

AÇIK DEVRELİ
SUBSONİK RÜZGAR TÜNELİ DİZAYNI

Gökçen Çayırılı

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

1991

AÇIK DEVRELİ SUBSONİK RÜZGAR TUNELİ

DİZAYNI

Gökçen Çayırılı

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Enerji Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. İlker GÜRKAN

ŞUBAT-1991

Gökçen ÇAYIRLI'nın YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı "Açık Devreli Subsonik Rüzgar Tüneli Dizaynı" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye: Yrd. Doç. İlker GÜRKAN

Üye: Yrd. Doç. Yusuf SEZEN

Üye: Yrd. Doç. Berrin ERBAY

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...**3. NİSAN**... 1991...
gün ve ...**272-12**... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Rüstem KAYA

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
ÖZET	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
I- GİRİŞ	1
II- RÜZGAR TÜNELLERİNİN TEMEL PRENSİBİ VE SINIFLANDIRILMASI	
2.1 Tanım	1
2.2 Rüzgar tünellerinin sınıflandırılması	1
III- RÜZGAR TÜNELLERİNİN MUKAYESESİ	
3.1 Giriş	3
3.2 Açık ve kapalı devreli rüzgar tünellerinin karşılaştırılması	3
3.3 Açık ve kapalı deney odalı rüzgar tünellerinin karşılaştırılması	4
3.4 Açık devreli bir rüzgar tünelinin bulunduğu ortamdaki yeri	5
IV- SUBSONİK AÇIK DEVRELİ BİR RÜZGAR TÜNELİNİN ANA ELEMANLARI VE DİZAYNI	
4.1 Giriş	5
4.2 Rüzgar tüneli ana elemanlarının dizaynı	6
4.2.1 Deney odası	6
4.2.2 Kollektör	6
4.2.3 Difüzör	10
4.2.4 Bal petekleri ve perdeler	11
4.3 Rüzgar tüneline meydana gelen enerji kayıpları	12

4.4 Tünel için gerekli fan motor gücü ve fan boyutlarının tayini	17
4.5 Açık devreli düşük hızlı rüzgar tüneli örnek dizaynı	18
V- SONUÇ VE ÖNERİLER	26
KAYNAKLAR DİZİNİ	28
EKLER :	
1- Havanın yoğunluğunun sıcaklık ile değişimini veren grafik ve yaklaşık formülü	
2- Sürtünme katsayısının Re sayısına bağlı değişimi	
3- Dinamik vizkozitenin sıcaklık ile değişimi	
4- Bilgisayar programı akış diagramı	
5- Bilgisayar programı	
6- Rüzgar tüneli kollektörünün boyutları	
7- Rüzgar tüneli difüzörünün boyutları	
8- Dizayn edilen rüzgar tünelinin montaj şekli	
9- Fan teğetsel hızının, deney odası boyutuna bağlı olarak değişimi	

ÖNSÖZ

Açık devreli subsonik rüzgar tüneli konulu yüksek lisans tezi; bu tip çalışmalara bir ışık tutmak amacıyla hazırlanmış olup, bu tip çalışmalarda bulunacak kişilere bir fikir verebilir.

Pratik uygulamaya geçemeyen, yalnızca teorik olarak hazırlanan bu çalışma da imalat masraflarının azlığı, imalat kolaylığı gibi etkenler göz önüne alınmıştır. Laboratuvar boyutlarına uygun olarak boyutlar seçilmiş olup, ayrıca istenen boyutta tünel boyutlarını hesaplayan bilgisayar programı ile de hesaplar kolaylaştırılmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında emeği geçenlere ve hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. İlker GÜRKAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

ÖZET

Rüzgar tünelleri teknik ve uygulamalarda daha henüz yeni yeni yaygınlaşmaya başlayan bir gözlem ve deney alanı olarak kullanılan tesislerdir.

Günümüz uzay çağında, ses hızının üzerinde süratle sahip uçak roket, uzay mekiği v.s gibi araçların dizaynında vazgeçilmez deney seti haline gelen rüzgar tünelleri büyük gelişmeler çabasında olan bir araştırma dalıdır.

Özellikle turbojet uçakların ki; günümüzde bunların hızı 2 MACH'ın üzerindedir, gövde mukavemetinin bu hızlara dayanıp dayanmayacağına tespit edilmesi için, yani başka bir deyişle teorik değerlerle pratik değerlerin mukayesesi için rüzgar tünellerine ihtiyaç duyulmuştur.

Bu tez; bu tip çalışmalara ışık tutması amacıyla ve imalat masraflarının az oluşu, montaj kolaylığı açısından $M=0,083$ olan subsonik açık devreli rüzgar tünelinin dizaynını içermektedir.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>SEKİL</u>		<u>SAYFA</u>
2.1	Kapalı devreli rüzgar tüneli	2
2.2	Açık devreli rüzgar tüneli	3
3.1	Eiffel tipi rüzgar tüneli	4
4.1	İki kesit arasındaki hız ve basınç değişimi	6
4.2	Kollektör profili	8
4.3	Kollektör tepe açısı	9
4.4	Bütün yüzeyleri eğrisel olan kollektör	10
4.5	Bal petek profilleri ve kayıp katsayıları	11
4.6	Perdelerin hız dağılımına etkisi	12
4.7	Reynold sayısına bağlı olarak sürtünme katsayısının değişimi	15
4.8	Kollektör ve kollektör profilinin Z' e göre değişimi	20
4.9	Difüzör giriş ve çıkış kesiti	22
4.10	Fanın difüzöre bağlantı şekli	25
4.11	Lüle kritik kesitine bağlı olarak basınç değişimi	27

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER	AÇIKLAMA	
A	Deney odası giriş boyutu	(m)
A1	Deney odası çıkış boyutu	(m)
Ldo	Deney odası uzunluğu	(m)
VO	Deney odası max.akım hızı	(m/s)
Ak1	Kollektör giriş boyutu	(m)
Ak2	Kollektör çıkış boyutu	(m)
Vk1	Kollektör giriş hızı	(m/s)
Vk2	Kollektör çıkış hızı	(m/s)
α_k	Kollektör daralma açısı	(°)
Lk	Kollektör boyu	(m)
nk	Kollektör daralma oranı	
nd	Difüzör genişleme oranı	
Ad1	Difüzör giriş boyutu	(m)
Ad2	Difüzör çıkış kesit alanı	(m ²)
Dd2	Difüzör çıkış çapı	(m)
α_d	Difüzör genişleme açısı	(°)
La	Adaptör boyu	(m)
Ld	Difüzör boyu	(m)
L	Difüzör toplam boyu	(m)
Vd1	Difüzör giriş hızı	(m/s)
Vd2	Difüzör çıkış hızı	(m/s)
Dh	Hidrolik çap	(m)
Ko	Deney odası kayıp katsayısı	
K1	Difüzör kayıp katsayısı	
K2	Kollektör kayıp katsayısı	
K3	Petek kayıp katsayısı	
K4	Egzos kayıp katsayısı	
KT	Toplam kayıp katsayısı	
Et	Toplam enerji kaybı	(kW)
Qf	Fan debisi	(m ³ /s)
Vf	Fan emiş hızı	(m/s)
Pd	Dinamik basınç	(mmSS)
Ps	Statik basınç	(mmSS)

<u>SİMGELER</u>	<u>AÇIKLAMA</u>	
Pt	Toplam basınç	(mmSS)
Ut	Fan palaları arasındaki teğetsel hız	(m/s)
RE	Reynold sayısı	
T	Deney odası sıcaklığı	(°C)
ν	Dinamik vizkozite	(m ² /s)
ρ	Emilen havanın yoğunluğu	(kg/m ³)
λ	Emilen havanın sürtünme katsayısı	

I- GİRİŞ

Genel tanımıyla rüzgar tünelleri ; deney protitipinin dinamik haldeki şartlarını statik halde iken, havayı şartlandırmak suretiyle sağlamaktır.

Türkiye için henüz soyut bir kavram gibi görünen bu dal, çok az üniversitemizde ele alınan bir olaydır. Fakat özellikle AIRCRAFT teknolojisinde söz sahibi ülkeler bu konunun üzerinde titizlikle durmaktadırlar.

Bir başlangıç olması amacıyla bu tez ; rüzgar tünellerinin temel prensiplerini açıklamak ve çeşitli açılardan sınıflandırmak amacıyla hazırlanmıştır. Böylece bir bütün halinde rüzgar tünellerine bir göz atmak mümkün olacaktır. Nitekim bölüm II-de bu tüneller hakkında kısa açıklamalar yapılacak, bölüm III-de rüzgartünellerinin mukayesesi yapılacak, bölüm IV-de açık devreli rüzgar tüneli elemanları ve dizaynı izah edilerek, örnek dizayn yapılacaktır.

II-RÜZGAR TÜNELLERİNİN TEMEL PRENSİPLERİ VE SINIFLAMASI

2.1 Tanım

Rüzgar tünelleri esas olarak hava içinde hareket eden veya hava akımlarına maruz bulunan cisimlerle ilgili olayları incelemek üzere inşaa edilirler. Bir cismin hava içinde belli bir hızda hareket etmesi ile havanın aynı cisim etrafında , aynı hız ile hareket etmesi aynı parametreleri veren olaylar olduğundan, bu olaylardan birinin incelenmesi diğer olayla ilgili sonuçları elde etmek için yeterlidir. Hava içinde hareket eden bir cisim üzerinde deney yapmak güç olduğundan rüzgar tünelleri "Statik bir cisim etrafında istenen şartlara haiz bir hava akımının sağlanması" temel prensibine göre çalışırlar. Bu prensip ; istenen şartlara haiz hava akımının elde edilmesi şeklinde genelleştirilebilir. (Özkan,1985)

2.2 Rüzgar Tünellerinin Sınıflandırılması

Rüzgar tünelleri ; hava akım hızının büyüklüğüne ve dizayn şekline göre çeşitli şekilde sınıflandırılabilirler.

A - Deney bölgesindeki hava akımının hızının büyüklüğüne göre ;

- i- Subsonik rüzgar tünelleri (sesaltı)
- ii- Transonik rüzgar tünelleri
- iii- Süpersonik rüzgar tünelleri (sesüstü)
- iv- Hipersonik rüzgar tünelleri

B - Dizayn şekline göre ;

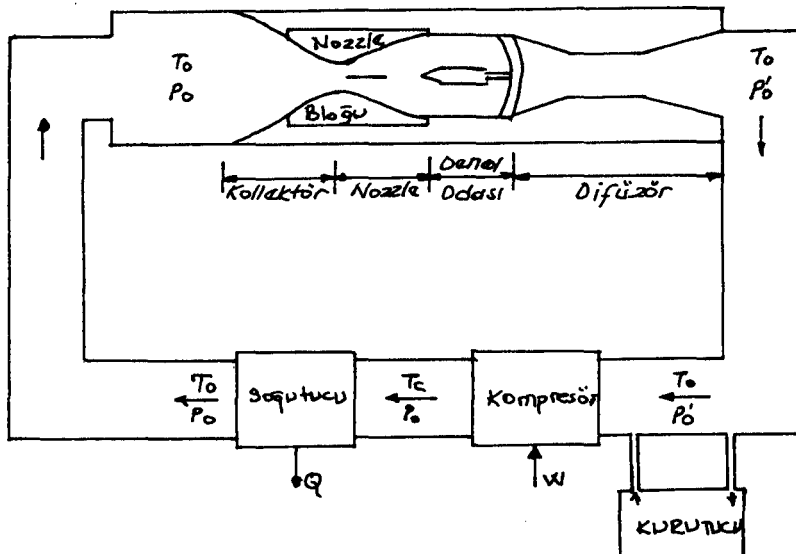
- i- Kapalı devreli rüzgar tünelleri (şekil-2.1)
- ii- Açık devreli rüzgar tünelleri (şekil-2.2)

C - Deney odası dizayn şekline göre ;

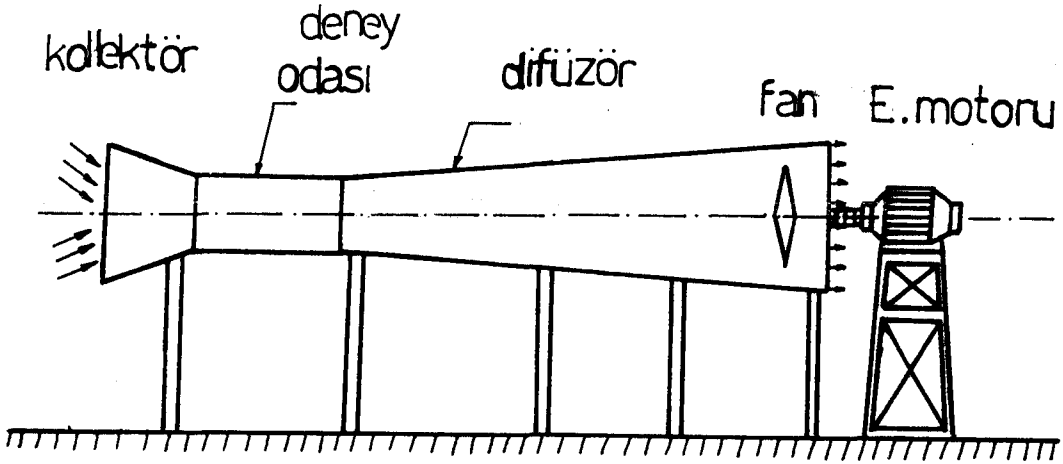
- i- Kapalı deney odalı rüzgar tünelleri
- ii- Açık deney odalı rüzgar tünelleri

Ayrıca açık devreli ve açık deney odalı rüzgar tünellerine EIFFEL-TİPİ, açık devreli kapalı deney odalı rüzgar tünellerine de NPI-TİPİ, rüzgar tünelleri denmektedir.

Yukarıdaki sınıflandırmanın dışında kalan özel amaçlı rüzgar tünelleride mevcuttur. Bunlardan en önemlileri duman tüneli, türbülans tüneli, V/STOL tüneli gibi tüneller sayılabilir.



Şekil-2.1 Kapalı devreli rüzgar tüneli (Liepmann,1967)



Şekil-2.2 Açık Devreli Rüzgar Tüneli

III- RÜZGAR TÜNELLERİNİN MUKAYESESİ

3.1 Giriş

Rüzgar tünellerinin temel prensiplerini ve çeşitlerini genel hatlarıyla açıkladıktan sonra bu tezin esas konusu olan açık devreli rüzgar tünellerini ele alabiliriz.

Açık devreli rüzgar tünellerinde tünel içinde dolaşan hava direkt olarak atmosfere atılır. (Şekil-2.2) Bu tip rüzgar tünellerinde ortalama hız büyüklüğündeki değişimler %3-5 oranındadır. Bu orandaki uniformsuzluk hız dağılımının lineerliği açısından istenmeyebilir. Ayrıca akım sapması çok küçük olabilir. (Tünel ekseninden $2-3^{\circ}$ gibi) İki kademeli kolektör ve özel akım yönlendiriciler (Petekler) kullanılarak hız dağılımının daha üniform bir hale gelmesi sağlanabilir. Çünkü akım sapması türbülans yaratacağından, bu istenmeyen bir durumdur.

3.2 Açık Devreli ve Kapalı Devreli Rüzgar Tünellerinin Mukayesesi

İlk bakışta açık devreli rüzgar tünellerinin kapalı devreli rüzgar tünellerine nazaran verimsiz olduğu düşünülürse de aslında böyle değildir. Kapalı devreli rüzgar tünellerinde devrenin kapalı olması nedeni ile geri kazanılan enerji, toplam enerjinin ancak yüzde birkaçıdır. Kapalı devreli rüzgar tünellerinin üstünlüğü deney odasında akım şartlarının (Akım düzgünlüğü, ortam sıcaklığı v.s) da-

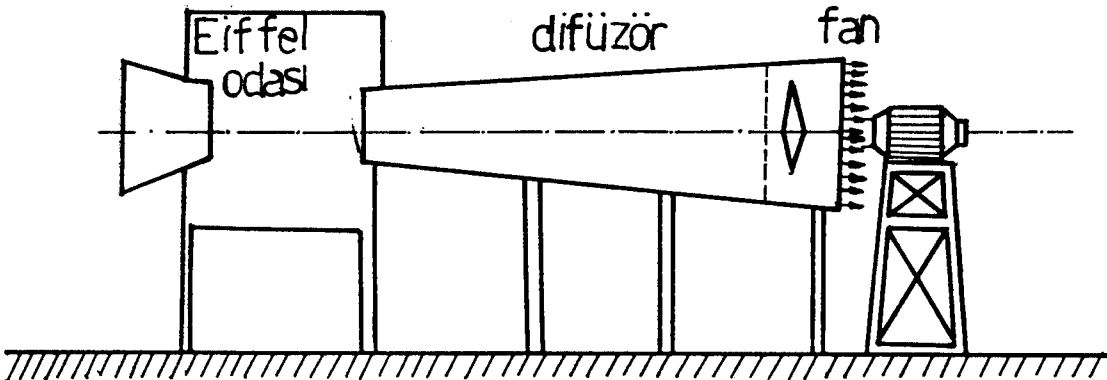
ha iyi kontrol edilebilir olması ve gürültünün az olmasıdır. Buna karşılık akım şartlarını sağlayan kapalı devreli rüzgar tünelinin imalatı, açık devreli rüzgar tünelinin imalat masrafından %60-100 daha fazladır.

Bilhassa son zamanlarda V/STOL çalışmaları için oldukça geniş deney odalarına sahip rüzgar tünellerine ihtiyaç olduğundan açık devreli hava tünellerine gösterilen ilgi daha da artmıştır. (AGARD,1977)

3.3 Açık Deney Odalı ve Kapalı Deney Odalı Rüzgar

Tünellerinin Mukayesesi

Kapalı deney odalı açık devreli rüzgar tünellerinde deney odası içindeki basınç, tüneli çevreleyen ortamın basıncından azdır. Bu nedenle modeli taşıyan aksamın, deney odasına girdiği yerlerde atmosferden tünel içine doğru hava akımları meydana gelecektir. Bu olay modele etkiyen kuvvetlerin bulunmasındaki hassasiyeti azaltacak, deneylerin yapılmasını güçleştirecektir. Ayrıca; daha iyi yerleştirilmesi ve deney yapan kimsenin daha rahat çalışabilmesi amacıyla açık deney odalı rüzgar tünelleri kullanılır. Açık deney odalı tünellerin deney bölgeleri EIFFEL ODASI denilen geniş bir oda ile çevrilidir. (Şekil 3.1) Eiffel tipi diye adlandırılan rüzgar tünellerinin deney bölgesinde duvar etkisi, kapalı devreli rüzgar tünellerinin deney odalarındaki duvar etkisinden daha azdır.



Şekil 3.1 EIFFEL Tipi Rüzgar Tüneli

Açık deney odalı Eiffel tipi rüzgar tünellerinin bu avantajlarına rağmen deney bölgelerinde nispeten üniform olmayan bir hız dağılımı meydana gelir ve %20 oranında daha fazla bir basınç kaybı oluşur.

3.4 Açık Devreli Bir Rüzgar Tünelinin Bulunmuş Olduğu Ortamdaki Konumunun Önemi

Açık devreli bir rüzgar tünelinin yerleştirilmiş olduğu oda içindeki pozisyonu, özellikle yerden yüksekliği, hava girişinin duvardan uzaklığı ve oda içindeki çatı kolonları gibi engeller deney bölgesindeki akıma tesir ederler. Tünel içindeki akımın tatmin edici olabilmesi için tünelin bulunduğu odanın genişliği, tünel çapının enaz 5-6 katı olmalıdır. (Özkan,1985)

IV- SUBSONİK AÇIK DEVRELİ RÜZGAR TÜNELLERİNİN ANA ELEMANLARI VE DİZAYNI

4.1 Giriş

Subsonik açık devreli rüzgar tünellerinin ana elemanlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- i- Deney odası (Deney bölgesi)
- ii- Kollektör (Lüle)
- iii- Difüzör
- iv- Bal petekleri ve Perdeler
- v- Fan

Bir rüzgar tünelinin dizaynında önce yapımı düşünülen tünelde, hangi tip deneylerin yapılacağı, deney odasında elde edilecek akımın özellikleri (Akımın düzgünlüğü, akım hızının büyüklüğü v.s) dolayısı ile deney odasının kapalı veya açık oluşu ve tünelin yerleştirileceği ortamın şartları dikkate alınmalıdır. Bu nedenlerle açık devreli bir rüzgar tünelinin dizaynına deney odasının dizaynı ile başlanır. Kollektör, difüzör ve bal peteklerinin dizaynı ile devam edilir. Tünelin tüm elemanlarındaki kayıplar hesaplanarak ve bu kayıplar tünel içindeki istenen hava akımını temin etmek için gerekli enerjiye ilave edilerek fan ve fanı çalıştıran sistemin gücü hesaplanır. Böylece tünelin dizaynı tamamlanmış olur.

4.2 Rüzgar Tüneli Ana elemanlarının Dizaynı

4.2.1 Deney odası:

Deney odası dizaynında dikkat edilecek kriterleri şöyle sıralamak mümkündür:

i- Kanat ve uçak modelleri gibi cisimler için yapılacak rüzgar tünellerinde genellikle deney odası uzunluğu deney odası çapının 1,5-2 katı arasında seçilebilir.

ii- Roket, denizaltı ve gemi modelleri gibi cisimler için yapılacak rüzgar tünellerinde ise bu oran 2-4 kat arasında seçilebilir.

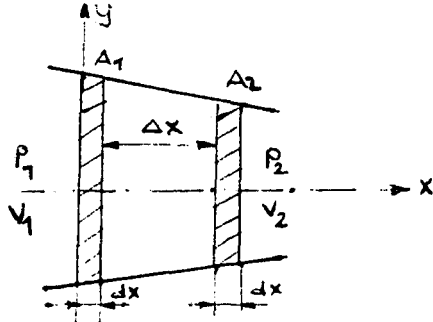
iii- Kapalı deney odalı uzun bir tünelde aksenal akım hızının sabit kalmasını temin edebilmek için, sınır tabaka kalınlaşmasını ortadan kaldıracak şekilde deney odası kesitini akım yönünde düzgün olarak artırmak gerekir. Bu genişleme açısı da yaklaşık olarak 0,5 derece seçilebilir.

iv- Ölçü almada kullanılan prob ve pitot tüpleri deney odasına uygun monte edilmeli ve gerektiğinde hareketliliği sağlanmalıdır.

v- Deney odasının dışarıdan mümkün merteye iyi görülebilir, olması gerekir. Bunun içinde duvarlar Plexi-Glass'dan yapılabilir.

4.2.2 Kollektör

Deney odasının önünde yer alan elemandır. Temel fonksiyonu giren havanın istenen şartlara yönlendirilmesini sağlamaktır. Düşük hızlı subsonik akımlar halinde bir akım çizgisi boyunca göz önüne alınan iki kesit için, Bernulli denkleminin uygulanması ile:



Şekil 4.1 1 ve 2 Kesitleri arasındaki hız - basınç değişimi

$$P_{k1} + \frac{1}{2} \rho V_{k1}^2 = P_{k2} + \frac{1}{2} \rho V_{k2}^2 \quad (1a)$$

bağıntısı elde edilir. ΔX 'in çok küçük olması nedeniyle ihmal edilir. Bu statik basınç değişiminin "0" olduğu anlamındadır. Bu varsayımdan hareketle;

$$P_{k1} + \frac{1}{2} \rho (V_{k1} + \Delta V_{k1})^2 = P_{k2} + \frac{1}{2} \rho (V_{k2} + \Delta V_{k2})^2 \quad (1b)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada ΔV_{k1} ve ΔV_{k2} sırasıyla 1 ve 2 nolu kesitlerdeki hız değişimini gösterirler. 1a ve 1b denklemleri taraf tarafa çıkarıldığında ve ΔV_k^2 terimleri ihmal edilerek;

$$V_{k1} \cdot \Delta V_{k1} = V_{k2} \cdot \Delta V_{k2} \quad (2a)$$

veya

$$\Delta V_{k1} = \frac{V_{k2}}{V_{k1}} \Delta V_{k2} \quad (2b)$$

elde edilir. 1 ve 2 nolu kesitler için a_{k1} ve a_{k2} hız değişim oranları olarak tanımlanırsa;

$$a_{k1} = \frac{\Delta V_{k1}}{V_{k1}} \quad (3a)$$

$$a_{k2} = \frac{\Delta V_{k2}}{V_{k2}} \quad (3b)$$

(3) denklemlerinden hareketle (2) bağıntılarında yerine konursa;

$$n_k = \frac{V_{k2}}{V_{k1}} \quad (4)$$

elde edilir ki; n_k kollektör daralma oranıdır.

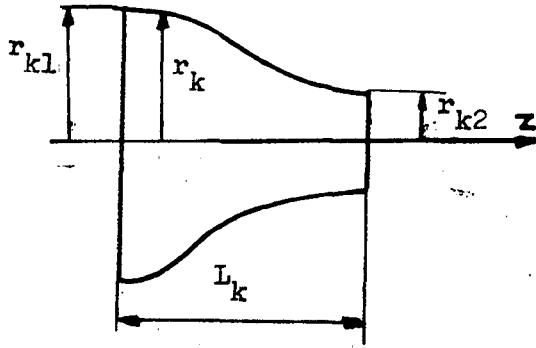
Kollektör daralma oranının seçimi dizayncıya bağlı olmakla beraber; seçimde göz önüne alınan kuralları şöyle sıralamak mümkündür.

i- Kollektör daralma oranı büyüdükçe (n_k) türbülans azalır.

ii- n_k 'daki değişim rüzgar tünelinin bütün boyutlarını etkiler

ki; bu da imalat açısından oldukça önemlidir.

iii- Alçak hız tünellerinde max. akım hızı 100-150 m/sn, kollektör giriş hızı 10-15 m/sn seçilir.



Şekil 4.2 Kollektör

Kollektör genellikle Vitashinski tarafından geliştirilen

$$r_k = \frac{r_{k2}}{(1 - (1 - (r_{k2}/r_{k1})^2) \cdot \frac{(1 - 3z^2/a_p^2)^2}{(1 + 3z^2/a_p^2)^3})} \quad (5)$$

formülünce şekillendirilir. Şekil 4.2'de de görüldüğü gibi,

r_k : Kollektör girişinden z mesafesindeki kollektör kesit yarıçapı

r_{k1} : Kollektör giriş kesit yarıçapı (m)

r_{k2} : Kollektör çıkış kesit yarıçapı (m)

a_p : $4r_{k2}$ (m)

L_k : Kollektör boyu (m)

olmak üzere (5) bağıntısından; $r_k = r_{k2}$ ve $z = L_k$ için,

$$L_k = \frac{4}{\sqrt{3}} r_{k2} \quad (6)$$

ifadesi elde edilir.

Kollektör çıkış kesiti yarıçapı r_{k2} daha önceden tayin edilmiş olacağından (6) denkleminde kollektör uzunluğu hesaplanabilir. Ancak kollektör uzunluğu tayin edilirken şu hususlar gözden kaçırılmamalıdır.

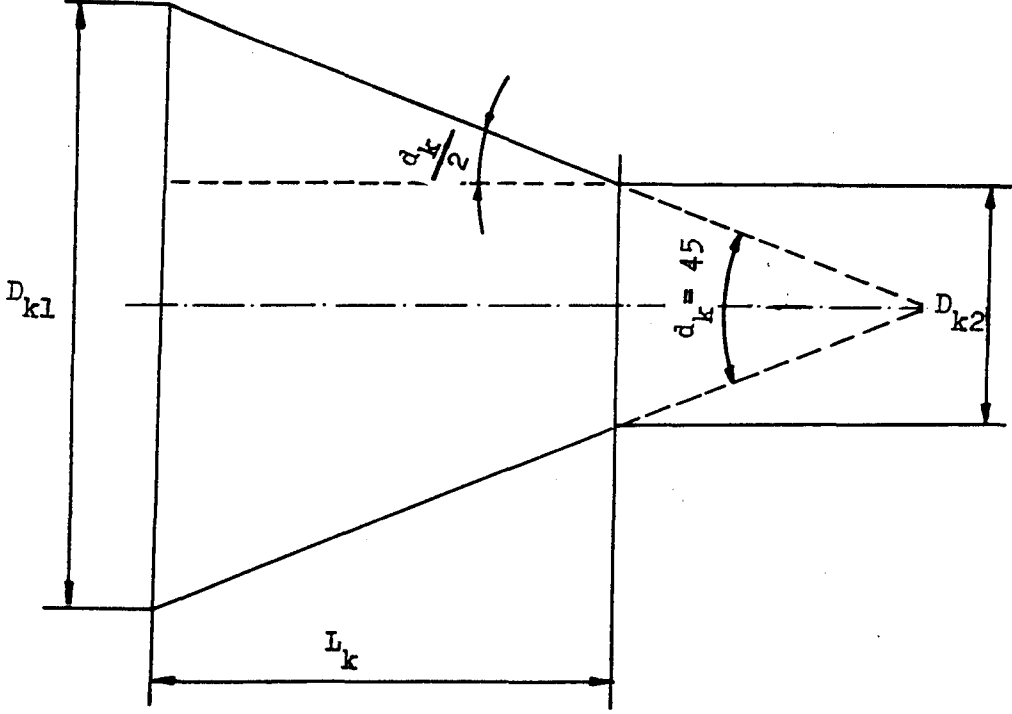
i- Kollektör duvarlarında sınır tabaka ayrılması olmaması için kollektör boyu uzun olmalıdır. Ancak gerekenden uzun kollektör boyu, sınır tabakanın kalınlaşmasına sebep olur ve fazla yer kaplar.

ii- Yapılan pratik çalışmalar neticesinde;

$$L_k = (1,5-2,5)D_{k2}$$

seçilmesi, yani kollektör boyunun kollektör çıkış kesiti çapının 1,5 ila 2,5 katı arasında alınması uygun bulunmuştur.

iii- Kollektör tepe açısı 45° civarında olmalıdır.



Şekil 4.3 Kollektör tepe açısı

Eğer kollektör yüzey şekli için şekil 4.2'den farklı bir kollektör kullanılırsa, kollektör uzunluğu;

$$\tan(\alpha_k/2) = \frac{D_{k1} - D_{k2}}{2L_k}$$

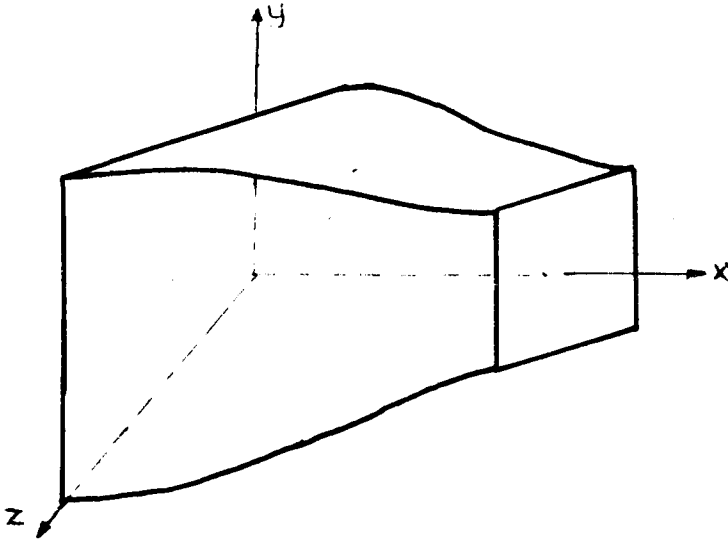
eşitliğinden,

$$L_k = \frac{D_{k1} - D_{k2}}{2 \tan(\alpha_k/2)}$$

(7)

ifadesinden bulunabilir.

Eksenel-simetrik büyük bir kollektörün hassas olarak imalatının güç olması nedeniyle, eksenel simetrik olmayan kollektörlerin imaline gidilir. Bu amaçla ya kollektörün düşey iki duvarı düzlemsel yüzeyler olarak, alt ve üst duvarları ise eğrisel duvarlar olarak ya da şekil 4.4'de görüldüğü gibi her dört duvarında eğrisel yüzey olarak yapılır.



Şekil 4.4 Bütün yüzeyleri eğrisel olan kolektör

4.2.3 Difüzör ve dizaynı

Difüzör deney odasının çıkış kesitinden itibaren düzgün olarak genişleyerek hava akımının kinetik enerjisini basınç enerjisine çeviren kısımdır. Difüzörün performansı yani kinetik enerjiyi basınç enerjisine çevirme kabiliyeti difüzörün giriş kesitindeki hız dağılımına, difüzörün genişleme açısına (α_d) ve difüzörün genişleme oranına (n_d) bağlıdır.

Difüzörün genişleme oranı n_d genellikle kolektör daralma oranı n_k 'ya yakın seçilir. Yani genellikle;

$$n_d \sim n_k \text{ veya } A_{d1}/A_{d2} \approx A_{k2}/A_{k1} \quad (8)$$

bağıntısı geçerli sayılabilir. Difüzörün giriş kesiti deney odası giriş kesiti olup, dizayn esnasında deney odası boyutları bilindiğinden dolayısıyla difüzör giriş kesiti ve buradan hareketle de difüzör çıkış kesiti bulunmuş olur. (Özkan,1985)

Difüzör genişleme açısı α_d 'yi sınırlayan kriterleri şöyle sıralamak mümkündür.

i- α_d , 8° 'den büyük olunca hız dağılımının uniformluğu bozular, hatta akım ayrılması olur ve kayıplar artar.

ii- α_d , 6° 'den küçük olursa difüzörün boyu fazlasıyla uzun olacak, dolayısıyla kayıplar yine artacak ve imalat masrafları fazlalaşacaktır.

iii- Yukarıdaki iki nedenle difüzörün optimum genişleme açısı 7° civarında seçilebilir.

Difüzörün boyunu;

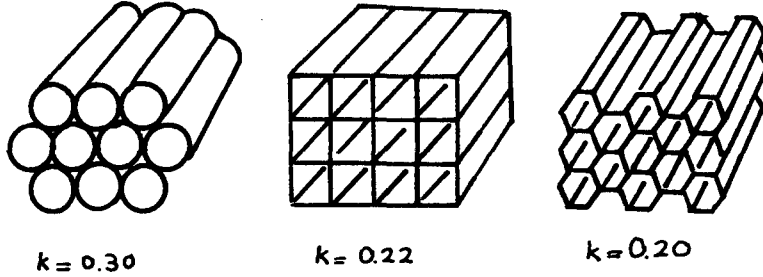
$$\tan(\alpha/2) = \frac{D_{d2} - D_{d1}}{2L_d}$$

9

formülünden hesaplayabiliriz. Burada D_{d1} ve D_{d2} sırayla difüzör giriş ve çıkış boyutudur. L_d ise difüzör boyudur.

4.2.4 Bal petekleri-perdeler ve dizaynı

Rüzgar tüneli içinde elde edilmek istenen havanın sahip olduğu şartları daha iyileştirmek, yani paralel akım elde etmek, akım burulmasını önlemek ve türbülansı azaltmak için tünelin bazı kesitlerine, açık devreli rüzgar tünellerinde kollektör girişine ve fan önüne konulabilir. Bal petekleri şekil 4.5'de görüldüğü gibi üç farklı şekilde (dairese, karesel, altıgen) yapılabilir.

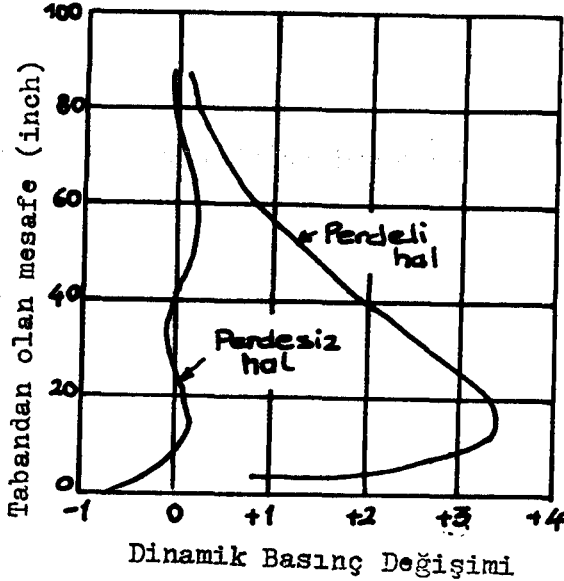


Şekil 4.5 Bal peteği profilleri ve kayıp katsayıları

Bal peteklerinde gözenekler için genellikle uzunluk/çap oranını 5-6 civarındadır.

Rüzgar tünellerinin en geniş kesitlerine bütün kesiti kaplayacak şekilde yerleştirilen perdeler, şekil 4.6'da görüldüğü gibi hız dağılımının daha üniform olmasına yardım eder. Açık devreli rüzgar tünellerinde bal peteklerinden önce konan perdeler, aynı zamanda toz gibi yabancı cisimlerin tünele girmesine mani olurlar.

Perdelerin sebep olduğu enerji kaybı ihmal edilebilecek kadardan küçüktür.



Şekil 4.6 Perdelerin hız dağılımına etkisi (Özkan,1985)

4.3 Rüzgar Tünellerinde Meydana Gelen Enerji Kayıpları

Rüzgar tünellerinde meydana gelen enerji kayıplarının temel nedenleri sürtünme ve tünel elemanlarının geometrik yapılarıdır. Sürtünme nedeniyle meydana gelen enerji kaybı genellikle Reynold sayısına ve tünel yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Tünel elemanlarının geometrik yapıları nedeniyle meydana gelen akım ayrılmaları, köşelerdeki girdapların sebep olduğu kayıplar ve difüzör gibi akım yönünde genişleyen elemanlarda meydana gelen kayıplar, genişleme kayıpları olarak adlandırılır. Ayrıca açık devreli rüzgar tünelleri ise belirli bir hıza dolayısıyla kinetik enerjiye sahip hava akımının atmosfere atılması nedeni ile meydana gelen kayba da eksoz kaybı denmektedir.

4.3.1 Rüzgar tünelleri enerji kayıplarının hesabı

Bir kanal içindeki enerji kaybı genellikle statik basınçtaki düşme olarak basitçe bilinir ise de;

$$K = \frac{\Delta P}{q_n} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada q_n dinamik basıncı göstermektedir. q_1 deney odasındaki dinamik basıncı göstermek üzere enerji kayıp

katsayısı;

$$K_o = \frac{q_n}{q_1} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. (2) denklemini daha uygun hale getirmek için;

$$A_n V_n = A V_o \quad (3)$$

süreklilik denklemini göz önünü alalım. ρ havanın yoğunluğu olmak üzere;

$$\frac{q_n}{q_1} = \frac{V_n^2}{V_o^2} = \frac{A^2}{A_n^2} \quad (4)$$

$$\frac{q_n}{q_1} = \frac{1/2 \rho V_n^2}{1/2 \rho V_o^2} = \frac{V_n^2}{V_o^2} \quad (5)$$

elde edilir. (2) ve (4) bağıntılarından hareketle;

$$K_o = K_n \frac{A^2}{A_n^2} \quad (6)$$

sonucu elde edilir.

Göz alınan kesitte akımın hacimsel debisi;

$$Q = A_n \cdot V_n \quad (7)$$

ile verildiğine göre bu kesitteki birim zamandaki enerji kaybı;

$$E = K_n \cdot 1/2 \cdot \rho V_n^2 \cdot (A_n \cdot V_n) \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Bu son bağıntının sağ tarafını $A \cdot V_o^3$ ile çarpıp bölersek ve (6) eşitliğini de dikkate aldığımızda;

$$E = K_n \cdot 1/2 \cdot \rho V_n^2 \cdot (A_n \cdot V_n) \quad (9)$$

bulunur. Burada K_n tünelin herhangi bir elemanının enerji kayıp katsayısı olmak üzere (9) bağıntısı, "n" elemanının birim zamandaki enerji kaybını gösterir. Buna göre tünelin tamamı için birim zamandaki enerji kaybı;

$$E_t = \sum E_n = \sum K_n \cdot 1/2 \cdot \rho V_n^2 \cdot (A_n \cdot V_n) = 1/2 \cdot \rho A \cdot V_o^3 \cdot \sum K_n \quad (10)$$

bağıntısı elde edilir.

Rüzgar tünelinin enerji oranı ER_t ile gösterilirse;

$$ER_t = \frac{\text{Toplam Akım Enerjisi}}{\text{Toplam Enerji Kaybı}} = \frac{1/2 \cdot \rho V_0^2 \cdot (A \cdot V_0)}{\sum K_n \cdot 1/2 \cdot \rho V_0^2 \cdot (A \cdot V_0)} \quad (11a)$$

$$ER_t = \frac{1}{\sum K_n} \quad (11b)$$

bağıntısı bulunur.

Sistemde meydana gelen toplam dinamik basınç kaybı, (2) denkleminde hareketle;

$$\Delta P_d = 1/2 \cdot \rho V_0^2 \cdot \sum K_n \quad (12)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu bağıntılardan hareketle tünel elemanlarının tek tek kayıp katsayılarının hesaplanması gösterilecektir.

Deney odası kayıpları :

Üniform kesitli kanallarda enerji kaybı sürtünme nedeni ile meydana gelir. Bu da;

$$\frac{\Delta P}{L} = 1/2 \cdot \rho V^2 \cdot \frac{\lambda}{D_h} \quad (13)$$

şeklinde ifade edilir. Burada S kesit çevre uzunluğu olmak üzere;

$$D_h = 4A/S \quad (14)$$

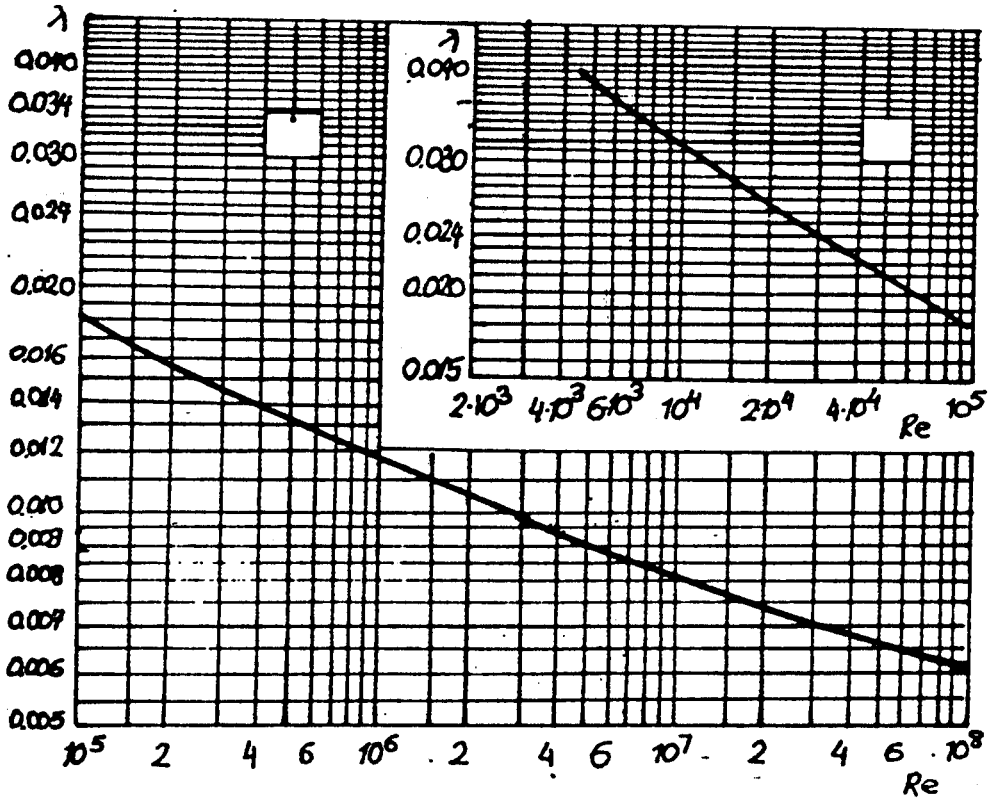
bağıntısı ile tanımlanan büyüklük hidrolik yarıçap olup L kanal uzunluğu, λ ise sürtünme katsayısıdır. λ sürtünme katsayısı Reynold sayısı ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır.

Düzgün yüzeyler için λ 'nın Reynold sayısına bağlı olarak değişimi şekil 4.7'deki diagramda verilmiştir .

Deney odasında sınır tabaka tesirini önleyebilmek için akım yönünde çok az genişleme olsa bile deney odası kesiti üniform kabul edilebilir, ve;

$$K_o = \lambda \frac{L}{D_h} \quad (15)$$

yazılabilir.



Şekil 4.7 Reynold Sayısına bağlı olarak λ 'nın değişimi

Difüzör kayıpları :

Difüzör gibi genişleyen kanallarda sürtünme ve genişleme nedeniyle enerji kayıpları meydana gelir. Difüzör için bu iki tip enerji kaybı göz önüne alınarak difüzör kayıp katsayısı;

α_d : Difüzör genişleme açısı ($^\circ$)

A_{d1} : Difüzör giriş kesiti (m^2)

A_{d2} : Difüzör çıkış kesiti (m^2)

A_o : Deney odası giriş kesiti (m^2)

olmak üzere:

$$K_1 = \left(\frac{\lambda}{8 \tan(\alpha_d/2)} + 0,6 \tan(\alpha_d/2) \right) \cdot \left(1 - \frac{A_{d1}^2}{A_{d2}^2} \right) \cdot \frac{A^2}{A_{d1}^2} \quad (16)$$

ifadesi yazılabilir.

Kollektör kayıpları :

Kollektör gibi daralan kanallarda meydana gelen enerji kayıpları sadece sürtünmeden dolayı oluşur. Böyle kanallarda basınç kaybı;

$$\Delta P = \int_0^{L_k} \lambda \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot \frac{dL}{D_h} \quad (17)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada L_k kollektör boyudur. (17) ifadesinden yararlanılarak enerji kayıp katsayısı;

$$\begin{aligned} K_2 &= K \frac{A_0^2}{A_k^2} \\ &= \frac{\Delta P}{q} \cdot \frac{A^2}{A_k^2} \\ &= \int_0^{L_k} \lambda \frac{3L}{D_h} \cdot \frac{A^2}{A_k^2} \end{aligned}$$

veya λ için ortalama bir değer kabul edilerek;

$$K_2 = 0,32 \lambda \frac{L_k}{D_h} \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Kollektördeki enerji kaybı tüneldeki enerji kaybının % 3'ünden az olduğundan burada yapılan hata dizayna fazla etki yapmaz.

Bal petekleri kayıpları :

Bal petekleri nedeni ile meydana gelen enerji kaybını bulmak için enerji kayıp katsayısını veren ;

$$K_3 = K \frac{A^2}{A_n^2} \quad (19)$$

formülü kullanılabilir.

Burada;

A : Deney odası giriş kesiti (m^2)

A_n : Peteğin bulunduğu yerde tünel kesiti (m^2)

K : Petek cinsine bağlı katsayı

olarak alınmıştır.

Egzos kaybı :

Açık devreli hava tünellerinde atmosfere atılan havanın sahip olduğu kinetik enerji, bir kayıptır. Bu kaybı yani egzos enerjisini;

$$E_e = \frac{1}{2} \rho V_d^2 \cdot (A_{d2} \cdot V_{d2}) \quad (20)$$

şeklinde ifade edebiliriz. Burada A_{d2} difüzör çıkış kesit alanı ve V_{d2} de difüzör çıkışındaki akım hızıdır. Deney odası ile difüzör çıkış kesiti arasında süreklilik denklemini yazarsak;

$$\frac{V_{d2}}{V_0} = \frac{A^2}{A_{d2}^2} \quad (21)$$

(20) ve (21) ifadelerinden;

$$E_n = 1/2 \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdot A \cdot V_0 \cdot \left(\frac{A^4}{A_{d2}^2} \right) \quad (22)$$

yazılabilir. (22) nolu denklemden görüldüğü gibi Eksoz kayıp katsayımız, K_4 ;

$$K_4 = \frac{A^4}{A_{d2}^2} \quad (23)$$

şeklinde ifade edilebilir.

4.4 Tünel için Gerekli Fan Motor Gücü ve Fan Boyutlarının Tayini

Tünel içinde istenen hava akımını meydana getirebilmek ve enerji kayıplarını karşılayabilmek için bir enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Bu enerji kaynağı bir fan veya bir komprösör olabilir. Açık rüzgar tünellerinde fan kullanıldığından bu bölümde fan motoru gücünün ve fan boyutlarının tayin edilmesi yöntemi üzerinde durulacaktır.

Tüneldeki enerji kayıplarını karşılayabilmek için gerekli güç ;

$$E_{\text{kayıp}} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdot (A \cdot V_0) \cdot \sum K_i \quad (24)$$

olduğuna göre fan motor gücü ;

$$N_{\text{mot}} = E_{\text{kayıp}} / \eta \quad (25)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada η fanın verimidir. Ayrıca bir tünel için ;

$$\lambda_g = \frac{N_{\text{mot}}}{1/2 \cdot \rho \cdot V_0^2 \cdot (A \cdot V_0)} \quad (26)$$

şeklinde bir güç faktörü tanımlanabilir.

Fan çapını ve fan dönme sayısını dolayısıyla motor dönme sayısını tayin etmek için dikkate alınması gereken kriterler şu şekilde sıralanabilir ;

i- Fan debisi, tünel debisine eşit veya büyük olmalıdır.

$$Q_f \gg A \cdot V_o \quad (27)$$

ii- Fan palaları arasındaki teğetsel hız,

$$U_t = w_f \cdot \frac{D_f}{2} \ll 200 \text{ m/sn} \quad (28)$$

olmalıdır. Burada;

D_f : Fan pala çapı (m)

n : Motor devri (d/d)

olmak üzere;

$$w_f = \frac{2\pi n}{60} \text{ (rad/sn)} \quad (29)$$

eşitliğinden fan açışa hızı bulunabilir.

Fanın karakteristikleri fan palalarının uçları ile tünel duvarı arasındaki mesafeye direkt bağlıdır. Bu mesafe mümkün merteye küçük olmalıdır. Fan pala uçları ile tünel duvarı arasındaki mesafenin, fan çapına bağlı olarak değişimi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Fan çapı ile tünel duvarı arasındaki mesafenin fan çapına bağlı değişimi

Fan Çapı	Fan palaları ile tünel duvarı arasındaki mesafe
5 m'den büyük	30 - 40 mm
2 - 5 m	20 - 30 mm
2 m'den küçük	5 - 15 mm

Rüzgar tünellerinde hava akımının hızı genellikle fan hızını değiştirmek suretiyle ayarlanır. Bunu sağlayabilmek için fan motorunun devri sürekli değiştirilebilir olmalıdır. Ancak bunu yapmanın kolay olmaması nedeni ile fan debisini; uygun olarak açılabilir bir diyafram veya sürüklenme meydana getirecek gözenekli perdeler kullanmak suretiyle ayarlamak mümkündür.

4.5 Açık Devreli Düşük Hızlı Rüzgar Tüneli Örnek Dizaynı

Bazı airodinamik gerçekleri ortaya çıkarmak amacıyla deneysel sonuç elde etmek için düşük hızlı bir rüzgar tüneli istensin. Bu dizayn yapılırken daha önceki bölümlerde verilen formülasyon ve kriterleri kullanacağız.

Yapılacak rüzgar tünelinin yukarıdaki amaca en iyi hizmet edebilmesi, imalat kolaylığı ve imalat masraflarının az olması nedeni ile deney odası değerlerimiz baz alınmıştır.

Deney odası giriş boyutu = $A = 1,0$ m

Deney odası max. akım hızı = $V_0 = 25$ m/sn

Deney odası uzunluğu = $Ld_0 = 2,5$ m

Bu verilerden hareketle aşağıda açık devreli rüzgar tünelinin diğer hesaplamaları yapılacaktır.

Deney odasında max. akım hızına tekabül eden Reynold sayısı;

$$Re = \frac{V_0 \cdot A}{\nu} \quad (30)$$

denkleminde bulunur. $T_0 = 18^\circ C$ için havanın dinamik vizkozitesi;

$$\nu = (0,0455285T_0 + 17,06) \times 10^{-6}$$

yaklaşık formülünden, $\nu = 17,88 \times 10^{-6}$ m²/sn bulunur. Bu değeri (30) denkleminde yerine koyalım;

$$Re = \frac{25 \cdot 1}{17,88 \times 10^{-6}} = 1398248 = 1,4 \times 10^6$$

bulunur. Bu değerden hareketle deney odası genişleme açısı $\alpha_{D_0} = 0,5^\circ$ alınabilir.

Deney odası çıkış kesiti;

$$\tan(\alpha_{D_0}) = \frac{A_1 - A}{2Ld_0} \quad (31)$$

ifadesinden,

$$A_1 = 1,044 \text{ m}$$

bulunur.

Kollektör daralma oranı seçimi için belirtilen kriterleri dikkate alarak kollektör daralma oranı;

$$n_k = 4 \quad (32)$$

alınabilir.

Kollektör çıkış kesiti, deney odası giriş kesitine eşittir.

$$A_1 = A_{k2}$$

$$n_k = \frac{A_{k1}^2}{A_{k2}^2} \quad (33)$$

(33) ifadesinden;

$$A_{k1}^2 = n_k \cdot A_{k2}^2 = 4 \cdot 1^2$$

$$A_{k1} = 2,0 \text{ m}$$

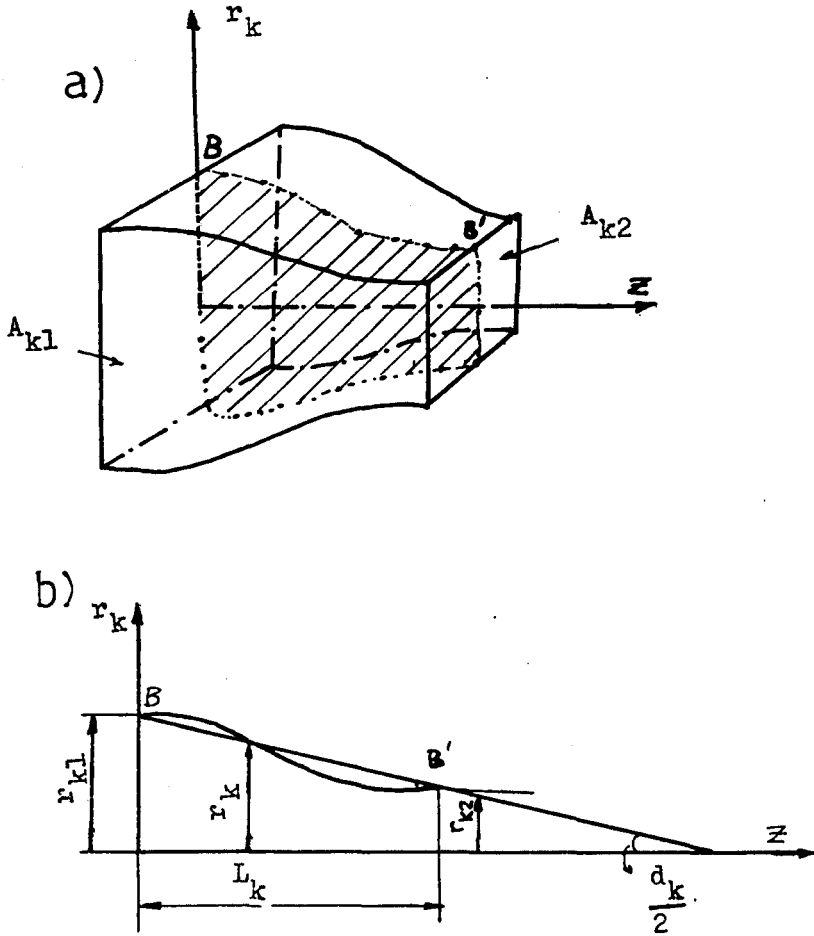
kollektör giriş boyutu bulunur. Yine daralma katsayısından hareketle kollektör girişindeki akım hızı;

$$v_{k1} = \frac{v_{k2}}{n_k} \quad (34)$$

olarak bulunabilir. Kollektör çıkışındaki hız ile deney odası max. akım hızı birbirine eşittir. Bu eşitlik ve (34) denkleminin aracılığı ile kollektör giriş hızı;

$$v_{k1} = 25/4 = 6,25 \text{ m/sn}$$

olarak bulunur.



Şekil 4.8 a) Kollektör

b) Kollektör profilinin Z'e göre değişimi

Kollektör daralma açısını şekil 4.8'den yararlanılarak yazılan;

$$\tan(d_k/2) = (r_{k1} - r_{k2})/L_k \quad (35)$$

formülünden hesaplayabiliriz. Burada $r_{k1} = 1,0$ m, $r_{k2} = 0,5$ m'dir.

$$L_k = A_{k1}/\sqrt{3} = 1,155 \text{ m}$$

olarak hesaplanabilir.

Bu değerleri (35) denkleminde yerine yazarsak;

$$\tan(d_k/2) = 0,433$$

$$d_k = 46,83^\circ$$

bulunur. Kollektör daralma açısının 45° civarında olması boyutların doğru seçildiğini gösterir.

Difüzör genişleme oranını, kollektörün daralma oranına eşit olarak, yani $n_d = n_k = 4$ seçebiliriz. Difüzör giriş kesiti A_{d1} ; deney odası çıkış kesiti A_1 ile aynıdır ve dolayısıyla;

$$A_1 = A_{d1} = 1,044 \text{ m}$$

dir. Difüzör genişleme oranından hareketle difüzör çıkış kesiti;

$$n_d = \frac{A_{d2}}{A_{d1}}$$

$$A_{d2} = 4 \cdot (1,044)^2$$

$$A_{d2} = 4,36 \text{ m}^2$$

olarak bulunabilir. Difüzör çıkış kesitinin dairesel olduğu göz önüne alınarak, difüzör çıkış kesitinin çapı;

$$D_{d2} = \left(\frac{4 \cdot A_{d2}}{\pi} \right)^{0,5}$$

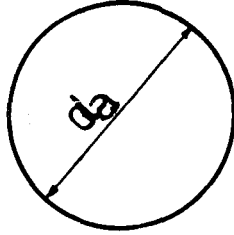
$$D_{d2} = 2,356 \text{ m}$$

olarak bulunur.

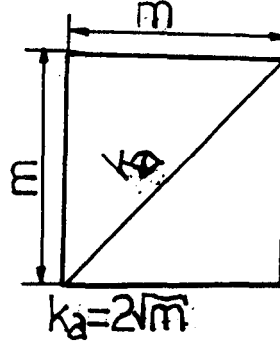
Difüzör genişleme açısının seçimi ile ilgili kriterleri göz önüne alarak difüzör genişleme açısını optimum değer olan $\alpha_d = 7^\circ$ alabiliriz.

Difüzör uzunluğunu hesaplarken toplam difüzör uzunluğunun difüzör adaptörü ve difüzör olmak üzere iki kısımdan meydana geldiğini kabul edeceğiz.

Difüzör girişi kare kesitli çıkışta dairesel kesitlidir.



Çıkış kesiti



Giriş kesiti

Şekil 4.9 Difüzör giriş ve çıkış kesiti

$$k_a = \sqrt{2} \cdot A_1$$

$$k_a = 1,477 \text{ m}$$

ise;

$$\tan(\alpha_d/2) = \frac{\frac{k_a}{2} - \frac{A_1}{2}}{L_a} \quad (36)$$

yazılabilir. (37) denkleminde hareketle L_a adaptör boyu;

$$L_a = 3,534 \text{ m}$$

bulunur. Difüzör kısmının boyu L_d için;

$$\tan(\alpha_d/2) = (D_{d2} - k_a) / 2L_d \quad (37)$$

yazılabilir. Buradan da;

$$L_d = 7,188 \text{ m}$$

bulunur. Toplam difüzör boyu L ise;

$$L = L_a + L_d \quad (38)$$

$$L = 10,722 \text{ m}$$

bulunur. Difüzör çıkışındaki akım hızı;

$$n_d = V_{d1} / V_{d2} \quad (39)$$

$$V_{d2} = 25/4 = 6,25 \text{ m/sn}$$

olarak hesaplanır.

Akım üniformluğunu sağlamak amacıyla kollektör girişine şekil ve boyutlarını kendimiz seçebileceğimiz bir petek koyabiliriz.

Petek uzunluğu ve petek genişliği için sırayla $L_p = 10$ cm , $h_p = 3$ cm değerleri seçilmiştir.

$$\frac{L_p}{h_p} = 10/3 = 3,33$$

Tünelin ana elemanlarını böylece boyutlandırdıktan sonra tünelde meydana gelebilecek enerji kayıplarını bulabiliriz.

$Re = 1,4 \times 10^6$ ve pürüzsüz yüzeyler için sürtünme katsayısı şekil 4.7'den; $\lambda = 0,0118$ olarak bulunur.

Bu verilerden hareketle deney odası kayıp katsayısı;

$$K_o = (L_o/D_h) = 0,0118 \cdot 2,5/1$$

$$K_o = 0,0295$$

Difüzör kayıp katsayısı;

$$K_1 = (0,0118/(8 \tan(3,5)) + 0,6 \tan(3,5) \cdot (1 - (1,044^2/4,36)^2) \cdot (1/1,044)^4$$

$$K_1 = 0,0481$$

Kollektör kayıp katsayısı;

$$K_2 = 0,32 \cdot 0,0118 \cdot 1,155/1$$

$$K_2 = 0,0044$$

Petek kaybı;

$$K_3 = 0,22 \cdot (1/2)^4$$

$$K_3 = 0,01375$$

Egzos kaybı;

$$K_4 = (1^2/4,36)^2$$

$$K_4 = 0,0527$$

Tünelin toplam kayıp katsayısı tünel elemanlarının kayıp katsayılarının toplamına eşittir.

$$K_t = K_o + K_1 + K_2 + K_3 + K_4$$

$$K_t = 0,1484$$

olarak bulunur.

Havanın deney odası sıcaklığındaki, yoğunluğu;

$$\rho = (1,878T_o^2 - 461,8T_o + 127748) \times 10^{-5}$$

yaklaşık ifadesiyle bulunabilir. $T_o = 18^\circ\text{C}$ için;

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

olarak hesaplanabilir.

Tünelin toplam enerji kaybı;

$$E_t = 1/2 \cdot \rho \cdot V_o^3 \cdot A_1^2 \cdot K_t$$

$$E_t = 1/2 \cdot 1,2 \cdot 25^3 \cdot 1^2 \cdot 0,1484$$

$$E_t = 1,3891 \text{ kw}$$

Fan debisi;

$$Q_f = A_1^2 \cdot V_o$$

$$Q_f = 1^2 \cdot 25$$

$$Q_f = 25 \text{ m}^3/\text{sn}$$

Fan emiş hızı;

$$V_f = (A_1^2 / A_2) \cdot V_o$$

$$V_f = 5,79 \text{ m/sn}$$

Fan dinamik basıncı;

$$P_d = (1/2g) \cdot \rho V_f^2$$

$$P_d = 2,011 \text{ mmss}$$

Toplam basınç;

$$P_t = (1/2g) \cdot \rho V_o^2 \cdot K_t$$

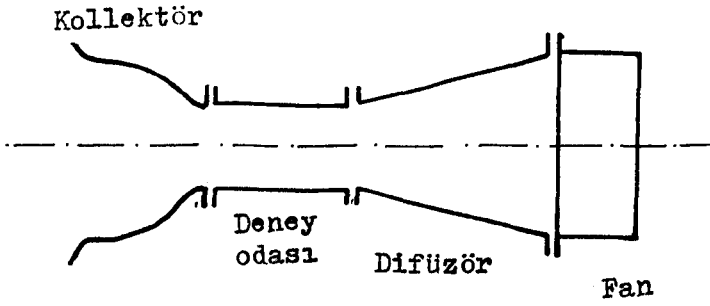
$$P_t = 5,664 \text{ mmss}$$

Statik basınç;

$$P_s = P_t - P_d$$

$$P_s = 3,653 \text{ mmss}$$

olarak bulunabilir.



Şekil 4.10 Fanın difüzöre bağlantı şekli

Bütün bu hesaplamalardan sonra fan palaları arasındaki teğetsel hız;

$$U_t = 2\pi n / 60 \cdot D_p / 2$$

bağıntısından $n = 1400$ d/d, $D_p = 2,356$ m için,

$$U_t = 172,647 \text{ m/sn}$$

olarak bulunur ki; $U_t < 200$ m/sn şartını sağlamaktadır.

Yukarıda verilen örnek daha hızlı yapılabilmesi, boyut seçiminin doğru yapılar yapılmadığının kontrolü için birçok işlemlerin ve hesaplamaların getireceği külfeti ortadan kaldırmak için bilgisayar programı yapılmıştır.

Bu programın Akış Diagramı Ek-4'de, program ise Ek-5'de verilmiştir. Dizayn esnasında baz alınan deney odası boyutları, programa dışarıdan girilmek suretiyle program çalıştırılmaktadır.

Ayrıca kıyaslama kriterimiz olan, fan teğetsel hızı ve kollektör tepe açısının değerlendirilmesini yapmak gerekmektedir.

Kollektör tepe açısının değeri, deney odasına ve kollektör daralma oranına direkt bağlı olarak değişmektedir. Deney odası boyutunu istegimize uygun olarak, kollektör daralma oranını da imalata uygun olarak seçtiğimiz için ; boyutların doğruluğunun kontrolü için bakacağımız değer fan teğetsel hızıdır.

Fan teğetsel hızının deney odası boyutuna bağlı olarak değişimi Ek-9'da verilmiştir.

V- SONUÇ VE ÖNERİLER

Dizayn edilen Açık Devreli Subsonik Rüzgar Tüneli deney odasının kesiti $1 \times 1 \text{ m}^2$, boyu da 2,5 m'dir. Rüzgar tüneli pervanesi 2 KW'lık bir doğru akım motoru ile tahrik edilmektedir. Tüneldeki akım hızı bu motora bağlı olan bir redresör ile durgun halden itibaren sürekli olarak ayarlanabilmektedir. Tünelin deney odası plexi-glass'dan diğer ana parçalar ise sac malzemeden yapılmıştır.

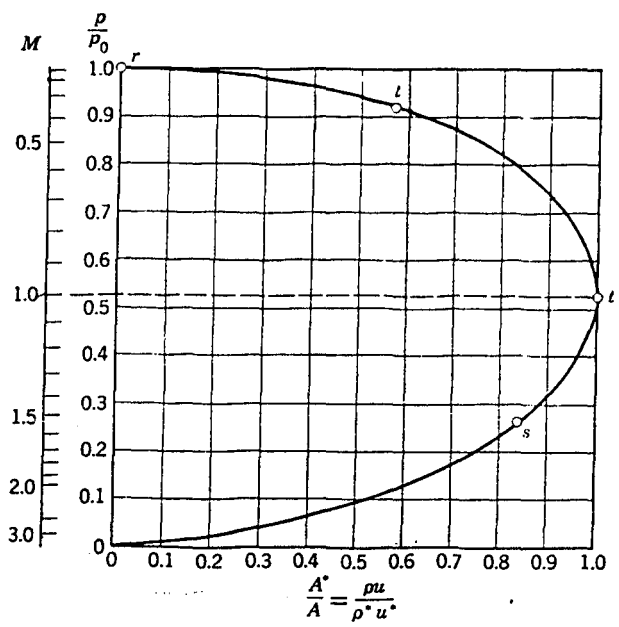
Deney odası genişleme açısı ($0,5^\circ$) uygun seçilmesi, deney odası boyunca basınç değerleri deney odasında bir basınç gradyenti olmadığını gösterir.

Rüzgar tüneli tahrik motorunun yaratabileceği titreşimin deney odasına girmeden sönmülmesi gerekmektedir. Bu amaçla; motorla, ~~duz~~ zör arasına titreşim önleyici bir izolasyon malzemesi kullanılmalıdır.

Tünel dizaynında ana karşılaştırma elamanı olarak (Ut) teğetsel hıza göre boyut seçimi kontrol edilmektedir. EK-9 da deney odası boyutu A'ya bağlı olarak fan teğetsel hızının değişimi verilmiştir. Bu di-agramın analizinde ise; deney odası boyutuna bağlı olarak Ut teğetsel hızının lineer olarak değiştiği görülmektedir. Deney odası boyutu arttıkça Ut hızıda artmaktadır. Ut = 200 m/sn'den fazla teğetsel hız istenmemektedir. Bu sebeble EK-9'da verilen A'ya bağlı Ut'nin değişimi; diğer boyutlar sabit kabul edilmek suretiyle dikkate alınmıştır. Buradan görüldüğü gibi; Ut= 200 m/sn'lik teğetsel hıza tekabül eden deney odası giriş boyutu A= 1,165 m olarak görülmektedir. Dolayısıyla subsonik tünel için max. deney odası giriş boyutu 1.165 m'dir.

Eğer bu boyutun üzerinde bir deney odası kesiti istenir ise motor devir sayısı ve deney odası uzunluğu, istenen boyuta uygun seçilmesi ile sağlanabilir.

Transonik ve Süpersonik Rüzgar Tüneli dizaynları, tünel ana elemanlarının montajları ve imalatlarından kaynaklanan en ufak hatalar (pürüzlülük, perçin ve kaynak hataları v.s) deney odası akımının üzerinde büyük etkiler yapmaktadır. Dizaynı yapılırken özellikle mukavemet ve akım ayrılması yönünden kontroller çok iyi yapılmalıdır.



Şekil. 4-11 Lüle kritik kesitine bağlı olarak basınç değişimi

Rüzgar tüneli dizaynını yaparken, teğetsel hızın istenen şartlara uygunluğunun yanı sıra Şekil.4.11 yardımcıyla kollektör çıkış kesitinin uygunluğunun kontrolü yapılmalıdır.

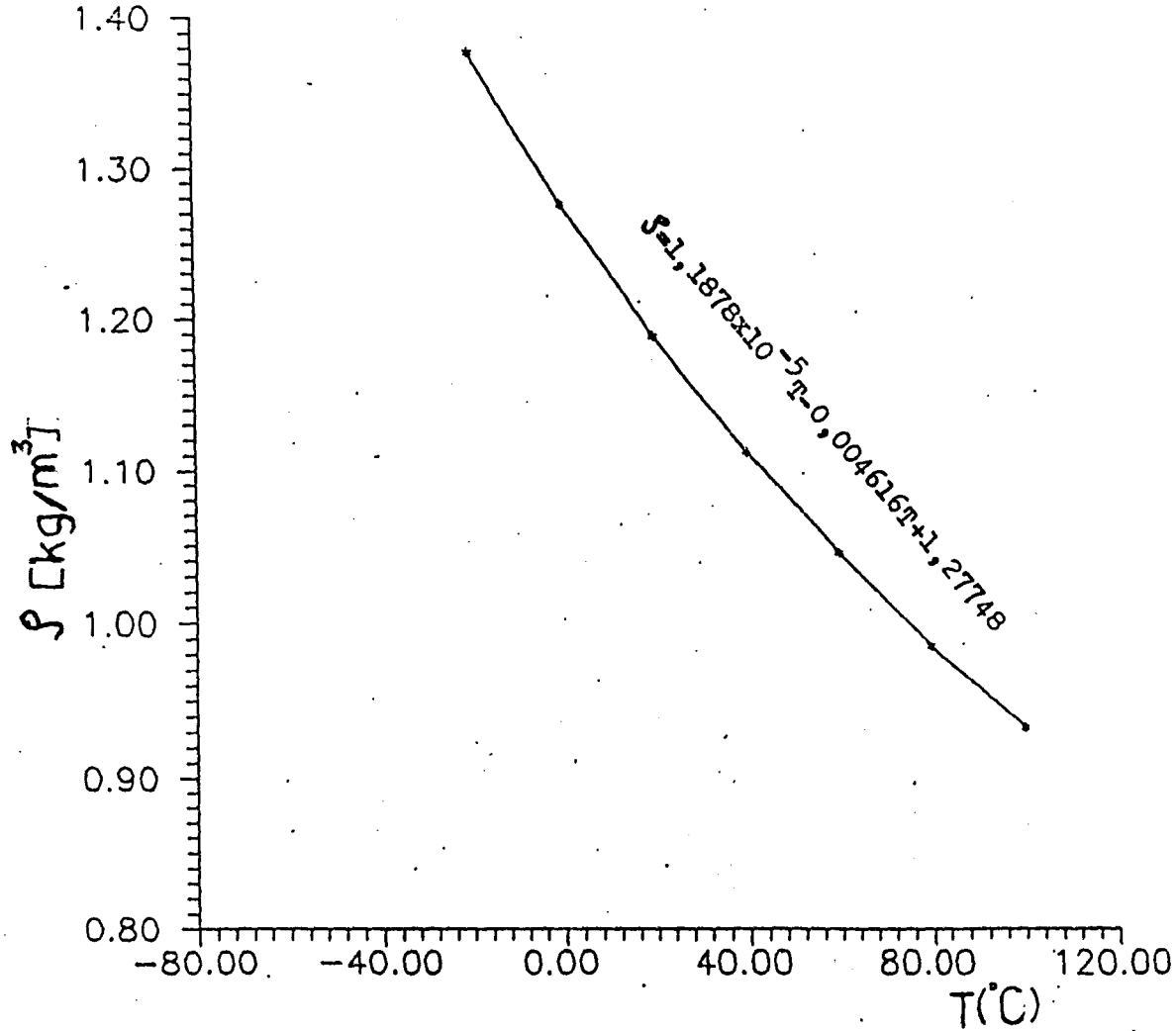
Ancak şekilden de görüleceği gibi Mach sayısının çok düşük olması nedeniyle basınç oranında bir değişiklik yapmayacaktır. Bu nedenle yalnızca teğetsel hızın kontrolü yeterli olacaktır.

Rüzgar tünelimiz subsonik şartlara sahip olduğu için dizaynımızda Termodinamiğin 11. Kanununa göre şok dalgalarının oluşması mümkün olmayacağından şok dalgaları incelenmemiştir. Ancak süpersonik tünel dizaynlarında şok dalgalarının olumsuz etkileri göz önüne alınmalıdır.

KAYNAKLAR

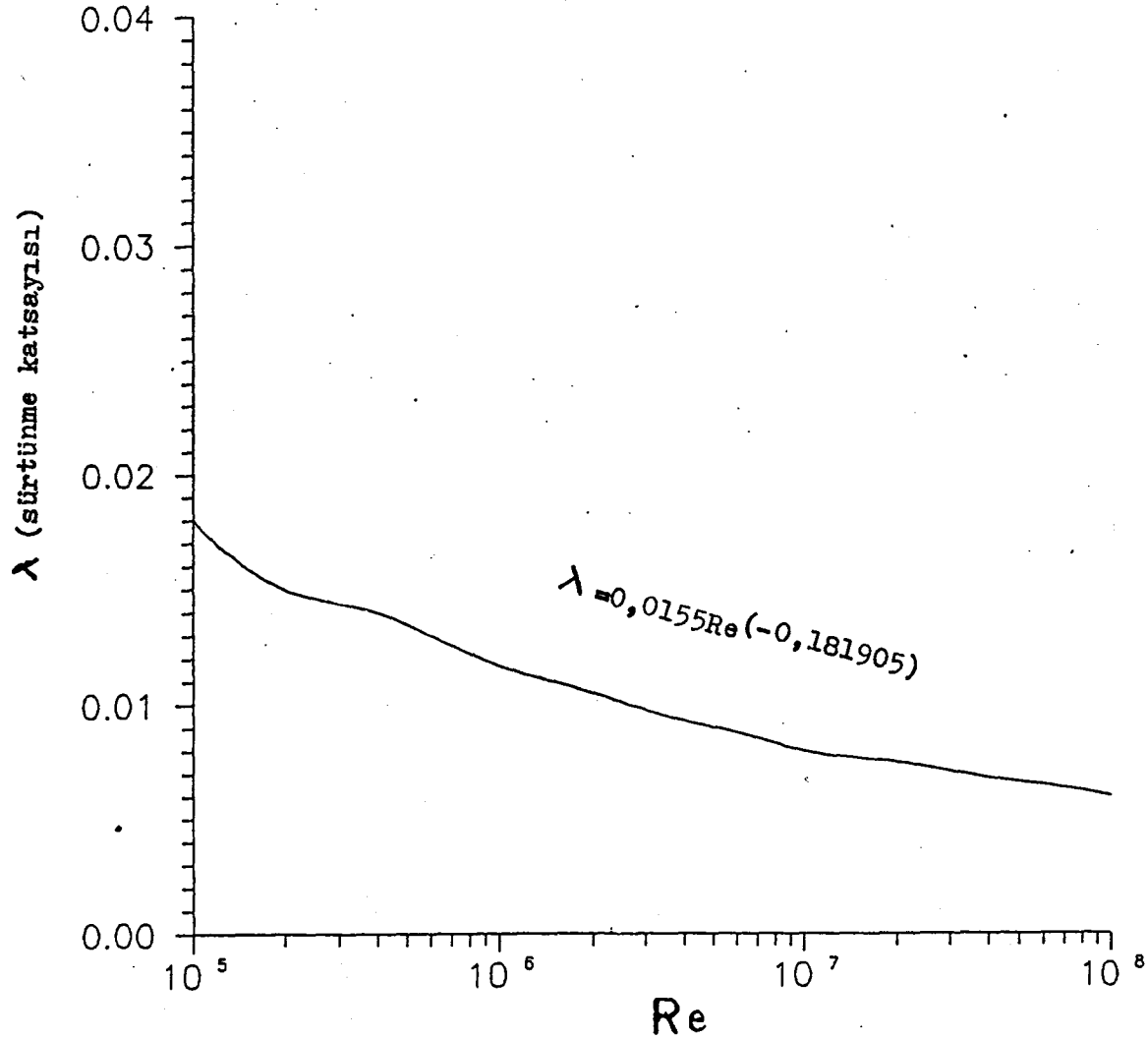
- LIEPMANN,H.W,ROSHKO,A.,Eighth Printing 1967,Elements of Gasdynamics,
California Institute of Technology.
- ERİM,M.Zeki, 1978 Gaz Dinamiği, İ.T.Ü. yayını
- ÖZKAN,N.,1985,Çeşitli Şekillerde Düzenlenmiş İki Silindir Etrafındaki
Akım Alanının İncelenmesi.,Doktora tezi.
- The Wind Tunnel Testing Techniques Subcommittee of The Fluid Dynamics
Panel, 1977, AGARD (Advisory Group for Aerospace Research and
Development)
- ÖZGÜR,C.,1983, Su Makinaları Dersleri , İ.T.Ü. kütüphanesi Sayı=1260
- Çev.:GENCELİ,OSMAN F,1984, İklimlendirme Esasları ,İ.T.Ü. Kütüphanesi
Sayı=1287

EK-1



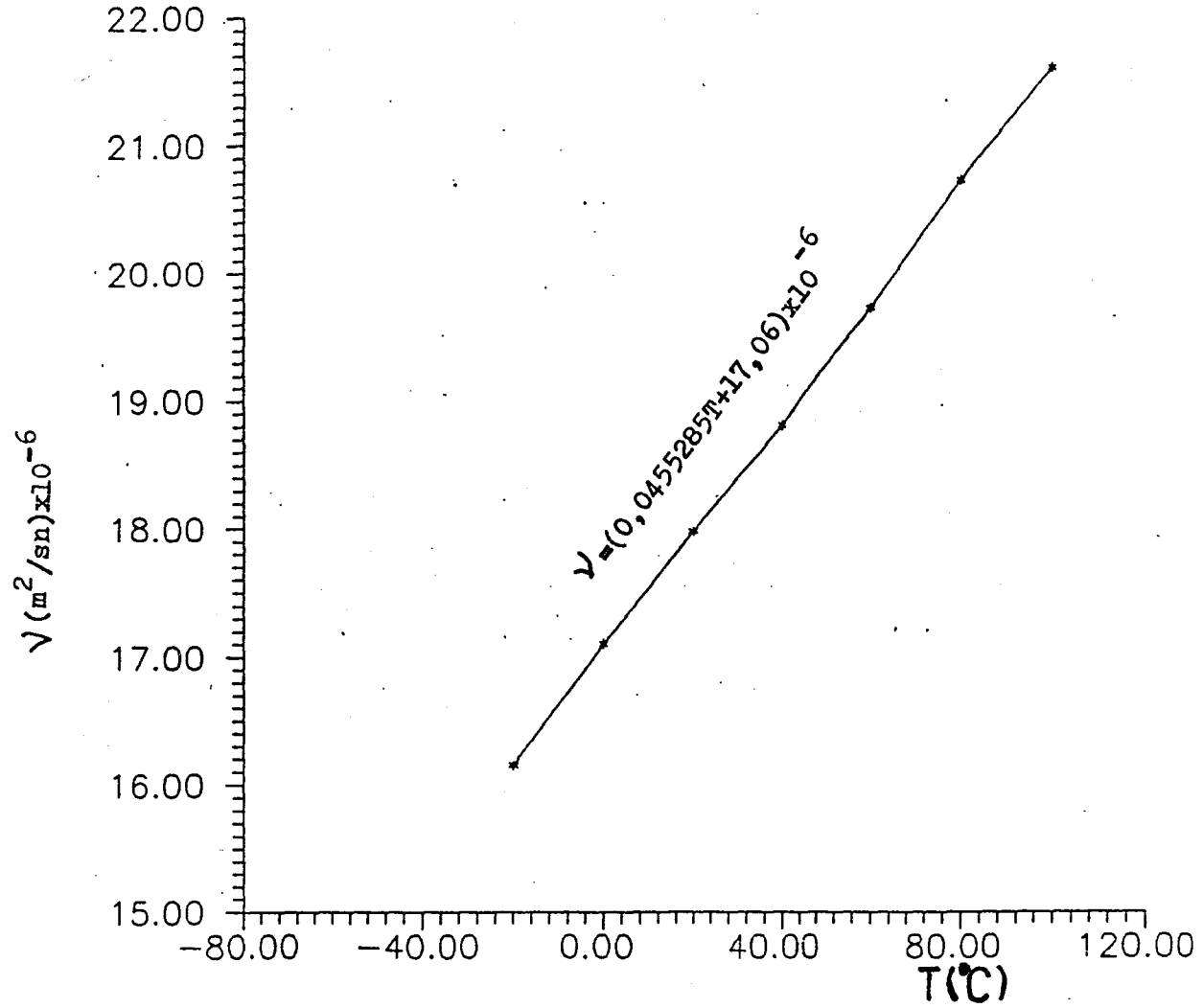
- Havanın yoğunluğunun sıcaklığı ile değişimi.

EK-2

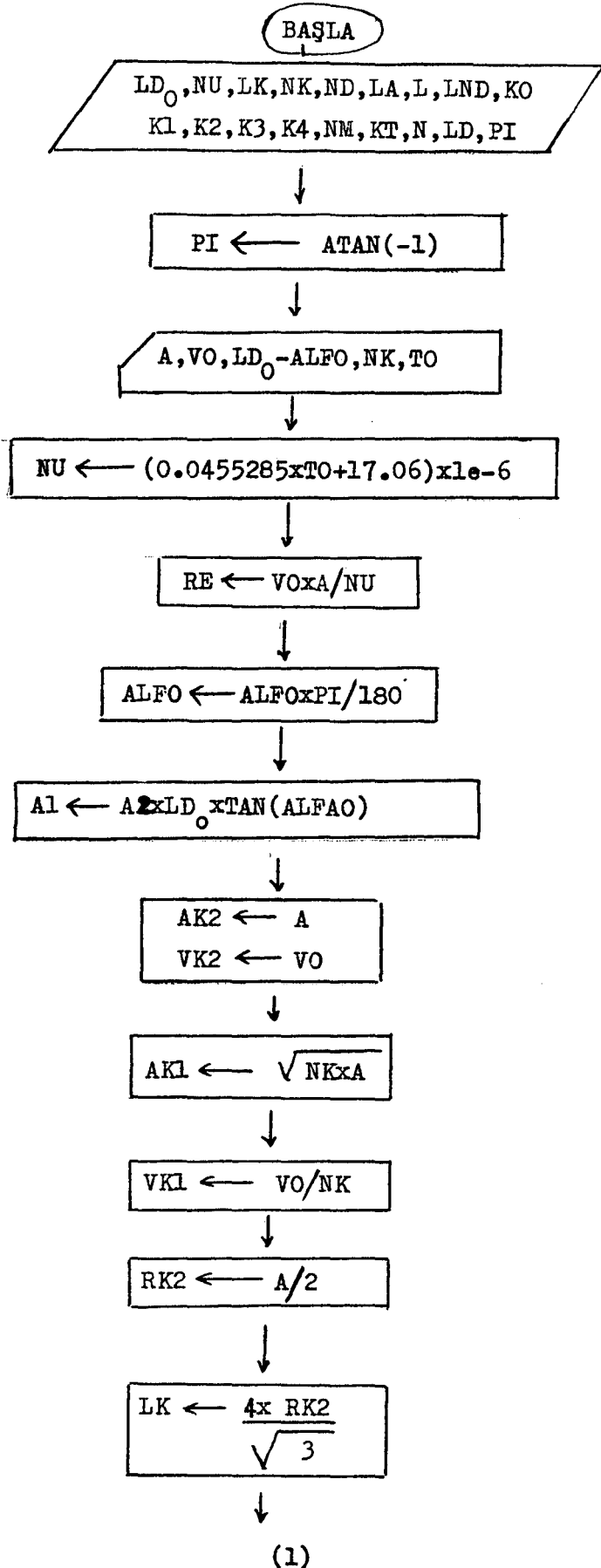


Re sayısına bağlı sürtünme katsayısının değişimi

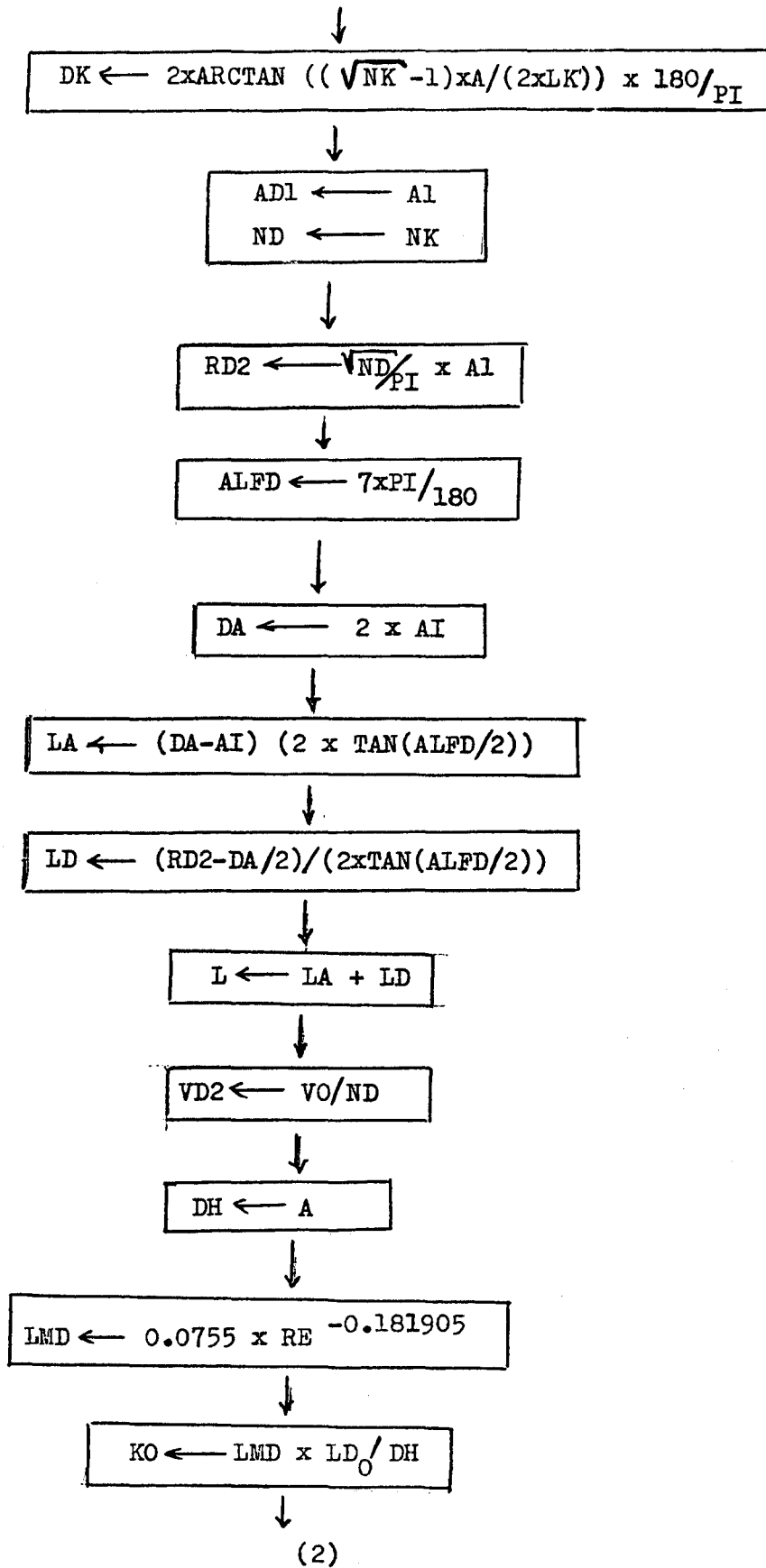
EK-3



Sıcaklığa bağlı olarak dinamik vizkozitenin değişimi



(1)



(2)

(2)

$$B \leftarrow (LMD / (8 \times \tan(ALFD/2)) + 0.6 \times \tan(ALFD/2))$$

$$G \leftarrow (1 - (A1^2 / AD2))^2 \times (A / A1)^4$$

$$K_1 \leftarrow B \times G$$

$$K_2 \leftarrow 0.32 + LMD + LK/DH$$

$$K \leftarrow 0.22$$

$$K_3 \leftarrow K \times (A / AK_1)^4$$

$$K_4 \leftarrow (A^2 / AD2)^2$$

$$KT \leftarrow KO + K_1 + K_2 + K_3 + K_4$$

$$RO \leftarrow (1.1878 \times TO^2 - 461.6 \times TO + 127748) \times 10^{-5}$$

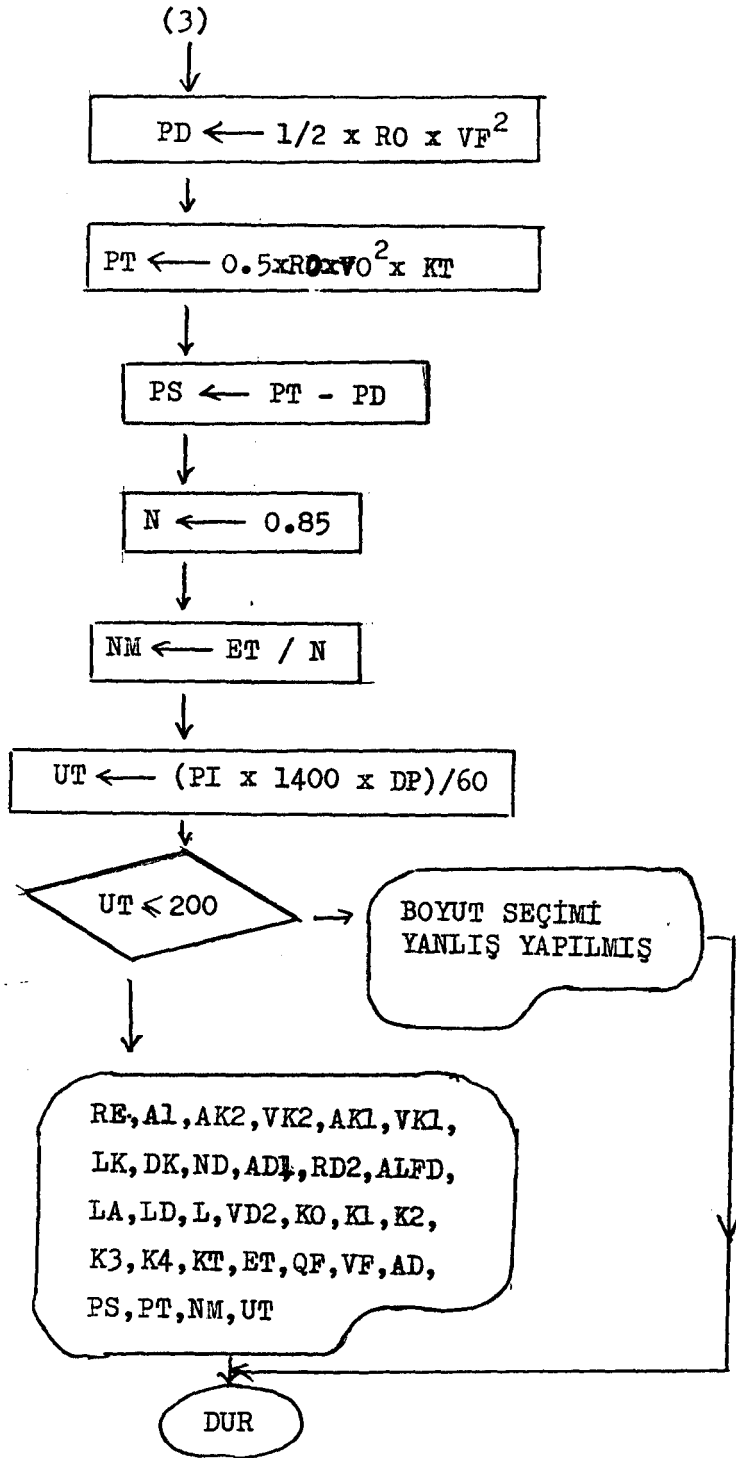
$$ET \leftarrow \frac{1}{2} \rho \times V_o^3 \times A^2 \times K_T \times 10^{-3}$$

$$ERT \leftarrow 1 / KT$$

$$QF \leftarrow A^2 \times VO$$

$$VF \leftarrow (A^2 / AD2) \times VO$$

(3)



```

C      RUZGAR TUNELI 'BOYUT DIZAYNI'
      REAL LDO,NU,LK,NK,ND,LA,L,LMD,KO,K1,K2,K,K3,K4,NM,KI,N,LD
      CHARACTER*10 INFILE
C      PRINT*, 'ENTER FILE NAME = '
      READ (*,111) INFILE
111    FORMAT(A10)
      OPEN(5,FILE=INFILE,STATUS='OLD')
      READ(5,*) A,VO,LDO,ALFO,NK,TO
      pi=4.*atan(1.)
C      REYNOLD SAYISI
      NU=(0.0455285*TO+17.06)*1E-6
      RE=VO*A/NU
C      DENEY ODASI CIKIS KESITI BUYUTU
      ALFA0=ALFO*PI/180
      A1=A+2*LDO*TAN(ALFA0)
C      KOLLEKTOR HESAPLARI
C      KOLLEKTOR CIKIS BUYUTU VE HIZI
      AK2=A
      VK2=VO
C      KOLLEKTOR GIRIS BUYUTU VE HIZI
      AK1=SQRT(NK)*A
      VK1=VO/NK
C      KOLLEKTOR DARALMA ACISI
      RK2=A/2
      LK=4*RK2/sqrt(3.)
      DK=2*ATAN((SQRT(NK)-1)*A/(2*LK))*(180/PI)
C      DIFFUZOR HESAPLARI
C      DIFFUZOR GENISLEME ORANI VE GIRIS BOYUT)
      AD1=A1
      ND=NK
C      DIFFUZOR CIKIS YARICAPI VE ALANI
      RD2=sqrt(ND/PI)*A1
      AD2=pi*RD2**2
C      DIFFUZOR GENISLEME ACISI OPTIMUM DEGERI 7 DERECELIK
      ALFD=7*PI/180
C      ADAPTOR BOYU 'LA'
      DA=sqrt(2.)*A1
      LA=(DA-A1)/(2*TAN(ALFD/2))
C      DIFFUZOR BOYU
      LD=(RD2-DA/2)/(TAN(ALFD/2))
C      ADAPTOR VE DIFFUZOR TOPLAM BOYU
      L=LA+LD
C      DIFFUZOR CIKIS HIZI
      VD2=VO/NU
C      DENEY ODASI KAYIP KATSAYISI
      DH=A
      LMD=0.154896*RE**(-0.181905)
      KO=LMD*LDO/DH
C      DIFFUZOR KAYIP KATSAYISI
      B=(LMD/(8*TAN(ALFD/2))+.6*ATAN(ALFD/2))
      G=(1-(A1**2/AD2)**2)*(A/A1)**4
      K1=B*G
C      KOLLEKTOR KAYIP KATSAYISI
      K2=.32*LMD*LK/DH
C      PETEK KAYBI

```

```

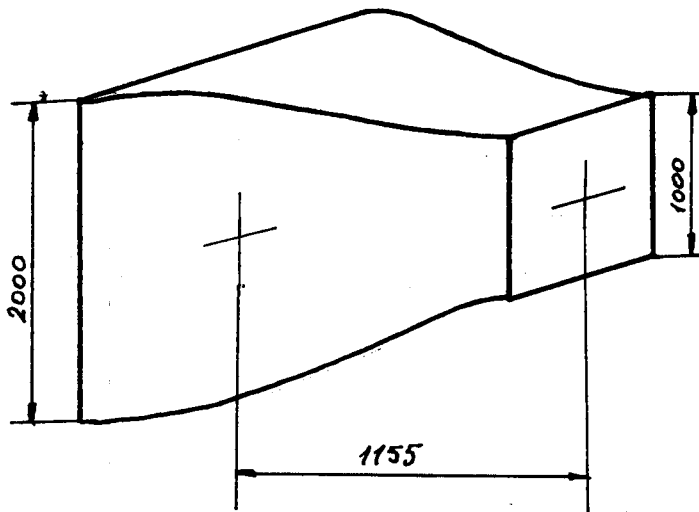
K=.22
K3=K*(A/AK1)**4
C   EGZOS KAYBI
K4=(A**2/AD2)**2
C   TOPLAM ENERJİ KAYBI
KT=K0+K1+K2+K3+K4
RO=(1.18/8*TO**2-461.6*TO+127748)*1E-5
ET=.5*RO*VO**3*A**2*KT*1E-3
C   FAN DEBİSİ VE EMİS HİZİ
QF=A**2*VO
VF=(A**2/AD2)*VO
C   FAN DİNAMİK BASINCI
PD=0.5*RO*VF**2/9.81
C   TOPLAM BASINÇ
PT=.5*RO*VO**2*KT/9.81
C   STATİK BASINÇ
PS=PT-PD
C   FANİ TAHRİK EDECEK MOTOR GÜCÜ
N=0.85
NM=ET/N
C   FAN PALALAKI AKASINDAKİ TEGETSEL HİZ
DP=2*RD2
UT=(PI*1400*DP)/60.
IF (UT.LE.200) GOTO 2
1  WRITE(6,*)'BOYUT SEÇİMİ YANLIŞ YAPILMIŞ'
   GO TO 40
C   ÇIKTI LAK
2  WRITE(6,10)RE
10  FORMAT(6X,'RE=',F10.0)
   WRITE(6,11)A1
11  FORMAT(1H0,5X,'DENEY ODASI ÇIKIŞ BOYUTU=',F5.3,' M')
   WRITE(6,12)AK2
12  FORMAT(1H0,5X,'KOLLEKTÖR ÇIKIŞ BOYUTU=',F5.3,' M')
   WRITE(6,13)VK2
13  FORMAT(1H0,5X,'KOLLEKTÖR ÇIKIŞ HİZİ=',F5.2,' M/SN')
   WRITE(6,14)AK1
14  FORMAT(1H0,5X,'KOLLEKTÖR GİRİŞ BOYUTU=',F5.3,' M')
   WRITE(6,15)VK1
15  FORMAT(1H0,5X,'KOLLEKTÖR GİRİŞ HİZİ=',F4.2,' M/SN')
   WRITE(6,16)LK
16  FORMAT(1H0,5X,'KOLLEKTÖR BOYU=',F5.3,' M')
   WRITE(6,17)DK
17  FORMAT(1H0,5X,'KOLLEKTÖR DARALMA AÇISI=',F5.2)
   WRITE(6,18)ND
18  FORMAT(1H0,5X,'DİFUZÖR GENİŞLEME ORANI=',F3.1)
   WRITE(6,19)AD1
19  FORMAT(1H0,5X,'DİFUZÖR GİRİŞ BOYUTU=',F5.3,' M')
   WRITE(6,20)RD2
20  FORMAT(1H0,5X,'DİFUZÖR ÇIKIŞ YARIÇAPı=',F5.3,' M')
   WRITE(6,21)ALFD
21  FORMAT(1H0,5X,'DİFUZÖR GENİŞLEME AÇISI=',F5.3)
   WRITE(6,22)LA
22  FORMAT(1H0,5X,'ADAPTÖR BOYU=',F6.3,' M')

```

```
WRITE(6,23)LD
FORMAT(1H0,5X,'DIFUZOR BUYU=',F6.3,' M')
WRITE(6,24)L
FORMAT(1H0,5X,'TOPLAM BUYU=',F6.3,' M')
WRITE(6,25)VD2
FORMAT(1H0,5X,'DIFUZOR CIKIS HIZI=',F6.2,' M/SN')
WRITE(6,26)K0
FORMAT(1H0,5X,'DENEY ODASI KAYIP KATSAYISI=',F6.4)
WRITE(6,27)K1
FORMAT(1H0,5X,'DIFUZOR KAYIP KATSAYISI=',F6.4)
WRITE(6,28)K2
FORMAT(1H0,5X,'KOLLEKTOR KAYIP KATSAYISI=',F6.4)
WRITE(6,29)K3
FORMAT(1H0,5X,'PETEK KAYIP KATSAYISI=',F6.4)
WRITE(6,30)K4
FORMAT(1H0,5X,'EGZUS KAYIP KATSAYISI=',F6.4)
WRITE(6,31)KT
FORMAT(1H0,5X,'TOPLAM ENERJİ KAYIP KATSAYISI=',F6.4)
WRITE(6,32)ET
FORMAT(1H0,5X,'TOPLAM ENERJİ KAYBI=',F8.4,' KW')
WRITE(6,33)QF
FORMAT(1H0,5X,'FAN DEBİSİ=',F7.3,' M /SN')
WRITE(6,34)VF
FORMAT(1H0,5X,'FAN EMİS HIZI=',F6.2,' M/SN')
WRITE(6,35)PD
FORMAT(1H0,5X,'DİNAMİK BASINC=',F7.3,' MMSS')
WRITE(6,36)PS
FORMAT(1H0,5X,'STATİK BASINC=',F7.3,' MMSS')
WRITE(6,37)PT
FORMAT(1H0,5X,'TOPLAM BASINC=',F7.3,' MMSS')
WRITE(6,38)NM
FORMAT(1H0,5X,'FANİ TAHRİK EDECEK MOTOR GUCU=',F8.4,' KW')
WRITE(6,39)UT
FORMAT(1H0,5X,'FAN PALALARI ARASINDAKİ TEGETSEL HIZ=',F7.3,' M/SN')
STOP
END
```

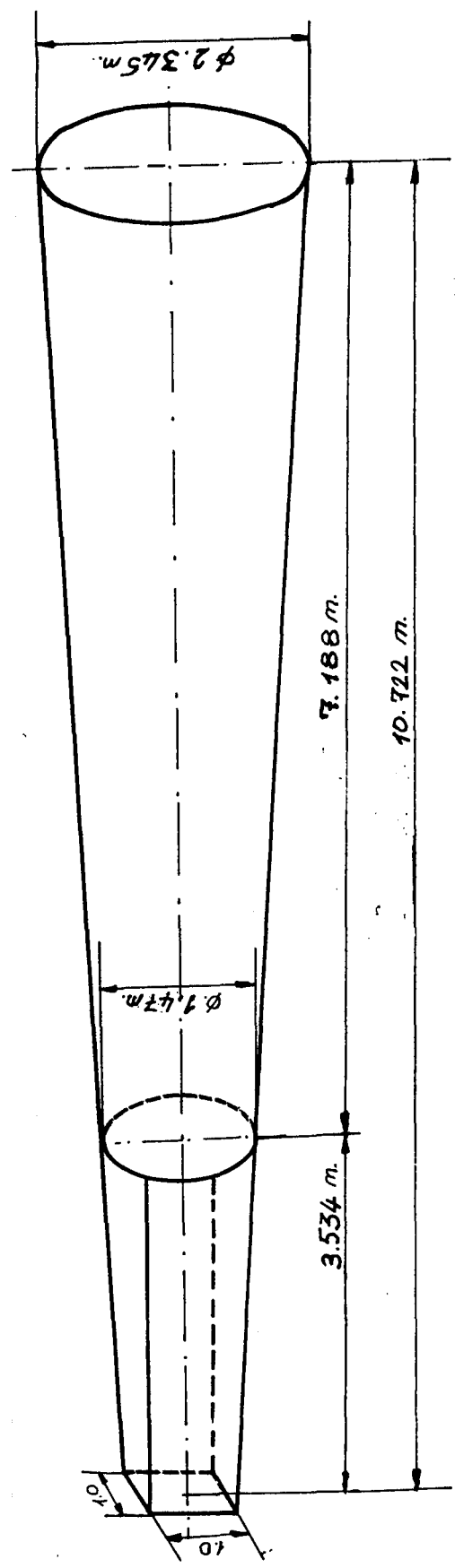

RE	= 1398248
DENEY ODASI ÇIKIŞ BOYUTU	= 1.044 M
KOLLEKTÖR ÇIKIŞ BOYUTU	= 1.000 M
KOLLEKTÖR ÇIKIŞ HIZI	= 25.00 M/SN
KOLLEKTÖR GİRİŞ BOYUTU	= 2.000 M
KOLLEKTÖR GİRİŞ HIZI	= 6.25 M/SN
KOLLEKTÖR BOYU	= 1.155 M
KOLLEKTÖR DARALMA AÇISI	= 46.83
DIFFÜZÖR GENİŞLEME ORANI	= 4.0
DIFFÜZÖR GİRİŞ BOYUTU	= 1.044 M
DIFFÜZÖR ÇIKIŞ YARICAPI	= 1.178 M
DIFFÜZÖR GENİŞLEME AÇISI	= .122
ADAPTOR BOYU	= 3.534 M
DIFFÜZÖR BOYU	= 7.188 M
TOPLAM BOY	= 10.722 M
DIFFÜZÖR ÇIKIŞ HIZI	= 6.25 M/SN
DENEY ODASI KAYIP KATSAYISI	= .0295
DIFFÜZÖR KAYIP KATSAYISI	= .0481
KOLLEKTÖR KAYIP KATSAYISI	= .0044
PETEK KAYIP KATSAYISI	= .0137
EGÜS KAYIP KATSAYISI	= .0527
TOPLAM ENERJİ KAYIP KATSAYISI	= .1484
TOPLAM ENERJİ KAYBI	= 1.3891 KW
FAN DEBİSİ	= 25.000 M /SN
FAN EMİS HIZI	= 5.74 M/SN
DİNAMİK BASINÇ	= 2.011 MMSS
STATİK BASINÇ	= 3.653 MMSS
TOPLAM BASINÇ	= 5.664 MMSS
FANİ TAHRİK EDECEK MOTOR GÜCÜ	= 1.6342 KW
FAN PALALARI ARASINDAKİ TEĞETSEL HIZ	= 1/2.647 M/SN

EK-6



KOLLEKTÖR

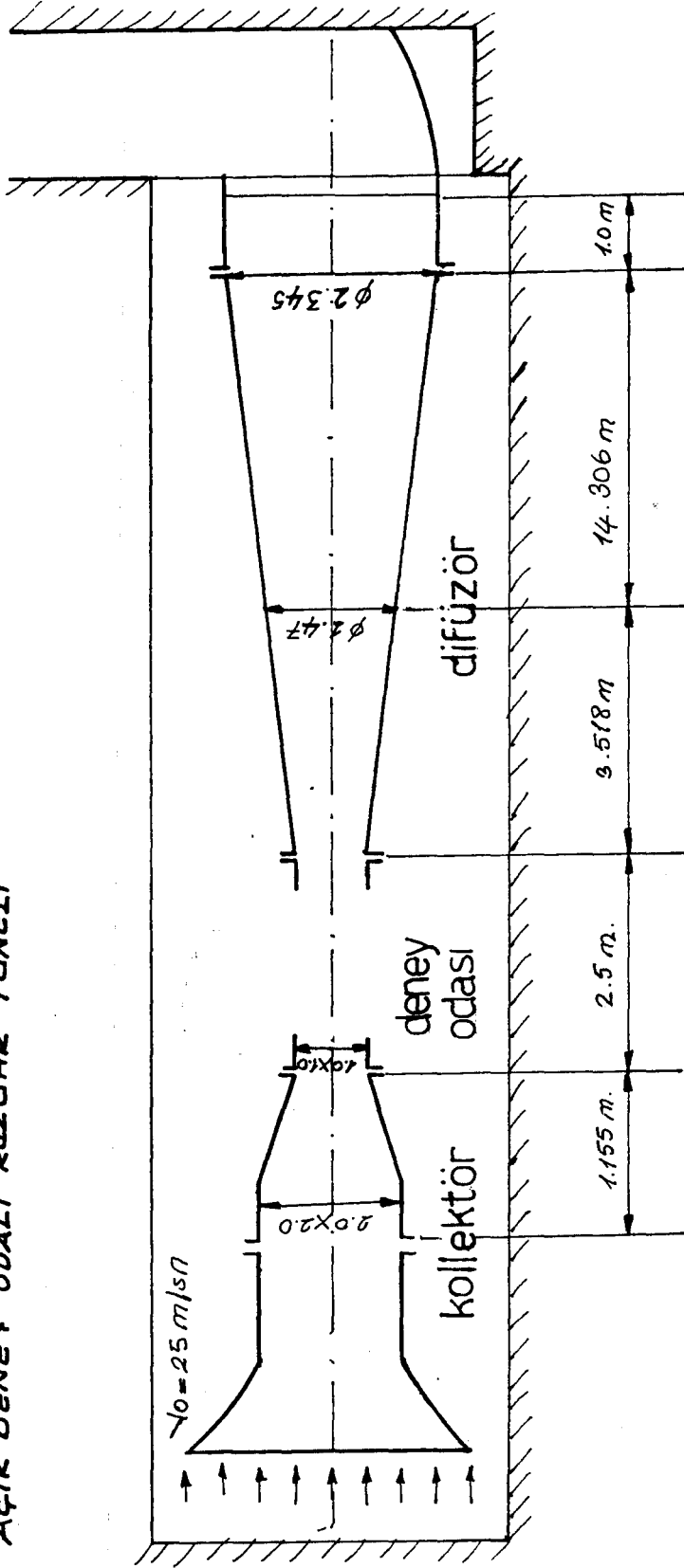
EK-7



"
DIFUZOR
"

EK-8

AÇIK DENEY ODALI RÜZGAR TUNELİ



EK-9

