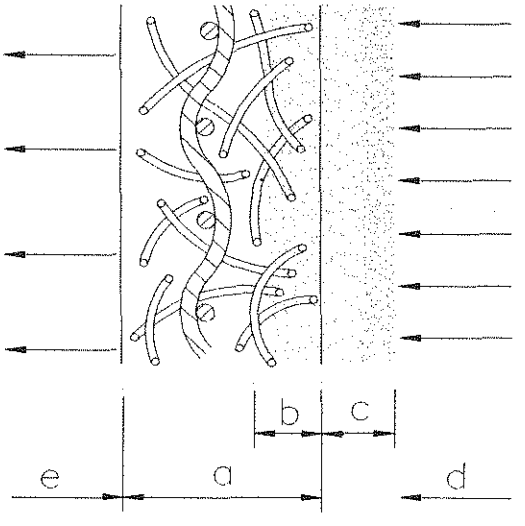
Siklonlar	ξ	=	8 ila 10
Ayırıcılar	ξ	=	6 ila 10
Filtreler	ξ	=	10 ila 20

3.3 İnce Tozun Filtreden Süzülmesi

Havanın temiz tutulmasında filtre uygulaması son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Aynı olgu, çevrenin korunması dikkate alındığında pnömatik iletim için de geçerlidir. Halen filtre teorisi üzerinde yoğun çalışmalar sürmekle beraber bugün için toz ayırıcı filtreler doğrudan pratik bilgilere dayanılarak gerçekleştirilmektedir.

Toz ile yüklü hava bir dokuma, yün veya iğneli keçeden geçer (Şekil 3.11). Filtre ortamı henüz temiz iken toz partikülleri filtre ortamının doku aralıklarından geçerek temiz tarafına ulaşır. Öteki partiküller kirli gaz tarafında birikerek esas filtre tabakasını oluşturur. Bu tabaka ince toz partiküllerini alıkoyar. Burada tutunmuş olan tozlar düzenli olarak temizlenecektir.

a. Filtre ortamı
b. Birikmiş toz tabakası
c. Tutunmuş toz tabakası (temizlenir)
d. Kirli gaz
e. Temiz gaz



Şekil 3.11 Bir dokuma filtre ortamında toz ayrışması

Filtrelerde toz ayrışımı üç ayrışım olgusu ile gerçekleşmektedir[1] :

a) İri taneler doku örgüsü nedeni ile (örneğin 75 ila 150 mikron) alıkonulduğundan %100 oranında elenmiş olur.

b) İnce taneler porlar arasından hava akımını izleyerek doku içinden geçeceğinden ayrışmazlar. Tane çapları büyüdükçe eylemsizlik nedeni ile dokular arasından geçişte, önce buralarda tutunup kalırlar.

c) Çok ince toz taneleri statik elektrikle yüklü doku fazları tarafından kolaylıkla çekilerek orada birikirler.

Yukarıda açıklanan üç ayrı ayrışım olayı, gerek iri ve gerek ince toz tanelerinin yaklaşık %100 oranında ayrışmasını gerçekleştirmiş olur.

Batı Avrupa standartlarında, çevreyi koruma yönergelerine göre tehlikesiz toz içeren havada kalıcı toz içeriği için maksimum 150 mg/m^3 'e ve tehlikeli toz içeren havada ise kalıcı toz içeriği için maksimum 20 mg/m^3 'e izin verilmektedir. Ancak bu yönergelerde tane büyüklüğü sıralamasında tozun inceliği hakkında herhangi bir açıklama yapılmamıştır. Bu suretle gerek tesis yapımcılarının ve gerek işletmecilerin filtreden sonraki toz içeriğinin yönergelerde belirtilen değerlerin üstüne çıkılmamasına dikkat etmeleri gerekir. Bu nedenle bir filtre üreticisi yapımladığı filtrenin tane iriliğine göre süzme kabiliyetini açıklıyabilmelidir.

Dikkatle etüd edilerek kurulmuş olan tesislerde, yapılan deney sonuçlarına göre elyaflı bir filtreden geçirilen havadaki kalıcı toz miktarının 5-50 mg/m^3 arasında olduğu bildirilmiştir.

3.3.1 Filtre Kapasitesi

Pnömatik iletimde verilen bir hava debisinin tozdan arındırılması için gerekli filtre yüzeyi, mevcut filtrenin metrekaresinin süzme kabiliyetine (m^3/hm^2) bağlıdır.

Bu değer filtre yüzeyine rastlayan hava kitlesinin hızı olup buna filtrenin süzme hızı da denmektedir. Bu hız amprik olarak bulunan bir değerdir. Deney filtrelerinin ölçümünden elde edilir. Burada elde edilen değerlerde özellikle tozun niteliği, filtre ortamı ve filtrenin temizlenme yöntemi etkili olmaktadır. Büyük toz giderme tesislerindeki toz süzme filtreleri için[2] filtre süzme hızlarının aşağıdaki değer sınırları arasında değiştiği bildirilmektedir.

v_F=30 m/h ila 150 m/h

Çeşitli filtre üretici firmalar aşağıdaki filtre hız değerlerini vermektedir:

v_F=30 m/h ila 150 m/h

Pnömatik iletim tesislerinde basınçlı hava ile temizlenen filtrelerde tozun cinsine göre filtre süzme hızı değerleri ilke olarak aşağıdaki sınırlar arasında bulunmaktadır.

v_F=60 m/h ila 240 m/h

Emme yöntemli granül mal ileten cihazda filtre süzme hızının v_F=2000 m/h'a eriştiği bildirilmektedir. Bunun nedeni herşeyden önce filtredeki ayrıştırmanın bir tür süzgeçten geçirme işlemi prensibine dayanmasıdır.

Deneysel yolla filtre süzme hızı (v_F)'nin araştırılması için filtre uzun zaman tozlu havayı süzmeye bırakılır. Örneğin; Diyagram 3.2'de görüleceği gibi filtre direnci zamanla yükselir. İşlevsellikli bir filtrenin içerdiği bu dirençte bir üst ve bir de alt sınır vardır. Yapılan deneylere göre[3] bu sınır değerler;

Δp=600 ila 1500 Pa olarak bildirilmiştir.

---

[1] MEYER ZU RIEMSLOH, H.; KRAUSE, U.: Beschreibung und Beurteilung von mechanisch und mittels Druckluft ebgereinigter Schlauchfiltersysteme. *Aufbereitungs-Technik* 16 (1975), Nr. 5, S. 245-254.

[2] LÖFFLER, F.: Die Abscheidung von Partikeln aus Gasen in Faserfiltern. *Chem.-Ing.-Techn. 52 (1980) Nr. 4, S.312-323.*

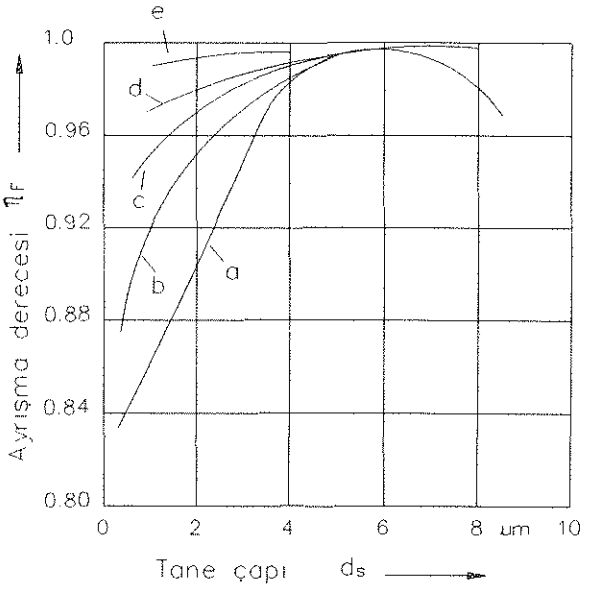
[3] MEYER ZU RIEMSLOH, H.; KRAUSE, U.: Beschreibung und Beurteilung von mechanisch und mittels Druckluft ebgereinigter Schlauchfiltersysteme. *Aufbereitungs-Technik* 16 (1975), Nr. 5, S. 245-254.

Filtre üretici firmalardan bazıları bu sınırı daha da geniş tutmaktadır;

Δp=300 ila 1900 Pa

Bir filtrede ortalama tane iriliği 5 µm olan kireç tozunun ayrışım derecesi η_F'nin, tane iriliği d_S'nin bir fonksiyonu olarak eğrilerle tanımlanması. Burada[1] yapılan ölçümlerde poliester iğneli keçe 600 g/m^3 kullanılarak 150 m/h süzme hızı ve basınçlı hava ile temizleme ile aşağıdaki parametreler ilke alınmıştır.

Eğriler	İşletme zamanı (dakika)	Filtre direnci Pa
a	1	260
b	2	270
c	8	290
d	16	350
e	32	470



Diyagram 3.2 Tane çapı ve aşınma derecesi ilgisini gösteren örnek diyagram

Şekil 3.8 de görüldüğü gibi alt sınırdaki ayrışım yetersizdir. Üst sınır tıkanma başlangıcının bir belirtisidir. Emme vantilatörlü bir işletmede filtre, gelen havayı böylece geçirmez olur. Döner pistonlu bir emme körüğü, sabit debide, filtre elemanı veya kafesini tahrip edinceye kadar filtre elemanı yaptığı basınç farkını yükseltebilir. Bununla beraber yukarda belirtilen filtre düzeni, bir orta basınçlı pnömatik tesisat direncinin ancak %1'i kadar olup iletime herhangi bir etkisi olmadan döner pistonlu körük tarafından karşılanabilmektedir.

Bir pnömatik tesisin sonundaki bir filtrede filtre yüzeyinin boyutu iletim malının debisine değil özünlü olarak hava debisine bağlıdır. Bundan başka özellikle aşındırma nedenleri ile iletim malının filtre elemanlarına iletim hızıyla üfürülmesine dikkat edilmelidir.

3.3.2 Filtre Ortamı

Filtre ortamı olarak önceleri yün, pamuk, selüloz pamuğu gibi doğal elyaftan örülmüş bir tür dokuma kullanılmıştır. Bu dokumaların elyaf aralıklarında farklı bir akım direnci meydana gelmektedir[2]

Yaklaşık kırk yıldan beri filtre ortamı olarak kalınlığı 3 mm'ye varan iğneli keçeler üretilmektedir. Bunlar özellikle poliester, poliakrilnitril, poliamid ve polipropilen gibi sentetik elyaftan üretilmektedir. Bu suretle sıcak ortamlı bir işletmede (örneğin 140 °C'da poliester) kullanılma olanağı vardır.

En son gelişmelerle yünden üretilen sert keçe filtre elemanlarının uygulanmakta olduğu ve bunların ayrıca torba filtrelerindeki gibi bir takviye kafesiyle donatılmasına gerek kalınmadığı bildirilmektedir.

3.3.3 Filtre Elemanları

İlk kez uygulanmış olan filtre elemanı bir tulumdan ibaretti. Pnömatik iletimde basınçlı hava ile temizlenen filtre elemanları kullanılmaktadır. Burada hava akımı, filtre elemanının dışından içine gerçekleşmektedir.

---

[1] LÖFFLER, F.: Die Abscheidung von Partikeln aus Gasen in Faserfiltern. *Chem.-Ing.-Techn. 52 (1980) Nr. 4, S.312-323.*

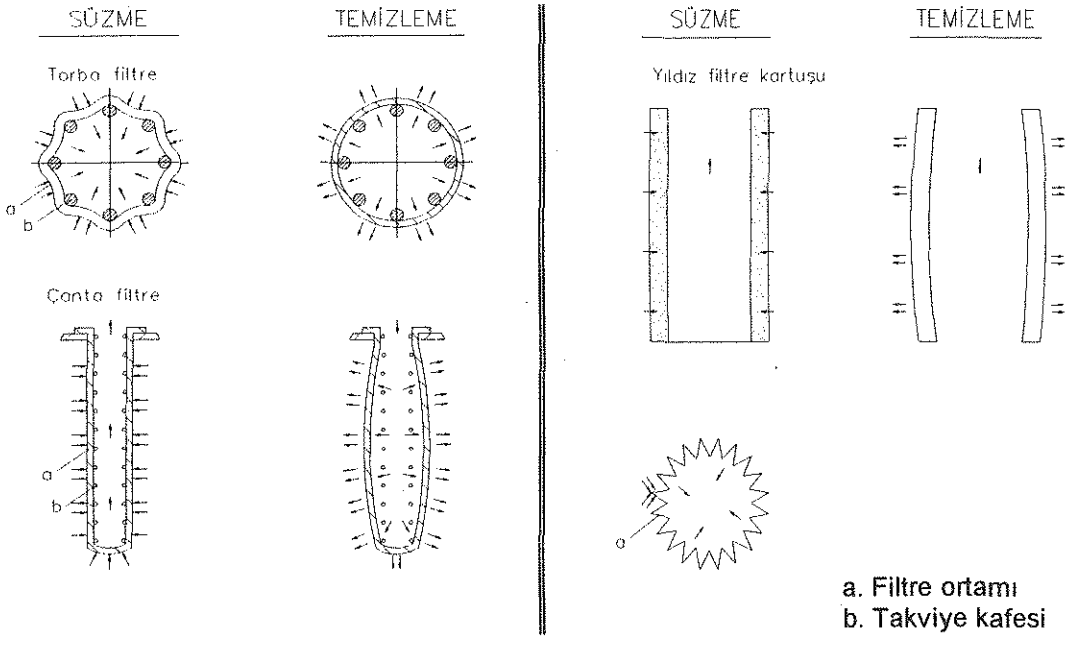
[2] STEFFENS, W.: Optimal funktionsfahige Filtermedien. *Verfahrenstechnik* 11 (1977), Nr. 10, S. 592-600.

Filtre elemanı olarak torba, çanta veya kesiti yıldız biçiminde olan sert filtre elemanları kullanılmaktadır (Şekil 3.13).

Torba filtreler eşit filtre yüzeyli çanta filtrelerle karşılaştırıldığında, torba filtreler daha fazla yer gerektirmektedir. Bundan başka torbalar daha uzun boyda (örneğin 2200 mm) yapılabildiği halde, çanta filtre boyları biraz kısadır (örneğin 1000 mm).

Yıldız filtre kartuşları, çanta filtrelerinde olduğu gibi geniş filtre yüzeyine sahiptir. Torba filtrenin içerdiği boy ve kapladığı hacim içerisine daha geniş süzme yüzeyli yıldız filtre kartuşları sığdırma olanağı vardır.

Pnömatik iletimde çoğu tozların yok edilmesi işleminde yıldız filtre kartuşları öteki tip filtrelerden göreceli olarak daha çok yararlı olmaktadır.



Şekil 3.13 Filtre elemanı türleri:

3.3.4 Filtrelerin temizlenmesi

Bir pnömatik tesisteki filtrenin tüm işlevi periodik olarak tekrarlanan aşağıdaki ayrıntılı işlevlere ayrılır:

A) İletim havasından tozun ayrılması;

B) Hava akımının kesilmesi;

C) Filtre pastasının mekaniksel ayrışımı;

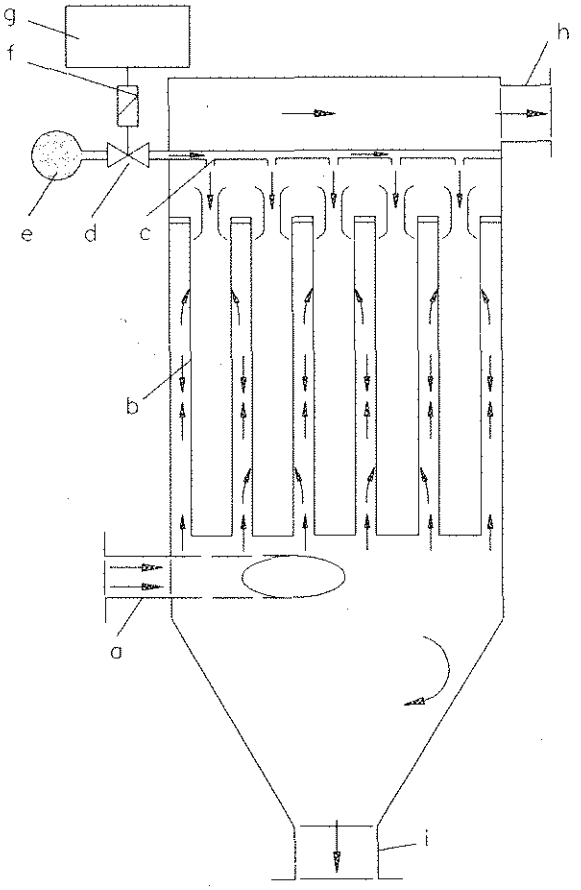
D) Filtre ortamının ters akımla temizlenmesi.

B, C, D ayırt işlevleri temizleme ile ilgilidir. Bu işlevleri çok veya az mükemmellikte gerçekleştirebilen manuel, yarı otomatik veya tam otomatik çalışan çok sayıda filtre çeşitleri vardır. Basınçlı hava ile temizlenen filtreler, mevcut filtre elemanlarında maksimum %25'lik bir kısmına zaman ayarlı aralıkta 0.1 ila 1 saniye süren pulslarla ters yönde yaratılan basınçlı hava şoku verilerek bu ayırt işlevlerin tümünü gerçekleştirir. Bu suretle tutulmuş olan tozlar çözüşür. Böyle bir filtre Şekil 3.14 te görülmektedir.

Giriş ağızlığı (a)'dan teğetsel olarak içeri giren hava ve iletim malı akımının büyük bir bölümü yumakçıklar halinde ayrışarak spiral devinimle (i) mal çıkışına akar. Toz içerikli hava yukarı yükselir, (b) filtre torbasından süzülerek filtre ortamında tutunur. Ayarlı zaman aralıklarında buradaki 5 torbadan oluşan her bir torba dizisi sıra ile temizlenir. Bu işlevde (d) diyaframlı ventil aniden açılarak

(e) hava haznesindeki 6 bar basınçtaki havayı (c) enjektör memelerine sevk eder. Memeler (b) torbalarına üfürerek yukarıda açıklanan B, C ve D işlevlerini tamamlar. (d) diyaframlı ventilin açılması, bir manyetik (f) ventili üzerinden (g) kumanda aygıtı ile sağlanır.

Basınçlı temizleme havasının yağ ve kondens suyundan arındırılmış olması gereklidir.



a. Teğetsel girişli iletim borusu ağızlığı
b. Torba filtre
c. Enjektör memesi
d. Diyaframlı ventil
e. Basınçlı hava haznesi
f. Manyetik ventil
g. Kumanda aygıtı
h. Temiz hava flanşı
I. İletim malı çıkışı.

Şekil 3.14 Pnömatik bir iletim tesisindeki basınçlı hava ile temizlenir torbalı filtre

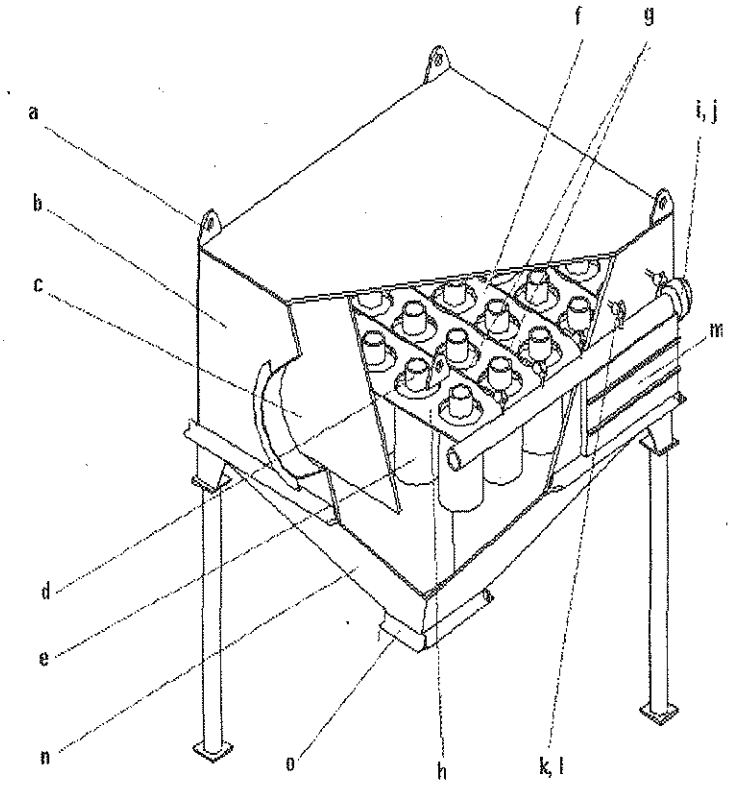
Burada ventilin açılmasında gerek impuls aralığı ve gerek impuls süresi 0.1 ila 1 saniye zaman süresine göre ayarlanabilmektedir. Bundan başka filtre temizliği basınç kaybı üzerinden de ayarlanabilmektedir.

Genelde filtre ortamında oluşan filtre pastası yumakcıklar halinde, yukarı yükselen hava akımına karşı çıkış konisine düşer.

Bununla beraber ince toz tanelerinin yüzme hızı, filtredeki iletim havasının yukarı yükseliş hızından küçük olunca torba filtre yüzeyindeki bu tozlar devamlı üfürülür ve tekrar emilir. İnce tozlar için kesintisiz çalışan filtreler uygun değildir.

Donaldson Torid firması tarafından geliştirilmiş olan kartuş filtre elemanlı TDS-12 tipi bir toz tutma filtresi Şekil 3.15'te gösterilmiştir.

Donaldson Torid kartuş filtre elemanlı TDS model toz tutma filtresinin teknik özellikleri (Tablo 3.5) ve konstrüksiyon dış ölçüleri (Şekil 3.16, Tablo 3.6)'da açıklanmıştır. Böyle bir filtrenin işlevsel şeması Şekil 3.17'de görülmektedir.



a. Kaldırma tutamağı
b. Giriş hücresi
c. Tozlu hava girişi
d. Jet (Venturi)
e. Filtre elemanları
f. Temiz hava hücresi
g. Üfürme boru sistemi
h. Ayırma plakası
I. Basınçlı hava bağlantısı
j. Kumanda ventili
k. Diyaframlı ventil
l. Solenoid ventil
m. Bakım kapağı
n. Bunker
o. Toz boşaltma ağzı

Şekil 3.15 Donaldson Torid TDS-12 tipi bir toz tutma filtresi

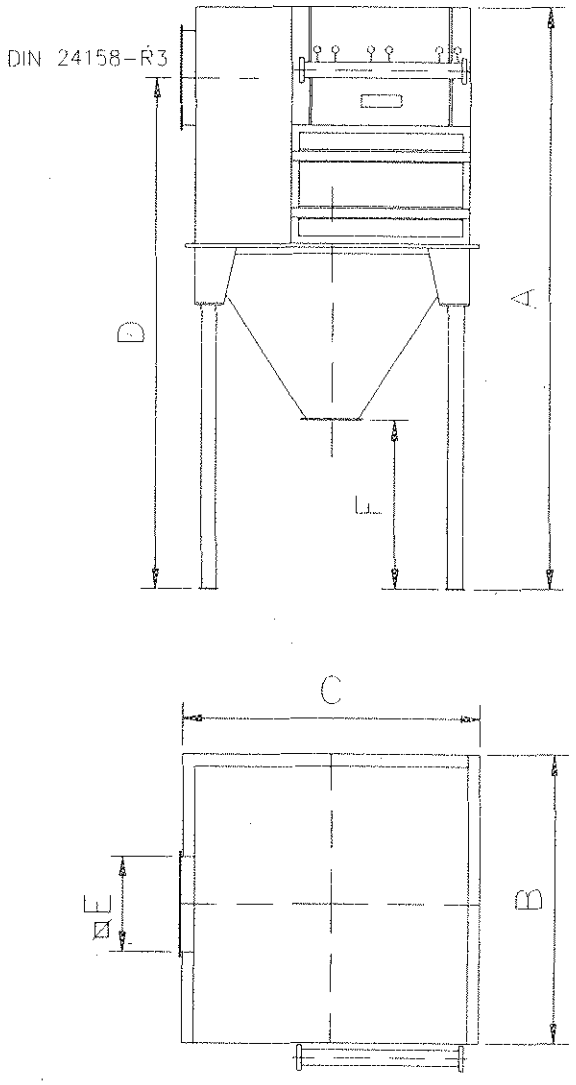
Model TDS	**4**	**6**	**8**	**12**	**16**	**20**	**24**	**32**	**40**	**48**
Filtre yüzeyi (m^2)	84	126	168	252	336	420	504	672	840	1008
Torba filtre sayısı	4	6	8	12	16	20	24	32	40	48
Torba ölçüsü (mm)	Ø 324 x 660									
Valf sayısı	4	3	4	6	8	10	12	16	20	24
Bunker hacmi (dm^3)	680	1190	1250	2500	2600	3900	5150	5200	7800	10300
Basınçlı hava (bar)	6.7									
*Hava miktarı (Nm^3/h)	3.8	4.10	4.12	4.16	5.20	8.25	8.32	10.40	10.50	10.60
Şalter panosu	220 V, 1 ph, 50 Hz									
Ağırlık (≈ kg)	1100	1200	1300	1800	1950	2650	2900	3200	3500	3800

* *Basınçlı temizleme havasının miktarı, temizlenecek iletim havasının içerdiği toz derecesine bağlı olmakla beraber genelde her 10.000 m^3 hava için 2 ila 4 Nm^3 arasında değişmektedir.*

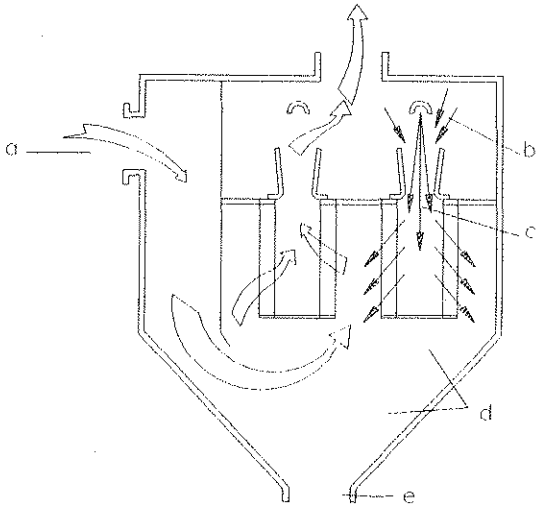
Tablo 3.5 Donaldson Torid kartuş filtre elemanlı TDS model toz tutma filtresinin teknik özellikleri

A	B	C	D	E	F
3360	1088	1326	2885	355	1065
3675	1326	1326	3200	400	1065
3675	1326	1944	3200	450	1065
3675	1944	1944	3200	560	1065
4445	1984	2644	3970	630	1065
4445	1944	2770	3970	700	1065
4680	1984	3304	4100	800	1065
4680	1984	4072	3950	710x1250	1065
4680	1984	5338	3950	1000x1250	1065
4680	1984	6376	3950	1120x1250	1065

Tablo 3.6 Donaldson Torid TDS-12 tipi toz tutma filtresinin dış konstrüksiyon ölçüleri



Şekil 3.16 Donaldson Torid TDS-12 tipi toz tutma filtresinin dış konstrüksiyon ölçüleri

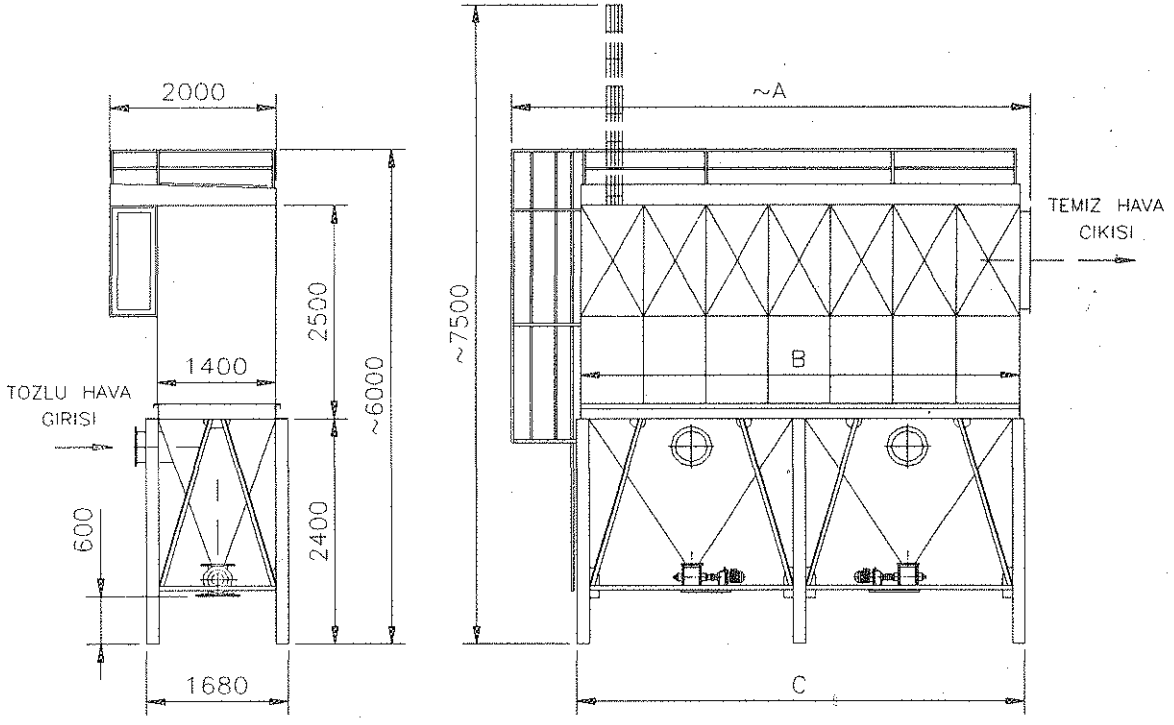


a. Tozlu hava girişi
b. Emilen hava
c. Basınçlı ve puls ayarlı şok havası
d. Toz
e. Toz boşaltma

Şekil 3.17 Donaldson Torid kartuş filtre elemanlı YDS model toz tutma filtresinin işlevsel şeması

ED-VAN Vantilatör Sanayii Ltd. firmasının standardında geliştirilmiş jet filtreler, (Şekil 3.18, Tablo 3.7) ve (Şekil 3.19, Tablo 3.8)'de gösterilmiştir.

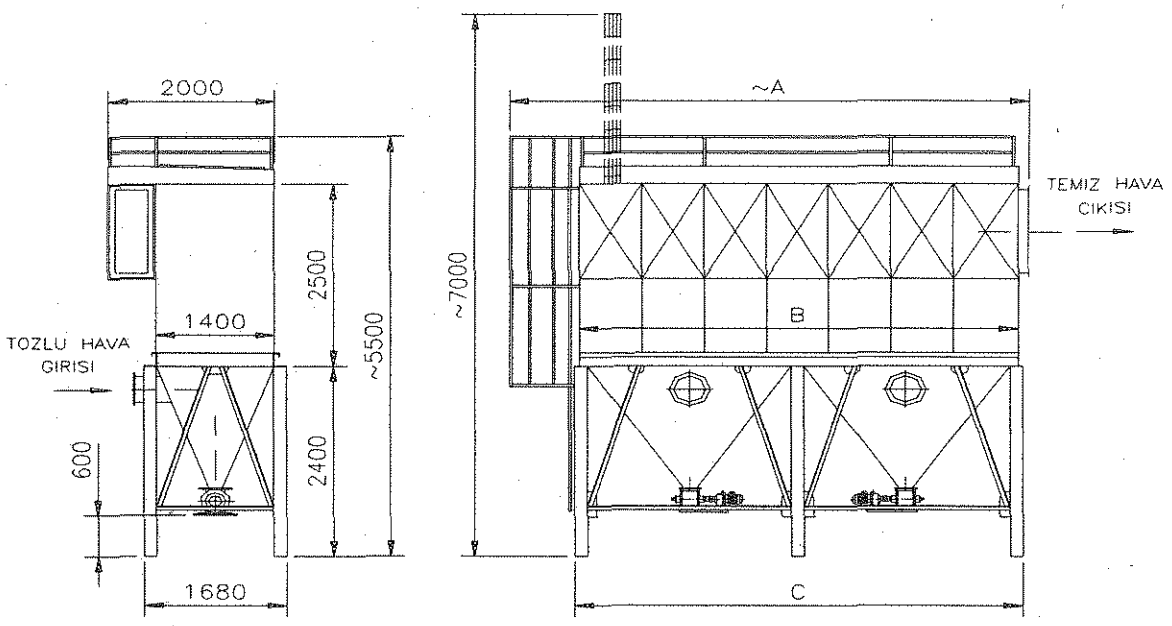
Bundan başka ED-VAN firmasının standardındaki kamlı bir düzenle silkelemeli (Şekil 3.20, Tablo 3.9) ve elle silkelemeli toz filtreleri (Şekil 3.21, Tablo 3.10) görülmektedir.



Şekil 3.18 HTJF Jet filtre

HTJF Jet Filtre	Filtreleme alanı m^2	DEBİ m^3/h min.	max.	A mm	B mm	C mm
80/2500	078	7050	8580	2650	1500	1630
120/2500	117	10550	12850	3400	2250	2380
160/2500	157	14150	17250	4150	3000	3130
200/2500	196	17650	21550	4900	3750	3880
240/2500	235	21150	25850	5650	4500	4630
280/2500	274	24700	30100	6400	5250	5380
320/2500	313	28200	34400	7150	6000	6130
360/2500	353	31800	38800	7900	6750	6880
400/2500	392	35300	43100	8650	7500	7630
440/2500	431	38800	47400	9400	8250	8380
480/2500	470	42300	51700	10150	9000	9130
520/2500	509	45850	55990	10900	9750	9880
560/2500	549	49450	60390	11650	10500	10630
600/2500	588	52950	64680	12400	11250	11380

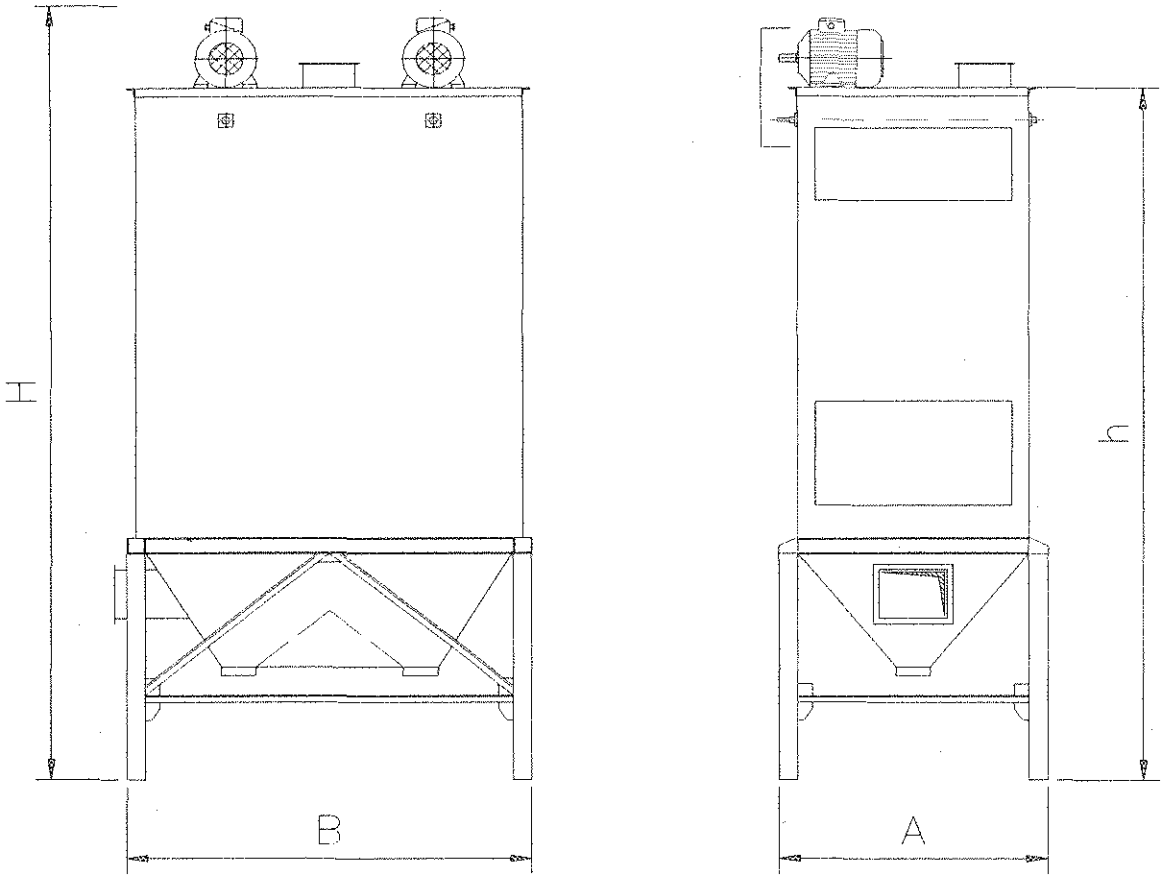
Tablo 3.7 HTJF Jet filtreBoyutları Tablosu



Şekil 3.19 HTJF Jet Filtre

HTJF Jet Filtre	Filtreleme alanı m^2	DEBİ m^3/h min.	max.	A mm	B mm	C mm
80/1800	56	5040	6160	2650	1500	1630
120/1800	84	7560	9240	3400	2250	2380
160/1800	112	10080	12320	4150	3000	3130
200/1800	140	12600	15400	4900	3750	3880
240/1800	168	15120	18480	5650	4500	4630
280/1800	196	17640	21560	6400	5250	5380
320/1800	224	20160	24640	7150	6000	6130
360/1800	252	22680	27720	7900	6750	6880
400/1800	280	25200	30800	8650	7500	7630
440/1800	308	27720	33880	9400	8250	8380
480/1800	336	30240	36960	10150	9000	9130
520/1800	364	32760	40040	10900	9750	9880
560/1800	392	35280	43120	11650	10500	10630
600/1800	420	37800	46200	12400	11250	11380

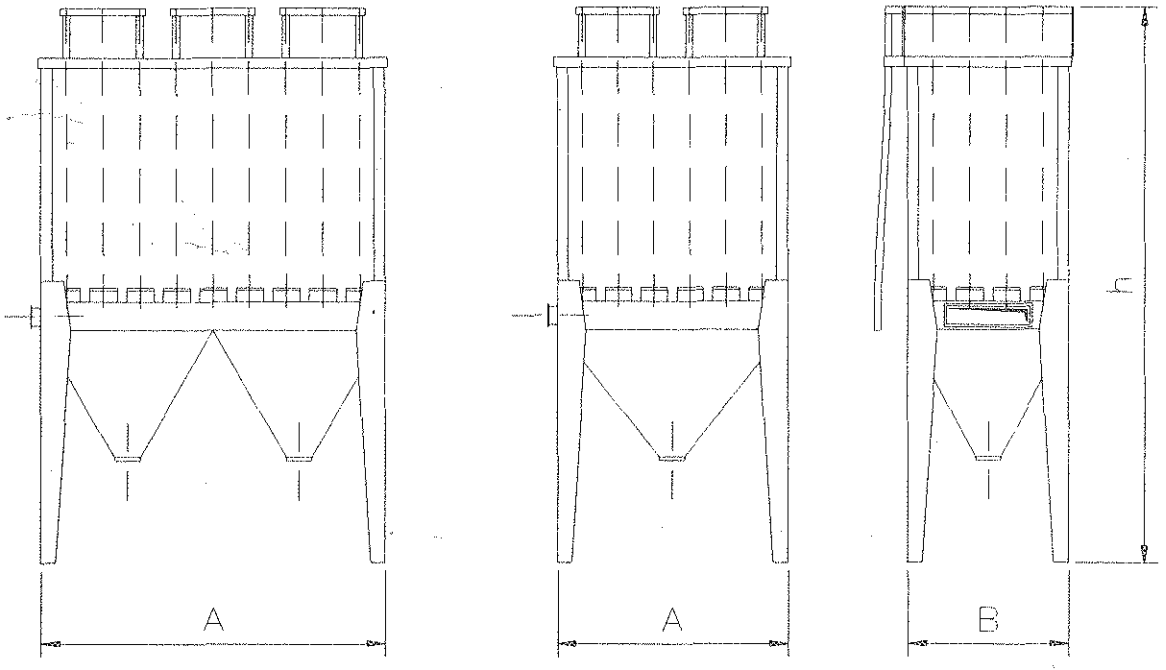
Tablo 3.8 HTJF Jet Filtre boyutları tablısu



Şekil 3.20 Kamla silkelemeli toz fitresi

KTF	DEBİ m^3/h	Filtreleme alanı m^2	A mm	B mm	H mm	h mm	Bunker adedi
12/2000	1500	15.0	1240	900	3960	3710	
12/2500	1880	18.8	1240	900	4460	4210	
16/2000	2000	20.0	1250	1240	3960	3710	
16/2500	2500	25.0	1250	1240	4460	4210	
25/2000	3100	31.0	1500	1400	3960	3710	1
25/2500	3900	39.0	1500	1400	4460	4210	
30/2000	3760	37.6	1500	1650	3960	3710	
30/2500	4700	47.0	1500	1650	4460	4210	
36/2000	4500	45.0	1760	1650	3960	3710	
36/2500	5650	56.5	1760	1650	4460	4210	
50/2000	6200	62.0	1500	2700	3960	3710	
50/2500	7800	78.0	1500	1700	4460	4210	
60/2000	7520	75.2	1500	3200	3960	3710	2
60/2500	9400	94.0	1500	3200	4460	4210	
72/2000	9000	90.0	1760	3200	3960	3710	
72/2500	11300	113.0	1760	3200	4460	4210	

Tablo 3.9 Elle silkelemeli toz filtresi boyutları tablosu



Şekil 3.21 Elle silkelemeli toz filtresi

ETF	DEBİ m^3/h	Filtreleme alanı m^2	A mm	B mm	H mm	Bunker adedi	Silkeleme kol adedi
ETF12/20	1500	15.00	1096	846	4020	1	1
ETF 12/25	1875	18.75	1096	846	4520	1	1
ETF 16/20	2000	20.00	1096	1096	4020	1	1
ETF 16/25	2500	25.00	1096	1096	4520	1	1
ETF 18/20	2250	22.50	1596	846	4020	1	2
ETF 18/25	2800	28.00	1596	846	4520	1	2
ETF 24/20	3000	30.00	1596	1096	4020	1	2
ETF 24/25	3760	37.60	1596	1096	4520	1	2
ETF 32/20	4000	40.00	2096	1096	4020	2	2
ETF 32/25	5000	50.00	2096	1096	4520	2	2
ETF 36/20	4500	45.00	2346	1096	4020	2	3
ETF 36/25	5650	56.50	2346	1096	4520	2	3

Tablo 3.10 Elle silkelemeli toz filtresi boyutları

4. Pnömatik İletim Tesislerinin Hesabı

4.1 Havanın Sıkıştırılabilir Özelliği Dikkate Alınmadan Pnömatik İletim Tesislerinin Hesabı

4.1.1 Genel

Havanın sıkıştırılabilir (compressibility) özelliği nedeniyle doğacak basınç kaybının %10 ila %15 arasında olabileceği ve basınç kaybını hesap ederken herhangi bir kararsızlığa düşmemek için bu düzeydeki kaybın ihmal edilebileceği literatürlerin bazılarında bildirilmektedir.

Atmosferik havada bu kayıplar 100 mbar dolayındadır. Böyle bir sınır, basınçlı hava gereksinimini tek kademeli bir radyal vantilatörden sağlayan oldukça basit düzenli iletim tesisleinin basınç düzeyini içermektedir. Döner pistonlu bir körüğün düşük basınç düzeyinde (Δp=500 mbar) ve orta değerli bir hava hızı ile çalışan bir pnömatik iletimin hesabı yapılırken havanın sıkıştırılabilme özelliği dikkate alınmayabilir. Ancak döner pistonlu körük veya tek kademeli (3 bar basınç düzeyine ulaşabilen kapasitede) bir komprösörün yukarı basınç düzeyinde çalıştırılacak bir pnömatik tesisin hesabında iletim havasının sıkıştırılabilir özelliğinin dikkate alınması gerekir.

Bir pnömatik tesis hesabının odak noktasını boru çapı ile basınç kaybı arasındaki bağıntı oluşturmaktadır. Bu iki öğeden sonra hava debisi ve körük gücü saptanır ve buna göre körük seçimi yapılır. İletim malı debisi ile vericiyi saptadıktan sonra toz içeriğinin niteliğine göre filtre seçimi gerçekleştirilir.

Geniş çaplı boru seçimi, basınç kaybını azaltmakla birlikte tesis ve işletme giderlerini yükseltecektir. Öte yandan dar çaplı borularda tesis ve işletme giderleri genelde düşük ve fakat basınç kaybı yüksektir. Boru çapı daraldıkça körük basıncı yetersizliği rizikosu da artacaktır.

4.1.2 Hava Hızı (v_0)

Genellikle vantilatörle çalışan yüzer ortamlı bir işletmede iletim için Tablo 4.1'de verilen değerler yeterli görülmüştür (W. Siegel-Pneumatische Förderung).

4.1.3 Basınç Kaybı (Δp)

Pnömatik iletimde Δp basınç kaybı altı ayrı basınç kaybından oluşur. Bunlardan ikisi salt hava akımından, dördü iletim malından doğmaktadır.

4.1.3.1 Hava Sürtünme Kaybı (Δp_H)

Basınç kaybı Δp_H salt hava akımındaki basınç kaybı gibi tanımlanmaktadır. Mal-hava akımında basıncın değişmesi durumlarında basınç kaybının ispatlanması güç olduğundan yapılacak hesaplarda basınç kaybı, mal sürtünme kaybının içine dahil edilmiş gibi kabul edilir.

4.1.3.2 Hava Direnci Ayrıntıları (Δp_W)

Hava direncini oluşturan ayrıntılar;

a) Kesit yüzeyi değişmeleri

b) Kıvrımlı dirsekler

c) Memeler

d) Ayırıcılar

e) Siklonlar

f) Filtreler

Düzenli bir biçimde çekilmiş iletim hattında hava dirençleri hesaba katılmaz. Kurulan tesisteki memelerin, ayırıcıların, siklonların ve filtrelerin dirençleri tek tek tahkik edilerek iletim hattındaki basınç kaybı ile toplamı alındıktan sonra vantilatörün seçimi gerçekleştirilir. Kıvrımlı dirsek, ayırıcı, siklon ve filtrelerde dikkate alınacak basınç kayıplarını emprik olarak veren açıklamalar paragraf 4.1.3.7'de yer almıştır.

İletim tesisatında gerekli emme havasının basınç kaybı dikkate alınmaz. Çünkü bu basınç kaybı, iletim hattındaki basınç kaybı ile karşılaştırıldığında çok önemsizdir. Bu nedenle iletim hattının sonuna iletim malı ve iletim havasının kinetik enerjisini tekrar geri kazanmak için herhangi bir önlem alınmaz.

İletim malı	d_s (mm)	ρ_s (kg/m^3)	ρ_{ss} (kg/m^3)	V_0 (m/s)	α 1
Arpa	4.0	1420	690	20 - 25	0.04
Ağaç talaşo	50x20x1	470	150-400	22 - 25	0.04
Buğday	3.9	1380	730	22 - 27	0.04
Buğday kepeği	1.0	1470	300	20 - 25	0.06
Buğday unu	0.09	1470	540	18 - 23	0.08
Çavdar	3.0	1180	620	22 - 25	0.04
Çimento	0.05	3100	1420	20 - 25	0.18
Çimento (farin)	0.05	3100	960	20 - 25	0.15
Destere tozu	0.7	470	190	20 - 25	0.04
Hayvan yemi	0.86	1370	540	22 - 25	0.06
Kaya tuzu	1.6	2190	1200	22 - 27	0.08
Malt	3.7	1370	540	20 - 22	0.04
Mısır	0.86	1300	680	22 - 25	0.04
Mısır irmiği	1.6	1440	450	23 - 25	0.06
Mısır unu	0.19	1400	460	23 - 25	0.1
Pirinç	2.7	1620	800	20 - 25	0.06
Pirinç kabuğu	2.5	1280	105	18 - 20	0.04
Polipropilen granülü	3.5	1000	500	20 - 25	0.04
PVC-Pulver	0.2	1320	570	20 - 25	0.1
P.Etilen granülü	3.5	1070	500	20 - 25	0.04
Prina (kuru)	0.96	680	260	20 - 22	0.04
Soya	6.3	1270	690	22 - 25	0.04
Sabun (rende)	20x5	1100	600	23 - 27	0.08
Toz şeker	0.52	1610	860	20 - 25	0.08
Yulaf	3.4	1340	510	22 - 25	0.04

d_s = Tane çapı,
ρ_s = Tanenin özgül ağırlığı,
ρ_{ss} = Yığın malın yoğunluğu,
v_0 = İletim borusunda gerekli hava hızı (atmosferik havanın özgül ağırlığı ρ_s = 1.2 kg/m^3 ilkesine göre),
α = Boru çapına bağlı basınç kaybı katsayısı

Tablo 4.1 Pnömatik yüzer ortamlı iletimde önemli bazı yığın mallarda ilişkin veriler

4.1.3.3İletim Malı Sürtünme Kaybı (Δp_R)

Pnömatik iletim tesislerinde sürdürülen deneyim araştırmalarında, iletim malı sürtünme kaybı Δp_R'nin tane biçimi, (ρ_S) özgül ağırlığı ve yığın malın yoğunluğu (ρ_{SS}) ile bağıntılı olduğu bildirilmektedir.

4.1.3.4 Dikey İletim Kaybı (Δp_h)

Dik iletim kaybı Δp_h, dikey boru içinde duran veya hareket halindeki yığın mal kolonunun boru kesitine bağıntılı ağırlığına eşittir. Dik iletim kaybı bundan başka dikey boru içindeki sürtünme ile değil jeodetik Δh yüksekliğini yenmekle bağıntılıdır.

4.1.3.5 İvme Kaybı (Δp_i)

İletim borusunun l mesafesindeki ivme aralığında, iletim malının kararlı bir hız kazanması, bir enerji kaybı ile bağıntılıdır. Bu olgu doğal olarak bir Δp_i basınç kaybı ile eşdeğerdir.

4.1.3.6 Kıvrımlı Dirsek Kaybı (Δp_K)

İletim malının bir kıvrımlı dirsekten belli bir başlangıç hızıyla geçerken boru iç çeperine çarparak frenlenmesi olayı da bir Δp_K ivme katsayısıdır.

4.1.3.7 Toplam Basınç Kaybı (Δp)

Basınç kayıplarının tümü toplanınca toplam basınç kaybı elde edilir (Δp_W dışında)

$$\Delta p = \Delta p_H + \Delta p_R + \Delta p_h + \Delta p_i + \Delta p_K$$

$$\Delta p = \frac{\rho_H}{2} \times v^2 \times \left\{ \lambda_H \times \frac{\Delta l}{d} + \mu \times \left[\alpha \times \Delta l + \frac{2 \times \Delta h \times g}{\beta \times v^2} + 2 \times \beta \times \left(1 + \frac{i}{2}\right) \right] \right\} \qquad (4.1)$$

Δp = Toplam basınç kaybı (Pa/m^2)

ρ_H = Hava özgül ağırlığı (kg/m^3)

v = Gerekli iletim havasının hızı (m/sn) (ρ_H =1.2 kg/m^3 bazında, Bkz. Tablo 4.1)

λ_H = Hava basınç kaybı katsayısı (0.02 ila 0.03)

Δl = Yatay iletim borusu uzunluğu (m)

d = İletim borusu çapı (m)

μ = Karışım oranı (Q_S/Q_H)
Q_S=İletim malı kitle debisi
Q_H=İletim havası kitle debisi

α = Boru çapına bağıntılı basınç kaybı katsayısı (Bkz. Tablo 4.1)

Δh = Dikey iletim borusu uzunluğu (m)

g = Yer çekimi ivmesi (m/s^2)

β = İletim malı hızı c'nin iletim havası hızı v'ye oranı (c/v):
Tozsu ve irmiksi iletim malı için β=0.8,
Taneli iletim malı için β=0.7

i = Kıvrımlı dirsek sayısı

4.2 Bir Pnömatik İletim Tesisatının Havanın Sıkıştırılabilir Özelliği Dikkate Alınmadan Tasarımlanması

Paragraf 4.1'de açıklandığı gibi havanın sıkıştırılabilir özelliği yalnız küçük basınçlarda dikkate alınmaz. Böylece pnömatik emme yöntemli tesisattaki iletim, basınç yöntemli pnömatik tesisteki iletime eşit olur. Gerek emme, gerek basınç ve gerek yüksek basınç yöntemli iletim tesislerindeki boru çapının tahmini hesabı için paragraf 4.2.1'deki hesap yöntemi yeterlidir.

4.2.1 Boru Çapı

$$\Delta p_s = \frac{2 \times K_s \times Q_s \times v}{\pi \times d^2} \quad \text{'dan} \qquad (4.2)$$

Q_S=İletim malının debisi (kg/s)

$$d = \sqrt{\frac{2 \times K_s \times Q_s \times v}{\pi \times \Delta p_s}} \quad (m) \qquad (4.3)$$

Ekonomik bazda çalışan yüzer ortamlı iletim tesislerinin çoğunda (μ) karışım oranı 10'dan büyüktür. Burada Δp_S bir yan kayıp olup, iletim malının akış sürecinde oluşur.

$$\Delta p_s = \mu \times K_s \times \frac{\rho_H}{2} \times v^2 \quad (p_a/m^2) \qquad (4.4)$$

Öte yandan K_S, iletim malı akımına bağıntılı bir basınç kaybı katsayısıdır ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur:

$$K_s = \alpha \times \Delta l + \frac{2 \times \Delta h \times g}{\beta \times v^2} \times 2 \times \beta \times \left(1 + \frac{i}{2}\right) \qquad (4.5)$$

Bu eşitlikte iletim malının kitle debisi Q_S, önceden verilmiştir. Hava hızı v_0, Tablo 4.1'den seçilir. Öngörülen körüğün tüm basınç kapasitesi, gerek Δp_S için hesaplanan basınç kaybına ve gerek daha sonra hesaplanan tüm basınçkaybına aynı biçimde uyumlu olabilmelidir. Döner pistonlu körükle işleyen (maksimum basınç kapasitesi 1 bar) orta basınçlı tesislerin projesinde Δp_S'yi karşılamak üzere körük kapasitesini yaklaşık olarak %70 oranında arttırmalıdır. Eğer iletim hattı çok uzun veya uzun bir hava borusu mevcutsa bu arttırma küçük olabilir.

(4.3) eşitliğine göre hesaplanan çapta boru mevcut olmayabilir. Hesaplanan değere karşılık piyasada satılmakta olan uygun çapta bir boru seçimi gerçekleştirilmelidir. Hesap edilerek bulunan değerden daha büyük çapta bir boru seçimi gerçekleştiği taktirde, (4.2) eşitliği kıyaslamasıyla Δp_S basınç kaybı küçülecek veya aksine daha dar çaplı boru seçildiğinde büyümüş olacaktır. Körük basınç kapasitesinin yetersiz olması halinde daha geniş çapta bir boru seçerek hesabı tekrar etmelidir.

4.2.2 Hava Debisi

Seçilen (d) boru çapı ve bundan önce Tablo 4.1'den saptanan (v_0) hava hızı yardımı ile hava debisi bulunur:

$$V_H = \frac{\pi}{4} \times d^2 \times v_0 \quad (m^3/h) \qquad (4.6)$$

4.2.3 Gerekli Tahrik Gücü

Küçük basınç değişmelerinde havanın sıkıştırılabilir özelliği dikkate alınmazsa körüğün ürettiği hava basıncı için gerekli tahrik gücü aşağıdaki denklemle hesaplanabilir;

$$P = \frac{\Delta p_t \times V_H}{9.81 \times 102 \times \eta_t} \quad (kW) \qquad (5.6)$$

P = Gerekli tahrik gücü (kW)

Δp_t = Toplam basınç farkı (p_a)

V_H = Hava debisi (m^3/h)

η_t = Körük veya vantilatör toplam verimi (η_t = 0.60 ila 0.80)

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin AKKOÇ

1946 Edremit doğumludur. 1962 dönem Edirne Endüstri Meslek Lisesi'ni bitirdikten bir süre sonra ALARKO Şirketler Topluluğu vantilatör konstrüksiyon bürosunda görevlendirilmiştir. Öteyandan Yıldız Üniversitesinde makina mühendisliği öğrenimine başlamış ve 1967 yılında mezun olmuştur. 1967 yılından 1976 yılına kadar geçen süre içinde ALARKO konstrüksiyon bürosu vantilatör seksiyonunda başmühendis olarak çalışmasını sürdürmüştür. 1976 yılında kendi öz girişimi ile endüstri tipi vantilatör ve filtre tesisleri inşa eden ED-VAN Vantilatör Sanayii ve Ticaret Ltd. Şti.'nin kurucu ortağı olarak Edremit-Çıkrıkçıköy bölgesinde 5000 m2 kapalı alan üzerinde bugünkü çelik konstrüksiyon atelyelerinin kutulmasını gerçekleştirmiştir. Halen yurdumuzdaki büyük endüstri teşkillerinin çevre sağlığını kazanmak için öngördükleri plan ve projelerin uygulama alanına geçirilmesinde ED-VAN'ın etkin katkıları devam etmektedir. Hüseyin AKKOÇ evli ve iki çocuk sahibidir.

Nuri ARUN

1918 Seydişehir (Konya) doğumludur. 1938 yılında TCDD hesabına makina mühendisliği öğrenimi için Almanyaya gönderilmiş ve 1943 yılında Berlinde Beuth-Ingenieurakademie'den mezun olmuştur. 1943'te TCDD Cer Teşkillerinde göreve başlamıştır. 1945-1947 Gölcük Deniz Fabrikaları Teknik Bürosunda yedek subay olarak yurt görevini yaptıktan sonra 1948-1958 İzmir 3. İşletme Motorlu Taşıt Atelyesi müdürü, 1958-1960 Cer müfettişi, 1960-1967 Cer Makina ve İkmal Seksiyonu müdürü, 1967-1972 Cer Dairesi Başkanlığı Motorlu Tren ve Dizelizasyon Seksiyonu Teknik müdürü. 1973 Teknik Müşavir olarak TCDD'den ayrılma. 1973-1988 BİSAN Bisiklet Sanayii A.Ş.'de konstrüksiyon başmühendisi olarak çalışma. Halen ED-VAN Vantilatör Sanayii ve Tic. Ltd. Şti.'de fahri teknik danışman olarak çalışmalara katılmaktadır.