

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kapalı su Tün. Mod. Den. Tekn.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa İçen

1990

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 372 1
Alındığı Yer : Y.T.Ü.
Tarih : 13.9.1995
Fatura : -
Fiyatı : 250.000 TL.
Ayniyat No : 1-15
Kayıt No : 51691
UDC :
Ek :

Y.T.Ü.
KÜTÜPHANE DOK. DAİ. BAŞKANLIĞI

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

D.B. No 50424

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu çalışmada, denizlerdeki gemilerin güvenliğini sağlayan, tecrübe-
lerinden, bilgilerinden istifade etmiş sayın hocam Y. Doç. Dr.
Ayhan Salıcı'ya teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım sü-
resinde her türlü destek ve yardımlarını gördüğüm bölümümüz a-
raştırma görevlileri sayın Yek. Müh. Ahmet Duran Akın ve sayın
Yek. Müh. Uğur Koçgöz'e de teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada, bu konuda çalışmaya isteyenler için fayda-
lı olacağını düşünüyorum.

KAPALI SU TÜNELLERİNDE

MODEL DENBY TEKNİKLERİ

İstanbul, Ekim 1990

Mustafa İŞÇEN

Gemi İnşaatı ve Mak. Müh.

Y. T. Ö.

KÜTÜPHANE DÖK. DAİ. BAŞKANLIĞI

Yüksek Lisans Tezi

Gemi İnşaatı ve Mak. Müh. Mustafa İŞÇEN



İstanbul 1990

TEŞEKKÜR

Bu çalışma sırasında, değerli katkılarını esirgemeyen, tecrübelerinden, bilgilerinden istifade ettiğim sayın hocam **Y.Doç.Dr. Aydın Şalcı**'ya teşekkürü borç bilirim. Ayrıca, çalışmalarım sırasında her türlü destek ve yardımlarını gördüğüm bölümümüz araştırma görevlileri sayın **Yük.Müh. Ahmet Dursun Alkan** ve sayın **Yük.Müh. Uğur Kesgin**'e de teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın, bu konuda çalışma yapmak isteyenler için faydalı olmasını temenni ederim.

İstanbul, Ekim 1990

Mustafa iŞCEN

Gemi inşaatı ve Mak.Müh.

SEM BOLLER

Sembol	Anlamı	Birimi	Boyutu
--------	--------	--------	--------

α	Hücum açısı	[°]	1
D	Pervane çapı	m	L
h	Pervane şaft ekseninin serbest su yüzeyinden uzaklığı	m	L
σ	Kavitasyon sayısı	-	1
P_o	Ölçme kesiti ortasındaki mutlak basınç	kg/m ²	ML ¹ T ⁻²
e	Suyun buharlaşma basıncı	kg/m ²	ML ¹ T ⁻²
ρ	Akışkanın kitlesel yoğunluğu	kg/m ³	ML ⁻³
V_o	Ölçme kesitinde suyun giriş hızı	m/s	L/T ¹
J	İlerleme sayısı	-	1
k_t	İtme katsayısı	-	1
k_m	Moment katsayısı	-	1
n	Pervane devri	1/s	T ⁻¹
T	Pervane itmesi	kg	MLT ⁻²
Q	Pervane dönme momenti	kg.m	ML ² T ⁻²
Fr	Froude sayısı	-	1
Re	Reynold sayısı	-	1

2.9. Stroboskop ve kamera

2.10. Cıvalı manometreler

2.11. Sıfırlı bağlantı elemanları

2.12. Su deposu

2.13. Kumanda masası

3. Ölçü alın elemanları

3.1. İmpeller devir sayısı

3.2. Model pervane devir sayısı

3.3. İtme ve moment

3.4. Manometre Vakuumetre

3.5. Basınç ve hız ölçümleri için cıvalı manometreler

3.6. Termistör

İÇİNDEKİLER:

Özet

Yabancı dilde özet

1.Giriş	1
1.1.Tarihi gelişim	1
1.2.Kapalı su tünelleri ile açık su kanalları arasındaki farklar	2
2.Kapalı su tüneli elemanları	4
2.1.Ana gövde	4
2.2.Birinci ölçme kesiti	8
2.3.ikinci ölçme kesiti	9
2.4.Tünel suyuna hareket veren pervane (impeller)	12
2.5.Model pervaneyi döndüren pervane dinamometresi	12
2.5.1.Pervane şaft eksenli	12
2.6.Vakum pompası	14
2.7.Santrifüj pompa ve filtre	15
2.8.su içindeki erimiş hava miktarını ölçme cihazı	16
2.8.1.ölçme cihazının hazırlanması	16
2.8.2.ölçümün yapılması	19
2.8.3.ölçümün değerlendirilmesi	20
2.9.Stroboskop ve kamera	20
2.10.Civalı manometreler	21
2.11.Şeffaf bağlantı elemanları	22
2.12.Su deposu	22
2.13.Kumanda masası	22
3.Ölçü alma elemanları	24
3.1.impeller devir sayısı	24
3.2.Model pervane devir sayısı	24
3.3.itme ve moment	24
3.4.Manometre-Vakummetre	25
3.5.Basınç ve hız ölçümleri için civalı manometreler	25
3.6.Termometre	28

4. Sistemin hidrodinamigi	29
4.1. Civa ve su ile doldurulmuş diferansiyel basınç manometresi ile ölçümler	29
4.2. Ölçme kesiti ortasında mutlak basınç hesabı	30
4.3. Nozul diferansiyel basıncından akış hızı hesabı	31
4.4. Kalibrasyon faktörü	33
4.5. Prandtl tüpleri ile su sıkış hızının hesabı	34
4.6. Kavitasyon sayısının hesabı	35
4.7. Açık-su pervane deneyleri formülasyonu	36
5. Deney türleri	37
5.1. Dönel simetrik bir sualtı cisminde akım görünürlüğü deneyleri	37
5.2. Üç boyutlu bir cismin altı bileşenli dinamometre ile ölçümleri	39
5.2.1. Ölçme prensibi	39
5.2.2. Elektrikli transducerler	41
5.2.3. Hücüm açısının hesaplanması	42
5.2.4. Kalibrasyon	42
5.3. Pervane deneyleri	46
5.3.1. Açık-su pervane deneyi	46
5.3.2. Kavitasyon deneyi	54
5.4. Pervaneli model (sevk) deneyi	62
5.5. Viskoz direnç deneyi	65
5.6. İz alanı ölçme deneyi	66
5.6.1. Pitot tüpleri ile iz katsayısının tayini	68
5.6.2. Döner kanatlar ile iz katsayısının ölçümü	72
5.7. Dalmış cisimlerin deneyi	72
6. Kapalı su tünellerindeki etkileşimler	73
6.1. Blokağ	73
6.1.1. Tanım	73
6.1.2. Blokağ etkisinin hesaplanması	74
6.2. Ölçek etkisi	76

ÖZET

Akışkanlar mekanığı, doğal ve teknolojik bir olayın incelenmesinde önemli bir rol oynar. Bir akışkan taneçığının hareketini, matematiksel olarak modellemek, formüle etmek genellikle mümkündür. Ancak, bir çok problemde, sonuçta elde edilen diferansiyel denklem nonlineer olabilir. Bu durumda, diferansiyel denklemin bazı terimleri ihmal edilebilir veya tahmini olarak kabul edilebilirse, yalnızca bir tek gerçek çözüm bulunabilir. Bunun için akışkanlar mekanığı araştırmacıları, genellikle deneysel veya nümerik çözümleri çokça kullanırlar. Rüzgar tünelleri, kapalı su tünelleri ve çekme tankları, değişik hidrodinamik ve aerodinamik problemlerin modellenmesinde standart laboratuvar olarak kullanılırlar.

Bu çalışma, 4 ana bölümden meydana gelmiştir. Birinci bölümde, kapalı su tüneli elemanları detaylı olarak açıklanmıştır. İkinci bölümde, deney esnasında kullanılan ölçü alma elemanlarının tanıtılması ve ölçme prensiplerinin anlatılması yer almaktadır. Üçüncü bölümde, kapalı su tünellerinde yapılan deney türleri ve bu deneylerin nasıl yapıldığı izah edilmiştir. Son bölümde de, kapalı su tünellerinde deney esnasında meydana gelen etkileşimler üzerinde durulmuştur.

This study has four main sections. In the first section, closed water tunnel elements are explained in detail. In the second section, the measuring elements used during the experiment are introduced and the measuring principles are explained. In the third section, the types of experiments conducted in closed water tunnels and how these experiments are conducted are explained. In the last section, the interactions occurring during the experiment in closed water tunnels are discussed.

SUMMARY

Fluid mechanics plays an important role in a variety of natural and technological phenomena. It is usually possible to formulate a mathematical model to describe a particular flow field. However, in most cases, the resulting partial differential equations are nonlinear, and an exact solution can only be derived if some of the terms in the equations can be neglected or approximated. Accordingly, fluid mechanics researchers rely heavily on experimental and numerical solutions. Wind tunnels, closed-water tunnels and towing tanks have become standard laboratory tools for modelling a variety of aerodynamic and hydrodynamic flow problems.

This study has four main sections. In the first section, components of closed-water tunnels are explained in detail. Measuring elements which are used during the experiments are described and their measuring principle are stated in section two. Afterwards, the types of experiments of closed-water tunnels and methods for doing experiments in closed-water tunnels in section 3. Finally in the last section, the interactions during the experiments in closed-water tunnels are described.

I wish this study to give knowledges to researchers who are study in this field.

1.1. Tarihi gelişim :

İlk büyük sirkülasyon kanalı, 1935'de H. Wagner'ın vücut tekniği enstitüsündeki deneyleri ile kuruldu [1]. Bu kanal 3 m. uzunluğunda, 0.1 m. genişliğinde, 1.05 m. yüksekliğinde ve 1.3 m. derinliğindedir. Bu kanal, su ile çalışır; amaçlandığından itibaren suya daldırılabilir pervane motoruna sahiptir.

1.GİRİŞ

Gemi inşaatı ile ilgili model deneyleri,uzun süredir çekme havuzlarında ve akım kanallarında yapılmaktadır. Deney havuzunda model genellikle sakin su içinde çekilmekte, akım kanallarında ise sabit model etrafında, su hareket etmektedir. ilkinde yalnız gemi modeli,açık-su pervanesi,pervaneli gemi modeli deneyleri, ikincisinde ise kavitasyon deneyleri yapılabilmektedir.

Modelin veya suyun hareket etmesi arasında bir fark yoktur. Ancak, iyi gözleme imkanları ve yeterli ölçme zamanı bakımından, sabit model-hareketli akışkan yöntemi daha kullanışlıdır. Ölçme kesiti, sıg su ve kanal etkisini ortadan kaldıracak kadar büyük olmalıdır. Akım kanalının boyu,girişteki akım bozulmaları ve çıkıştaki etkilerin model etrafındaki akımı bozmayacak kadar uzun olmalıdır. Bununla beraber, kanal ne kadar uzun olursa, ölçü kesitindeki hız dağılımının üniformlugunu sağlamak da o kadar zorlaşmaktadır. Aynı şekilde,hız dağılımının kanal boyunca zamanla değişmesi de kanal boyunu sınırlayan bir faktördür. Su yapıları ile ilgili deney tekniğinden bilindiği gibi,sabit bir yükseklikten bırakılan suyun meydana getirdiği akım ile, yeterli ölçüm uzunluğu ve zamana bağlı olmayan hız dağılımları elde edilebilmektedir. Fakat bu sistemler pek ekonomik olmamaktadır, çünkü suyun kinetik enerjisi kaybolmaktadır. Havacıların kullandığı hava kanallarında bu sakınca yoktur. Fakat bu sistemlerde de ölçüm uzunluğu kısadır. Gemi ile ilgili deneyler için bu iki metod arasında bir metod düşünülebilir.

1.1.Tarihi gelişim :

İlk büyük sirkülasyon kanalı 1935'de H.Wagner'in uçuş tekniği enstitüsündeki tavsiyeleri ile kuruldu [1]. Bu kanal 3 m. uzunluğunda açık ölçme kesitinde, 1.80 m. genişlik ve 1.2 m. derinlikteydi. Hem su, hem de hava ile çalışması amaçlandığından iki adet hatvesi kontrol edilebilir pervane motoruna sahipti.

Bunlar aynı eksen üzerinde çalışan tandem pervane tipinde idi. Ayrıca bir Ward-Leonard aygıtı üzerinden 350 KW güçle, 25~200 d/d ile 200~1000 d/d da tahrik ediliyorlardı. Hava ile çalışması halinde, ölçü kesitinin yarıkli kısmında emici bir pompa bulunuyordu. Bunun dışında yapısı tamamen diğer hava kanallarına benzerdi. 1940'dan sonra bu kanalda, G. Weinblum'un öncülüğünde ayaklı teknelerin hidrofoillerinin geliştirilmesi çalışması yapıldı.

Savaş yıllarında ayrıca, denizaltıların üst binalarının ve periskoplarının rüzgar dirençleri ölçülmüştü [2]. Ancak, ölçme kesitinin kısa olması model uzunluğunu kısıtlıyor ve çoğu kez, tüm gemi modelinin birlikte incelenmesini imkansızlaştırıyordu. Su hızı arttıkça, su yüzeyinde oluşan eğim, trimli modellerin kullanılmasını gerekli kılıyordu. Göttingen aerodinamik deney merkezinde 1939'da daha küçük bir su kanalı hizmete kondu [3]. Viyana gemi inşaatı deney merkezinde savaş yılları sırasında daha büyük bir sirkülasyon kanalı projelendirilmesine rağmen inşaatına geçilemedi. Özellikle Amerika'da inşa edilen sirkülasyon kanalları, kapalı ölçme kesiti içindeki basınç değişiminden yararlanıyorlardı [4],[5].

İlk inşa edilen kanalın parçalarının da kullanılmasıyla 1955'de daha büyük bir sirkülasyon kanalı kuruldu ve 1957'de hizmete girdi. Burada mevcut köşe dönüşlerinin ve suyun rejime girdiği kısmın az olmasına rağmen, ölçme kesiti boyunca ve pervanenin nozulu boyunca yeterli bir artış sağlanabilmiştir.

1.2. Kapalı Su Tünelleri İle Açık Su Kanalları Arasındaki Farklar:

Kapalı su tünellerinde atmosferik etkiler yoktur. Deniz seviyesindeki atmosferik basıncın benzerlik yasalarına göre karşıt gelen değeri alınır. Açık su kanallarında enerji akışındaki kayıplar nedeniyle, serbest su seviyesi tam olarak yatay değildir. Bundan dolayı model bu durumu nötürleyecek şekilde trimli

bağlanır.

Açık su kanalında ölçme kesiti içinde hava kabarcıklarının bulunması olasılığı daha fazladır. Çıkış kesiti civarında hareketli kanatçık (flap) kullanılarak sistemin içerisine hava emişi önlenmeye çalışılır. Kapalı su tüneline ise, deney öncesi sistemin içinde kalmış hava, hava ayırma kabına hapsedilir.

Kapalı su tünellerinde su deneyler yapılabilir:

- Açık su pervane deneyi,
- Kavitasyon deneyi,
- Dalgıç cisimlerin deneyi (hidrofoil, dümen, denizaltı, viskoz direnç deneyi vs. b.),
- Pervaneli model-gavh deneyi,
- Akım görünürlüğü deneyi,
- iz deneyi.

Tünel duvarları ve vana kılavuzları genellikle 217 Gr. 40 Ni alaşımı paslanmaz çelikten yapılmaktadır. Bu tara konstrüksiyon, hem bilimsel araştırmalar yönünden ve hem de bakım tutum kolaylığı açısından tercih edilmiştir. Su geçirmez dikeyleri de paslanmaz çelik kaplı ile yapılmıştır. Tünel duvarları üzerindeki girder tabakaları ve diğer parçalar genellikle çelikten yapılmıştır. Bu tür tünel suya ile teması ile algenen reaksiyona girmeler tünel iç yüzeyi paslanmaz çelikten yapılmış olup olmazdır.

Tünel girder ve diğer parçaların özellikleri:

- Bir bronz kapaklar ve paslanmaz çelikten yapılmış kapaklar saftı (1).
- Pirinden tünel kalıptan (2) ve diğer parçaları,
- ölçme kesitinde bulunan tabakalar (3) ve diğer parçalar pan-
- dara,

(1) tünel suyu ile temas eden diğer parçalar "paslanmaz" çelikten yapılmıştır.

2. KAPALI SU TÜNELİ ELEMANLARI

2.1. Ana Gövde :

Kapalı su tünelleri, özellikle kavitasyon deneyleri için geliştirilmiş olduğundan, bu tünellere "Kavitasyon Tüneli" de denir. Kapalı su tünellerinde şu deneyler yapılabilir:

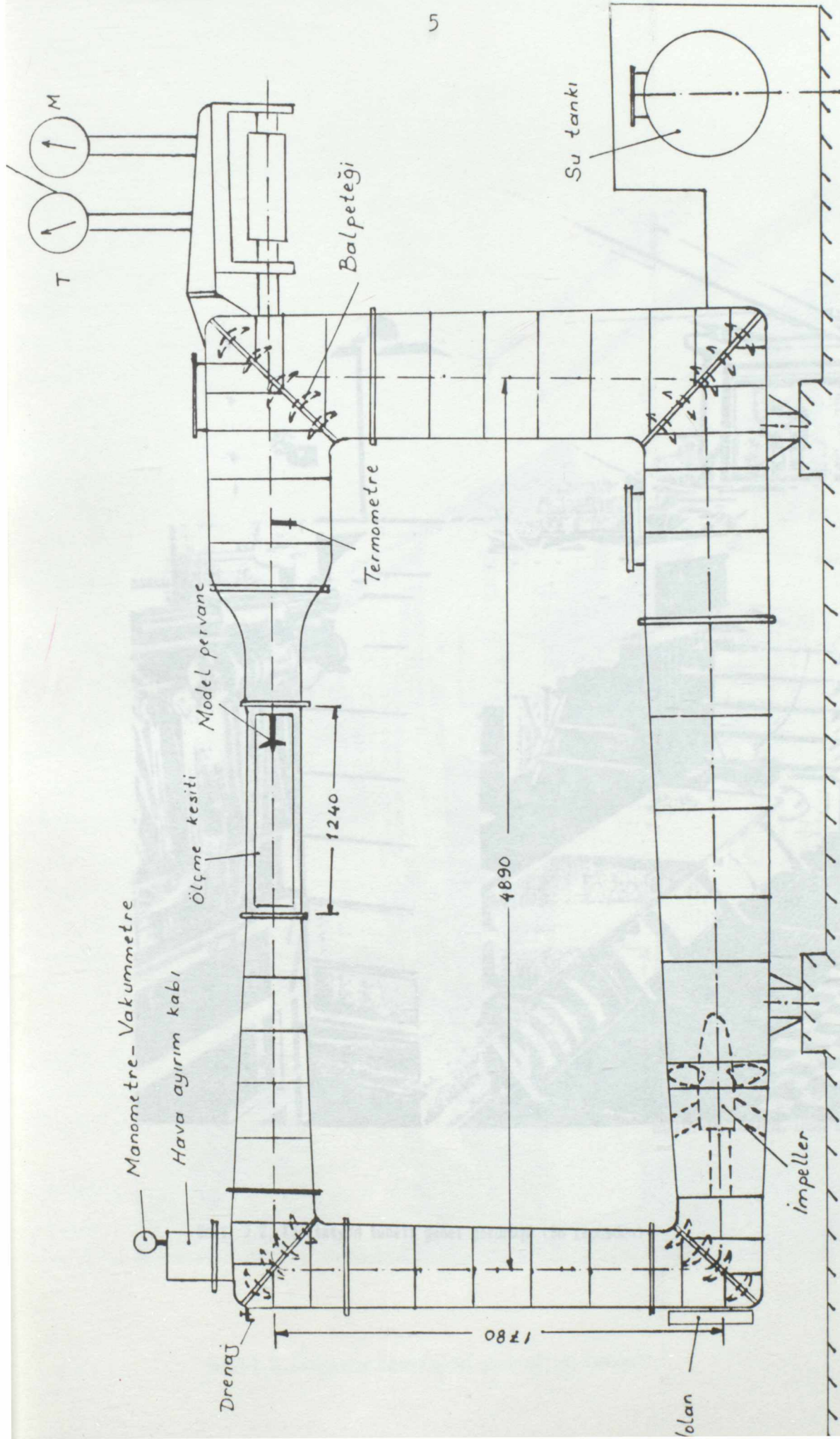
- Açık-su pervane deneyi,
- Kavitasyon deneyi,
- Dalmış cisimlerin deneyi (hidrofoil, dümen, denizaltı, viskoz direnç deneyi vs.),
- Pervaneli model-sevk deneyi,
- Akım görünürlüğü deneyi,
- iz deneyi.

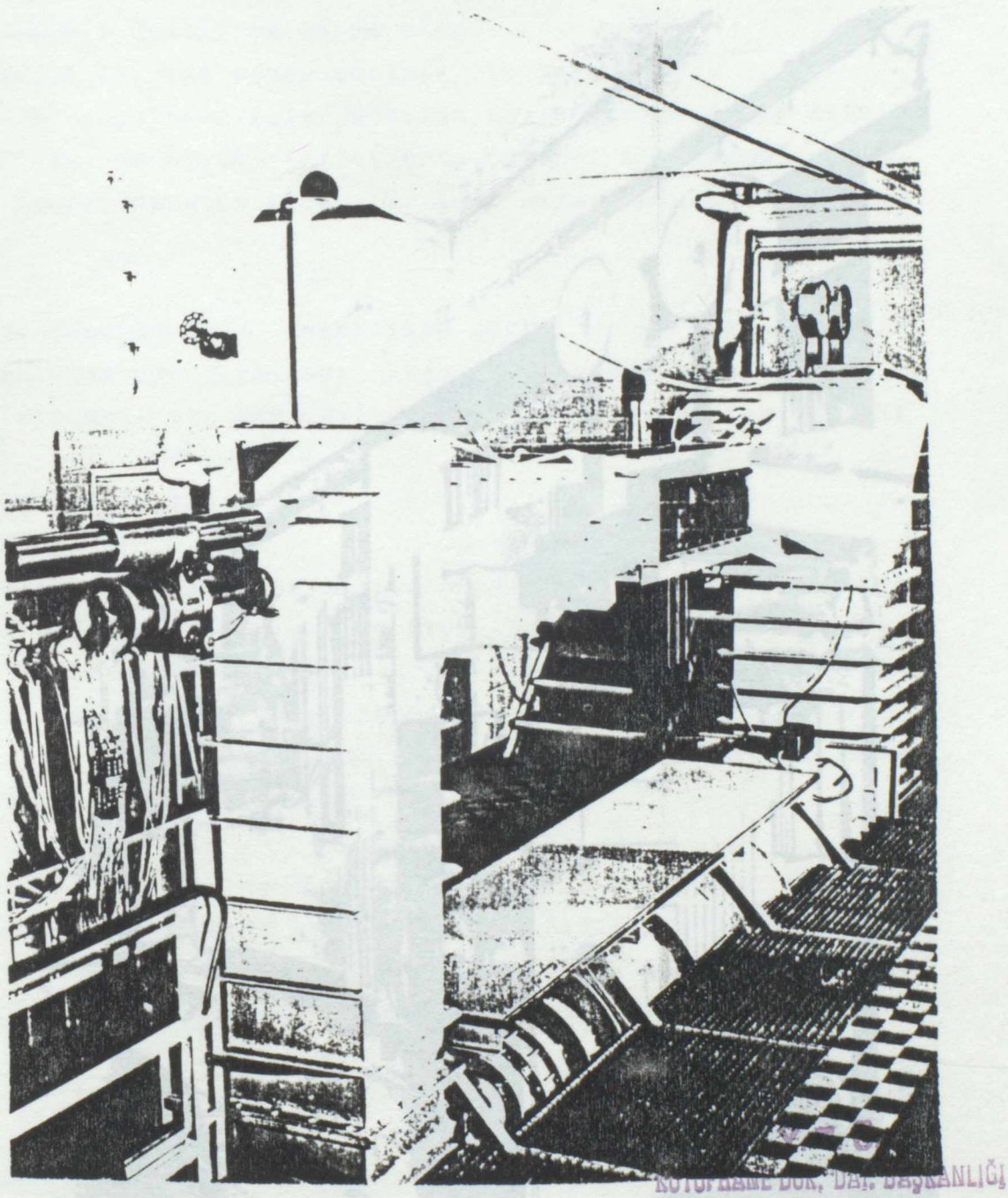
Tünel duvarları ve vana kılavuzları genellikle, %17 Cr, %9 Ni alaşımlı paslanmaz çelikten yapılmaktadır. Bu tarz konstrüksiyon, hem bilimsel araştırmalar yönünden ve hem de bakım tutum kolaylığı açısından tercih edilmiştir. Köşe kaynak dikişleri de paslanmaz çelik kaynağı ile yapılmıştır. Tünel duvarları üzerindeki görder takviyeleri ve diğer parçalar yumuşak çelikten yapılmıştır. Bunlar, tünel suyu ile herhangi bir kimyasal reaksiyona girmezler. Tünel iç yüzeyi, paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, boyasızdır.

Tünel gövdesi aşağıdaki parçalardan oluşur:

- Bir bronz impeller ve paslanmaz çelikten yapılmış impeller shaftı (1),
- Pirinçten imal balpeteği (akım doğrultucu, difüzör),
- Ölçme kesitinde sökülüp takılabilen dört adet pleksiglas pencere,

(1) Bundan böyle, tünel suyunu harekete geçiren pervane "impeller" olarak anılacaktır.



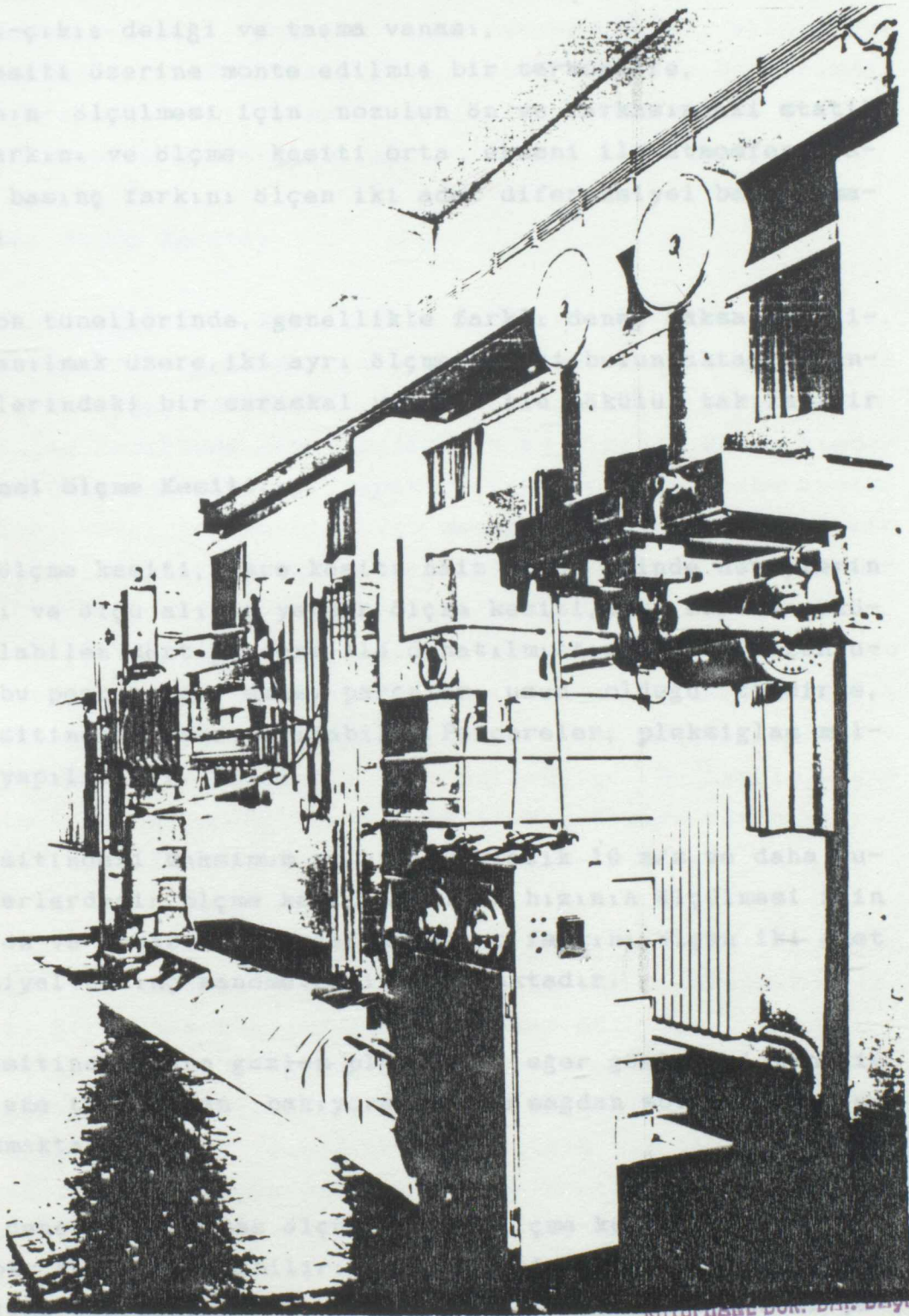


Şekil 2.2, Kavitasyon tüneli genel görünüşü (ön cepheden)

Kavitaayon tualiorinde, gacallik: 1991-1992
cin kullanicilar, 1991-1992
lar, uzerlerindeki bir cizimdir.



ROTORHISLE DOK. DALL. BR.



Şekil 2.3 Kavitasyon tüneli genel görünüşü (ön cepheden)

KÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI

- AC motor tahrikli, vakum pompası,
- Basınç düzenleme sistemi,
- Su giriş-çıkış deliği ve taşıma vanası,
- ölçme kesiti üzerine monte edilmiş bir termometre,
- Su hızının ölçülmesi için nozulun ön ve arkasındaki statik basınç farkını ve ölçme kesiti orta eksenini ile atmosfer arasındaki basınç farkını ölçen iki adet diferansiyel basınç manometresi.

Kavitasyon tünellerinde, genellikle farklı deney maksatları için kullanılmak üzere, iki ayrı ölçme kesiti bulunmaktadır. Bunlar, üzerlerindeki bir caraskal yardımı ile sökölüp takılabilir

2.2. Birinci Ölçme Kesiti:

Birinci ölçme kesiti, kare kesiti haiz olup, içinde deneylerin yapıldığı ve ölçü alınan yerdir. Ölçme kesiti, kısa sürede sökölüp takılabilen dört pencere ile donatılmıştır. 1.1 m. uzunluğundaki bu pencereler, deney parçaları uzun olduğu takdirde, ölçme kesitinden dışarı alınabilir. Pencereler, pleksiglas malzemedan yapılmıştır.

Ölçme kesitindeki maksimum su hızı, yaklaşık 10 m/s ve daha yukarı değerlerdedir. Ölçme kesitindeki su hızının ölçülmesi için nozulun ön ve arkasındaki statik basınç farkını ölçen iki adet diferansiyel basınç manometresi bulunmaktadır.

Ölçme kesitindeki ana gözlem platformu, eğer gözleyici tünelin ana gözleme tarafından bakıyorsa, akım sağdan sola olacak şekilde akmaktadır.

Pervane deneylerinde ses ölçümü için, ölçme kesitinde pencere yerine bir kutu bağlanabilir. Bu kutuda, bir parabolik reflektörün odasına ayarlanmış bir mikrofon vardır. Kutu, paslanmaz çel-

likten imal edilmiştir.

Profil deneyleri için, pervane şaft eksenini dışarı alınır ve profil mesnetleri şaft eksenine gibi kabul edilir. Bu durumda, pervane dinamometresi çıkarılabilir ve yerine 3 veya 6 bileşenli dinamometre kullanılabilir.

2.3. ikinci Ölçme Kesiti:

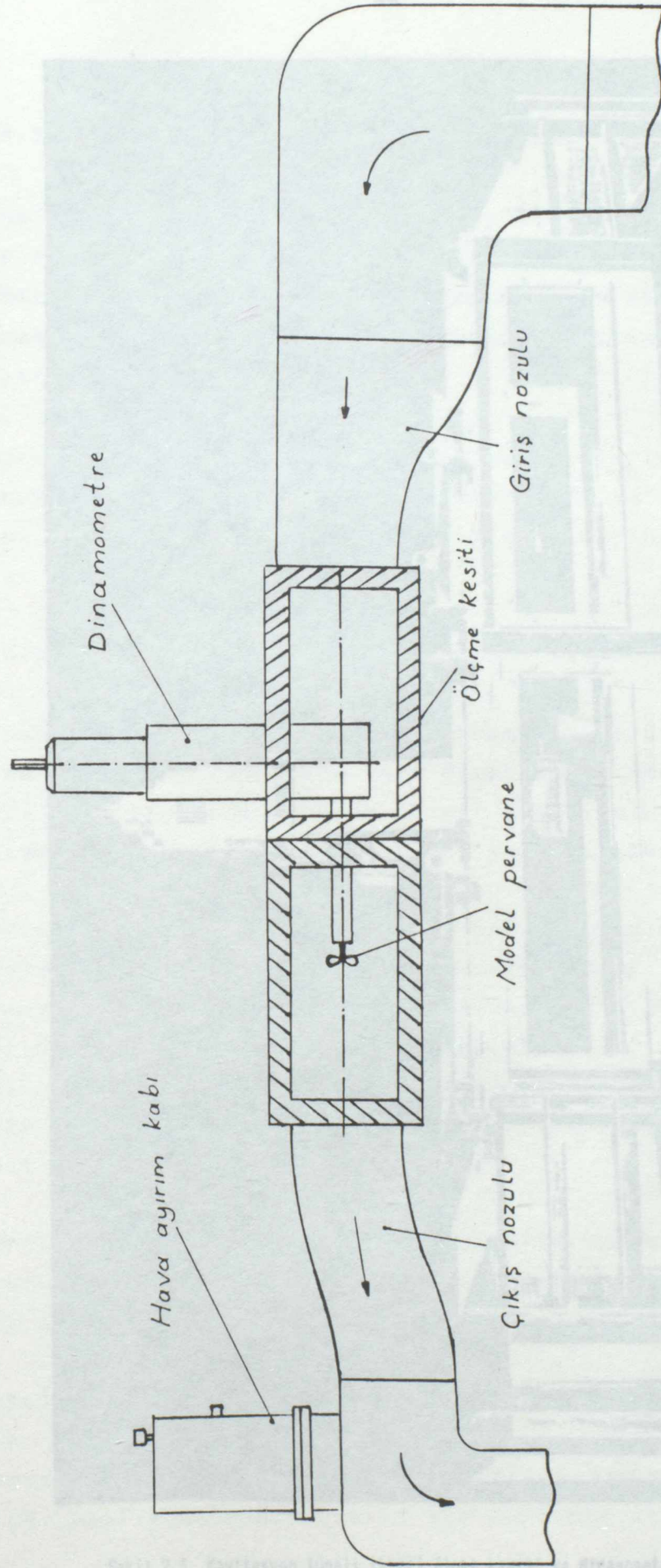
ikinci ölçme kesiti de kare kesite sahiptir. Bu ölçme kesiti, esas olarak, iz bölgesinde çalışan gemi pervane modellerinin deneyi için dizayn edilmiştir. Paslanmaz çelikten yapılmıştır. ikinci ölçme kesitinde gemi modelinin su altında kalan kısmının monte edilmesi için bir kapak mevcuttur. Kapak üzerindeki açıklıklar, model pervanesinin hız, moment ve itmesini ölçen bir dinamometreyi ve stroboskobu tutacak şekilde dizayn edilmiştir.

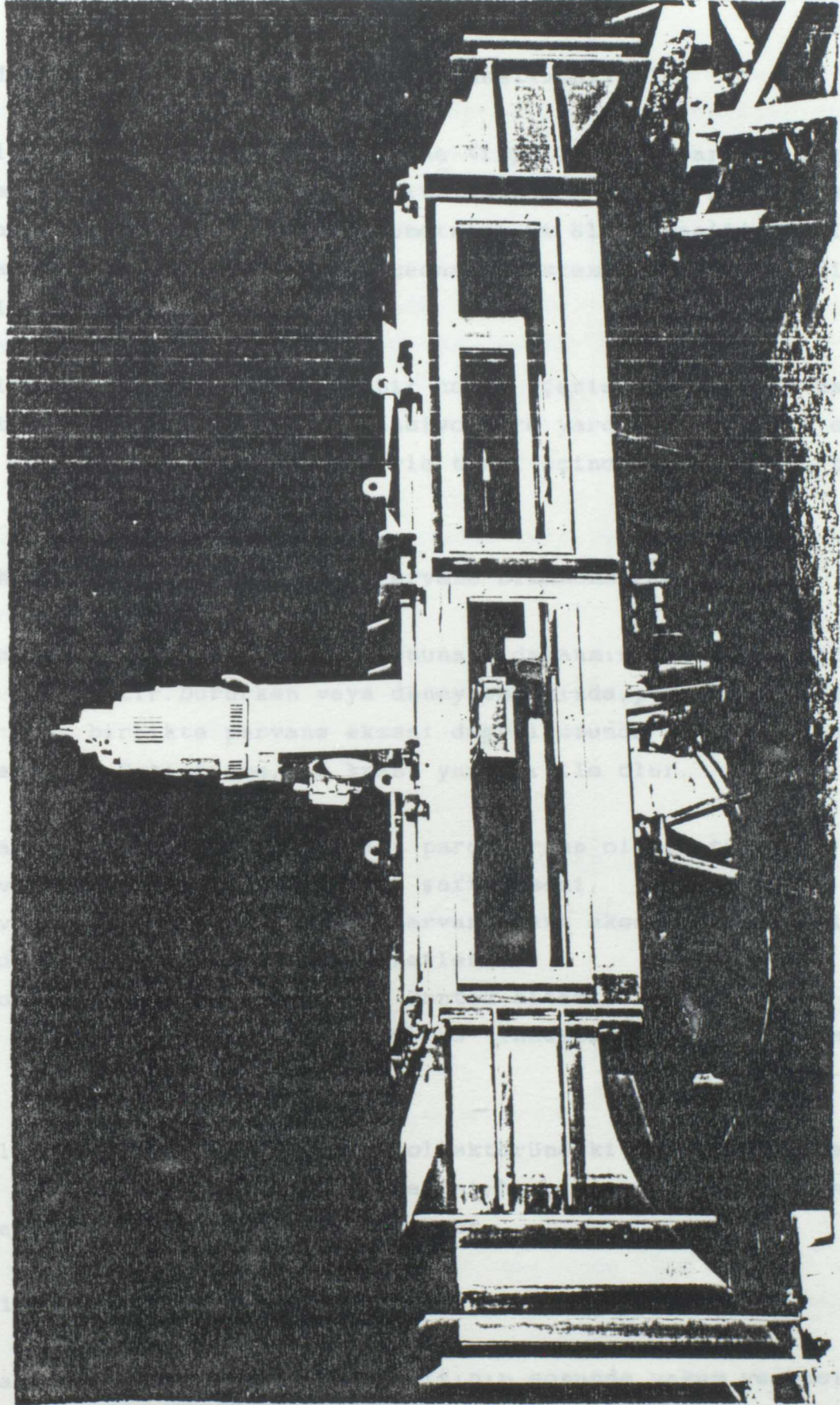
Bu ölçme kesiti, küçük gemi modellerini veya gemi modellerinin parçalarını, yükseklik doğrultusunda istenen kavitasyon sayısı dağılışı ve istenen Froude sayısında, gemi modellerinin arkasındaki pervanelerin deneyi için kullanılır. Bu amaçla, ölçme kesitinin önündeki nozul, asimetrik olarak dizayn edilmiştir. Ölçme kesiti, pleksiglas pencerelerle donatılmıştır.

ikinci ölçme kesitinin parçaları şunlardır:

- Gemi modellerine veya gemi model parçalarına uygulanmak için, dikey su sızdırmaz bir pervane dinamometresi,
- Şaft kovani (stern tüp), pervane şaftı ve ara şaft,
- Model pervanesinin tahriki için paralel sargılı DC motor,
- Elektronik bir kayıt cihazının yardımıyla hız ölçmeleri için devir başına 100 impuls veren bir impuls cihazı ve stroboskobun çalıştırılması için ayarlanabilir bir kontak düzeni,
- Bağlantı şaftları ile ara konik dişli çark.







Şekil 2.5, Kavitasyon tüneli ikinci ölçme kesiti ve dinamometresi

2.4. Tünel Suyuna Hareket Veren Pervane (impeller):

Tünel suyuna hareket veren pervane (impeller), DC paralel bağlı bir motor yardımıyla tahrik edilir. impeller tahrik motoru, kumanda masasından pervane dinamometresi ve ölçme kesiti görülebilmek için kontrol edilebilen Ward-Leonard sistemi ile techiz edilmiştir.

Impeller, dairesel kesitli bir nozul içerisinde çalışan palan kanatlı bir pervane olup, potansiyometre yardımı ile devir sayısı artırılabilir ve dolayısıyla tünel içinde su ilerleme hızını artırmaya yarar.

2.5. Model Pervaneyi Döndüren Pervane Dinamometresi:

Dinamometre, tünel konstrüksiyonuna vidalanmış bir yatak tabanına asılmıştır. Dururken veya deney esnasında, pervane şaft eksenini ile birlikte pervane eksenini doğrultusunda konumu değişebilmektedir. Değiştirme, bir krank yardımı ile olur.

Pervane dinamometresi aşağıdaki parçalardan oluşmuştur:

- Pervane deneyleri için pervane şaft eksenini,
- Pervane dinamometresini ve pervane şaft eksenini boy düzleminde değiştirebilmek için mesnetler,
- Stroboskop için ayarlanabilir kontak cihazı,
- Bir dişli çark (diş sayısı 100) ve indüktans tipi elektronik hız sayacı.

Paralel sargılı DC motorunun kollektöründeki karbon fırçalar, ayar edilmiş pervane dinamometresini, her iki yönde de eşit verim elde edebilecek şekilde döndürür.

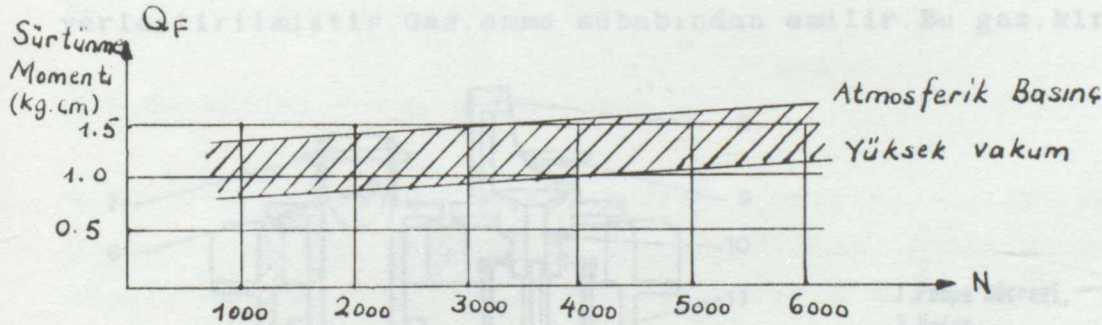
2.5.1. Pervane Şaft Eksenini:

Pervane şaft eksenini, pervane şaftının sonunda vakum ve basınç sızdırmazlığına sahip, çok az bir sürtünme ile pervane itmesini

ve momentini nakledecek şekilde dizayn edilmiştir. Pervane şaftı, içten ve dıştan bir destekleme tüpü ile desteklenmiştir ve yağ içinde çalışır. Kısa, esnek ara şaftlar ile birleştirilmiş çok sayıdaki hafif şaft parçalarından ibarettir. Bu ara şaftlar sarkaç yataklar içinde taşınmaktadır. Burada dönen flençlerden sıçrayan yağ tarafından yağlanılmaktadır. Kısa ara şaftlar yüksek kaliteli, alaşımlı yay çeliğinden yapılmıştır. Bundan dolayı sürtünme momenti azdır. Yatakların tam olarak bir eksen üzerinde olmaması halinde, mümkün olabilecek bir eğilme momentinden gelen ilave yüklenmenin yataklara binmesini önlemeye yeter derecede esnektirler.

Tünel içindeki basınç ve tünel suyuna karşı pervane şaftının sızdırmazlığı, pervane yanındaki iki sızdırmaz bileziğin yardımıyla sağlanmıştır.

Pervane şaft ekseninin tipik toplam sürtünme momenti şekil 2.7 deki diyagramdan görülebilir. Diyagramdaki taralı bölge, atmosferik basınca karşı



Şekil 2.7, Pervane şaft ekseninin toplam sürtünme momenti.

ferik basınca karşı relatif olarak yüksek vakumdan tünel içindeki basınç değişiminin sebep olduğu sürtünme değişimlerini ihtiva etmektedir. Sürtünme momenti, pratikte pervane şaft ekseninin yüklenmesinden bağımsızdır.

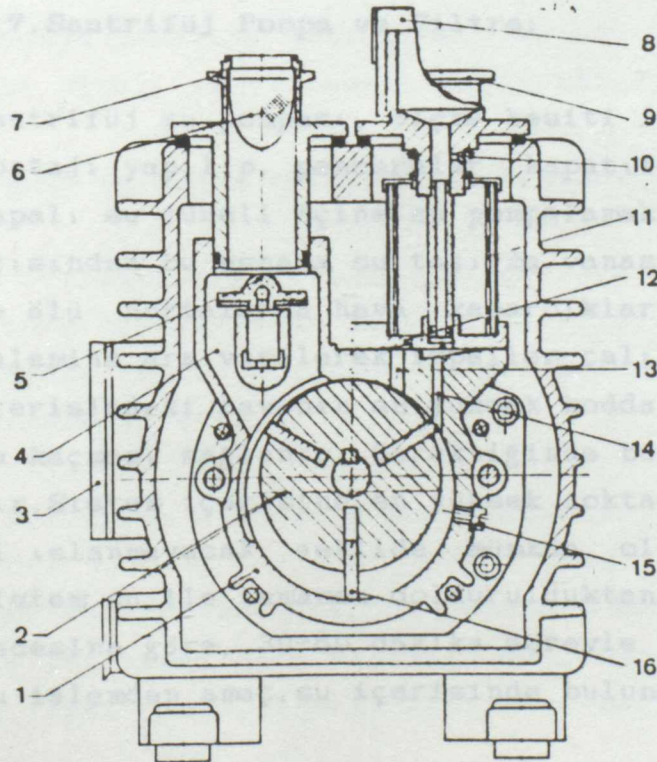
2.6. Vakum Pompası:

Vakum pompası, yağ doldurulmuş döner kanatlı bir pompadır. Vakum pompası, ölçüm işlemine başlamadan önce manometre sistemindeki bütün havayı emmek için kullanılır.

Vakum pompası, artı veya eksi basınç yaratma işlemine geçmeden önce, genellikle yarım saat rölantide çalıştırılarak (açık sistemde) ısınması sağlanır.

Tahrik motoru pompa gövdesine direkt olarak bağlıdır. Pompa ve motor şaftları birbirlerine bir elastik kaplin ile bağlıdır. Bütün yatak noktaları, yatak sürtünmesine uygun şekilde yağlanmıştır. Pompa hücresi, birbirinden O yüzükleri (özel conta) ile sızdırmazlığı sağlanan montaj parçalarından ibarettir. Bütün parçalar, sökölme kolaylığı açısından pim bağlantılıdır.

Şekil 2.8'de bir vakum pompası görülmektedir. Rotor, radyal olarak yerleştirilmiş 3 kayıcı sübabı olan pompa hücresinin içine yerleştirilmiştir. Gaz, emme sübabından emilir. Bu gaz, kirli mad-



1. Pompa hücresi,
2. Rotor,
3. Yağ seviye camı,
4. Emme kanalı,
5. Emme ağız sübabı,
6. Süzgeç,
7. Emme ağız,
8. Gaz balast valfi,
9. Egzost ağız,
10. İkinci hava girişi,
11. Yağ filtresi,
12. Egzost sübabı,
13. Egzost kanalı,
14. Gaz balast kanalı,
15. Yağ püskürtme enjektörü,
16. Vanalar,

Şekil 2.8.

deleri ayıran bir filtre boyunca geçer, açık emme sübabından geçerek pompa hücreğine girer. Pompa hücresi içinden hava geçer ve sıkışma-giriş penceresi sübap tarafından kapatıldıktan sonra pompa hücresi içine, yağ püskürtme enjektörü boyunca yağ püskürtülür. Pompa hücresi içindeki sıkıştırılmış gaz atmosfere egzost sübabı boyunca atılır. Sıkıştırılmış gaz ile kaçak yağ, yağ filtresinde tutulur. Aynı zamanda yağ, mekanik kirlenmeden temizlenir ve süzülür. Yedek havanın bir tarafa girmesine müsaade edilerek, pompa hücresi içindeki buharın çiglenmesinden kaçınılması olur. Buna gaz balastı denir.

Pompanın darbe gürültüsü (yağ darbesi), pompa hücresi içine çok az bir miktar yedek havanın alınmasıyla önlenir. Bu durum, genellikle nihai basınca ulaşıldığında meydana gelir.

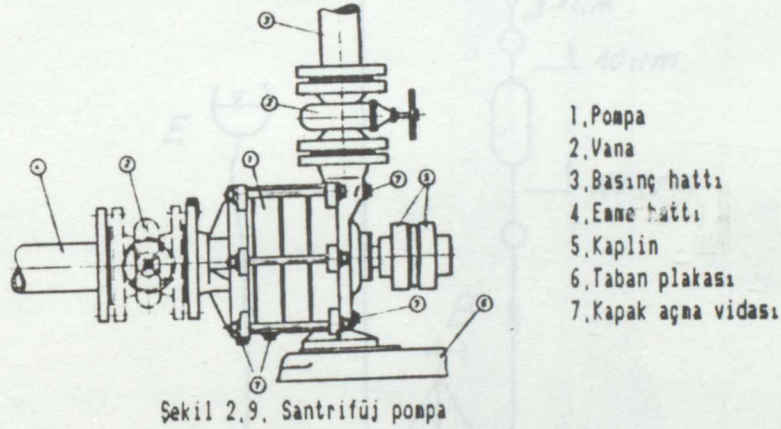
Pompa duracağı zaman; pompa shaftı üzerindeki santrifüj anahtar emme ağzı sübabından pistonun aşağısına, atmosferik havayı içeriye bırakan bir hava tüpünü açar. Bundan dolayı, sübap diskisi valf yatağına doğru basar. Böylece, vakum sistemine ait hat kapanır ve pompa devreden çıkar.

2.7. Santrifüj Pompa ve Filtre:

Santrifüj su pompası, ölçme kesiti içerisine, deney modelinin montajı yapıp, pencereler kapatıldıktan sonra su tankından kapalı su tüneli içine su pompalamak için kullanılır. Güvenlik açısından bu esnada su taşıma vanası açık tutulur. Tünel içinde ölü noktalarda hava kabarcıkları kalmaması için su basma işlemine ara verilerek impeller çalıştırılır ve böylece sistem içerisindeki havanın en yüksek kodda bulunan hava ayırma kabına kaçması sağlanır. Gerektiğinde bu işlem, 2-3 defa tekrarlanır. Sistem içerisine, en yüksek noktada bulunan manometre göbeği ıslanmayacak şekilde mümkün olduğu kadar çok su basılır. Sistem su ile tamamen doldurulduktan sonra, suyun kirlilik derecesine göre, 30-60 dakika süreyle filtrasyon işlemi yapılır. Bu işlemde amaç, su içerisinde bulunan ve ölçme aletlerini et-

kıleyebilecek kir, pas, metalik paracak vs. gibi yabancı maddelerin sudan ayrılmasını sağlamaktır. Filtrasyon işlemi sırasında deney modeli çalıştırılmaz ve su hızı çok küçük mertebelerde sabitlenir. Filtreye gelen su, silindirik gövde içindeki dairesel şekilli kağıt süzgeç katmanlarından geçerek süzülür.

şekil 2.9'da bir santrifüj pompa görülmektedir. Pompa yeri, gerekli bakım ve kontrollerin yapılabilmesi için ulaşılabilir şekilde olmalı ve donmaya karşı korunmalıdır. Pompanın ana yatakları zeminden ve duvardan açıkta olmalıdır. Pompa ve motor ekserini aynı olacak şekilde bağlanmalıdır.



şekil 2.9. Santrifüj pompa

Donmaya karşı ve titreşimsiz olması için borular olabildiğince kısa olmalı ve emniyetli bağlanmalıdır.

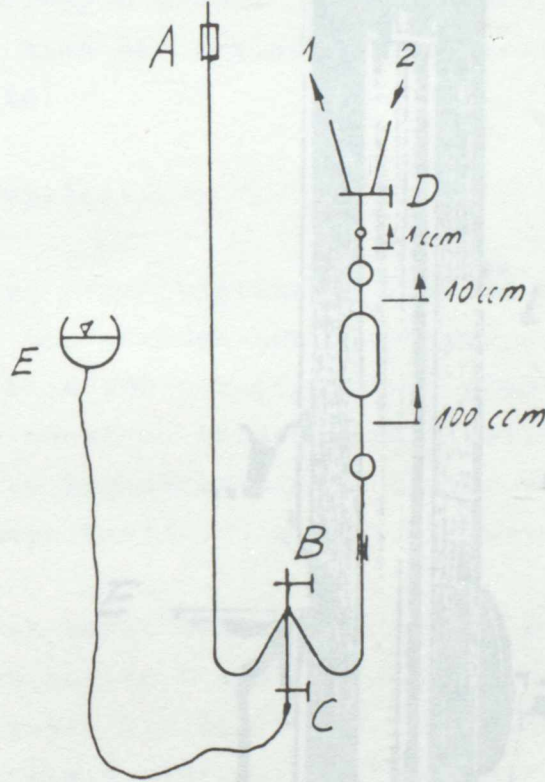
2.8. Su içindeki Erimiş Hava Miktarını lme Cihazı

Su içindeki erimiş hava miktarının llmesi, özellikle kavitasyon deneylerinde oldukça önemlidir. Kavitasyon deneyine başlamadan önce, su içinde erimiş halde bulunan hava miktarının bilinmesi gerekir.

2.8.1. lme Cihazının Hazırlanması:

nce temizlenmiş cihazın bütün muslukları silikon musluk yağı ile yağlanmalıdır. Gerektiğinde cihaz kurutulmalıdır. 1 noktasına (şekil 2.10) bir su fışkiesi bağlanır, D musluğu o şekilde

çevrilir ki, (1) aşağıda bulunan büretle bağlansın. B ve C açılır ve A civa ventili biraz kaldırılır ve bir takoz ile açık konumda tutulacak şekilde sıkıştırılır. Vakum pompası çevre havasını cihaza emerken, cihaza sıcak hava gönderildiği takdirde kuruma hızlanacaktır.



Sekil 2.10. Hava miktarını ölçme cihazının şematik görünüşü.

Tamamen kuru cihaza civa doldurulabilir. Burada E seviye küresi alt kancaya asılır ve civa vanası ile bütün musluklar açık kalır. Civa seviyesi B musluğunun üzerinde ise bu vana kapanır ve bütün deney boyunca bir daha bu vanaya dokunulmaz. Seviye küresinin kaldırılmasıyla büret D musluguna kadar civa ile doldurulur ve sonra D musluğu kapatılır. Seviye küresi bundan sonra yine kaldırılır, böylece civa A vanasına girer ve sonra A vanası kapatılır. A civa vanası yay kuvvetiyle kapanır ve E se-

viye küresinin inmesinden sonra civa vanasının altında bir vakum oluşur. Civa vanasının düz sınırının üzerinde 1-2 cm' lik bir civa kalır. Eğer vana tam sızdırmaz değilse (vakum sebebiyle manometre borusuna civa damlıyorsa) vana biraz daha sıkılmalıdır. C' nin dikkatlice açılmasıyla cihazda vakum yükseltilir. D musluğu, bütün su dışarı çıkıp civa gelinceye Hortum ucu, kavitasyon tüneli içindeki deney yapılacak suya, mümkün mertebe kısa bir bağlantı ile bağlanır. (1) ucu su seviyesine bağlı kalır. (2) sonraki deney için hazır olur.

2.8.2. Ölçümün Yapılışı:

D musluğu, (1) ve (2) bağlanarak sisteme su emilecek şekilde kapanır. Yeterli bir süreden sonra su pompası durdurulur. Civa seviyesi tam olarak 100 ccm çizgisinde olmalıdır ve civa ile D musluğunun arasındaki su kabarcıksız olmalıdır. Su seviyesinin üzerinde bürette bir alçak basınç oluşur ve deney için alınan suyun gazı kaçmaya başlar. C musluğu kapanır.

Tambur çevrilerek büret tekrar dik konuma getirilir. Seviye küresi üst kancaya asılır. C musluğu dikkatlice açılarak su seviyesi 1 ccm.'ye getirilir. Böylece su çalkalanarak alınan gaz 1 ccm.'ye sıkıştırılmış olur. Burada özellikle çok dikkat gerekir 1 ccm.'nin aşılması çözülmüş gazın tekrar emilmesine neden olur.

10 ccm 760 mm Hg. (273°C)

Manometredeki civa sütunu ve sıcaklık okunur ve not edilir. Seviye küresi kaldırıldığında C musluğu civanın manometre borusunun yükseleceği şekilde açılır. C musluğu açıkken D dikkatlice 1 borusuna açılır. Önce su pompası işletmeye alınır. Su üzerinde bulunan hava kabarcıkları yumuşamaya bırakılır. Bu durumda, büretteki basınç, (1) emme tesisatındaki basınçtan yüksek olmalıdır. Böylece bürete su geri gelmez. Bürette çok yüksek basınçtan da kaçınılmalıdır. Bu durumda, gazın geri gelmesi mümkün olduğu kadar az olur. Bu işten sonra civa seviyesi tekrar 10 ccm.'ye getirilir.

Seviye küresini tekrar indirerek vakum emilir, böylece su seviyesi 1 ccm. 'de kalır. Bu konumda manometre borusundaki değer, not edilir.

E'nin kaldırılması ve C'nin dikkatlice açılmasıyla cihazda vakum yükseltilir. D musluğu, bütün su dışarı çıkıp cıva gelinceye kadar 1 durumuna açılır. Yumuşak cıva seviye küresinin indirilmesiyle tekrar geri emilir. Böylece cıva seviyesi D musluginin içinde kalır. Cihaz, bir sonraki deney için hazırdır.

2.8.3. Ölçümün Değerlendirilmesi:

Okumalar arasındaki fark 1 ccm. gazın kısmi basıncına karşılık gelir. Bu ayrılmış gaz, su içinde çözülmüş veya çözülmemiş kı-sımlar halinde ve ince kabarcıklar şeklinde bulunur.

G gaz oranı, 760 mm ve 0°C'ye bağlı olarak Pmm Hg ve t °C sıcaklığında şöyle bulunur:

$$\begin{aligned} \%G [0^\circ\text{C ve } 760 \text{ mm Hg}] &= \frac{\text{Gaz hacmi}}{\text{Su hacmi}} \\ &= \frac{1 \text{ ccm. Pmm Hg. } 1000.272}{10 \text{ ccm. } 760 \text{ mm Hg. } (273+t^\circ\text{C})} \\ &= \frac{273}{(273+t)} \cdot \frac{1}{7.6} \cdot P[\text{mm Hg}] \end{aligned}$$

2.9. Stroboskop ve Kamera:

Pervane deneyinde özellikle kavitasyon olayının görüntülenmesi için uygun bir kamera teçhizatı ve gözlem için stroboskop kul-

lanılır. Stroboskobun kontak açısı, stroboskoba bağlı bir el düğmesi ile ayarlanabilmekte ve bir ölçü kadranından okunabilmektedir. Eğer istenirse, kontak açısının ayarlanması küçük bir motor ve bir dağıtma kutusu (difüzör) tarafından yapılabilmektedir.

Manometrelerin su tunelinde kullanılması için, suya geçirgen sıf-

Stroboskobun kontak pozisyonundaki ölçülendirilmiş kadran, $0^\circ \dots 100^\circ$ lık bir bölmelemeyi göstermektedir. Dönmenin her iki yönünde de sürekli olarak döndürülebilmektedir.

man; gereken hava kabarcıklarına salınmasını sağlar.

Stroboskop, model cisimlerin etrafındaki akımın görüntülenmesi, akım hatları deneyi gibi çalışmalarda hareketli model cismi duruyormuş gibi göstermesi açısından büyük yararlar sağlar. Örneğin, model pervane deneylerinde, pervane dönme devir sayısı ile stroboskobun flaş çakma sayısı eşitlendiğinde, sistem rezonansa girer ve pervane sanki duruyormuş gibi görülebilir.

2.12. Su Deposu:

2.10. Civalı Manometreler:

Kapalı su tuneli içinde bulaşma ve dökme cihazları olarak kul-

Manometreler, bir akışkanın bir noktadaki basıncının ölçülmesi için kullanılır. Genellikle içinde civa vardır. Manometre U şeklinde kıvrılmış bir cam borudur. Bu boru üzerinde basınç farkının ölçülebilmesi için kadran mevcuttur.

ile tanktaki su tutulur. Su deposu, suyun akışını sağlar.

Manometre kullanarak bir akışkanda, bir noktadaki basıncın ne olduğunu ölçmek istiyoruz. Yapılacak olan, basıncın ölçülmek istendiği noktayı (şekil 2.12 'deki A noktası) manometreye bir hortumla bağlamaktır. a-a bir nivo yüzeyidir, bu yüzey üzerinde basınçlar birbirine eşittir:

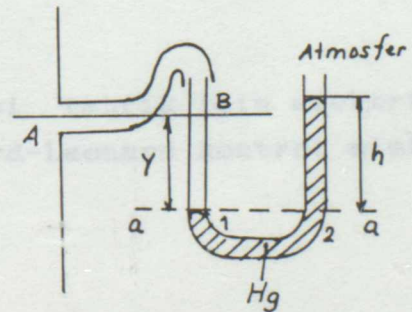
$$P_1 = P_2$$

$$P_1 = P_0 + \gamma_v = P_A + \gamma_v$$

$$P_2 = P_0 + \gamma_c \cdot h$$

O halde:

$$P_A = P_0 + \gamma_c \cdot h + - \gamma_v$$



h ve y ölçülebileceğine göre, yukarıdaki denklemden A noktasındaki basınç bulunur.

2.11. Şeffaf Bağlantı Elemanları:

Manometrelerin su tüneline bağlantısı için, ışığı geçiren şeffaf plastik tüpler kullanılır. Bu şeffaf tüpler, manometrenin arka tarafı ile bağlantılıdır. Tüplerin şeffaf ve fleksibl olması, tüplerin içerisinde bulunabilecek ve sistem dışına atılması gereken hava kabarcıklarının izlenmesini kolaylaştırır.

Tüplerin değiştirilmesinden önce, manometrenin bağlantı kolunun yukarısındaki şeffaf tüp, su buharı üzerine tutularak ısıtılır. Bu tüplerin soğugu alındıktan sonra, herhangi bir ilave sıkıştırma aygıtı olmaksızın hava geçirmez bağlantı sağlanır.

2.12. Su Deposu:

Kapalı su tüneli içinde bulunan ve deney akışkanı olarak kullanılan su, deney sona erdikten sonra, ölçme kesiti içinde bulunan deney modelinin kuru olarak korunması için bir su tankına boşaltılır. Ölçme kesiti içindeki su boşaldığında, boşaltma işlemine son verilir. Deney yapılacağı zaman sentrifüj su pompası ile tanktaki su tünele basılır. Su deposu, kirlenmelere karşı periyodik olarak temizlenmelidir.

Suyun depoya alınmadan önce, ön filtreden geçirilmesi ve temizlenmesinde fayda vardır. Böylece tünel içindeki filtre fazla kirlenmemiş olur.

2.13. Kumanda Masası:

Kumanda masası, impeller ve pervaneyi tahrik için elektrikli gösterge cihazlarıyla donatılmış, Ward-Leonard kontrol sistemlidir.

Ward-Leonard setinde, AC tahrikli motor, impelleri ve model pervaneyi tahrik için ayrı ayrı Ward-Leonard jeneratörü mevcuttur. Bu üç makina, çelik konstrüksiyon temele bir arada seri olarak bağlanmıştır.

Impeller devir sayısı, kontrol masası üzerindeki potansiyometre ile ayarlanır. Kontrol masası üzerindeki takometreye bağlı kadrandan devir/dakika olarak ölçülür. Impeller devir sayısı, deney özelliklerine göre düşürülebilir veya artırılabilir. Devir sayısının artması veya azalmasıyla temel içindeki su hızı da orantılı olarak değişir.

3.2. Model Pervane Devir Sayısı:

Model pervanesinin devir sayısının ölçülmesi iki şekilde olur:

1' Motor ile bağlantılı küçük bir takometre jeneratörü ile bağlanmış, kontrol masası üzerinde bir elektronik hız göstergisi cihaz vardır. Bu ölçme yöntemi düzenleme payı için kullanılır, pervane hızının tam ölçülmesi için doğruluğu yeterli değildir.

2' Pervane hızının tam olarak ölçülmesi için en iyi metod, kristal zanaat esası, bir elektronik sayıcı kullanmaktır. Bu ölçme işi için dinamometre, her bir pervane devrine karşı 100 impuls veren bir endüktif düzenleyici ile teçhiz edilmiştir.

3.3. İtme ve Moment:

Dinamometre motorunun momenti, motor gövdesinde reaksiyon momenti olarak ölçülür. Motorun momenti, saat (brake) yönü veya aksi yönü için, her iki yönde ibrenin 2.5 derece ile payli tarafında gösterilmektedir. Farklar otomatik olarak değişir. Her iki yöndeki toplam moment, direkt olarak öl ile bağlantılı bir ayarlanı pazarda okunabilir. Fiyet tarafında her iki yönde de kademeler mevcuttur.

3.ÖLÇÜ ALMA ELEMANLARI

3.1. impeller Devir Sayısı:

impeller devir sayısı, kontrol masası üzerindeki potansiyometre ile ayarlanır. Kontrol masası üzerindeki takometreye bağlı kadrandan devir/dakika olarak ölçülür. impeller devir sayısı, deney özelliklerine göre düşürülebilir veya artırılabilir. Devir sayısının artması veya azalmasıyla tünel içindeki su hızı da orantılı olarak değişir.

3.2. Model Pervane Devir Sayısı:

Model pervanesinin devir sayısının ölçülmesi iki şekilde olur:

1*Motor ile bağlantılı küçük bir takometre jeneratörü ile beslenmiş, kontrol masası üzerinde bir elektronik hız gösterici cihaz vardır. Bu ölçme, yalnızca düzenleme gayesi için kullanılır, pervane hızının tam ölçülmesi için doğruluğu yeterli değildir.

2*Pervane hızının tam olarak ölçülmesi için en iyi metod, kristal zaman esaslı bir elektronik sayıcı kullanmaktır. Bu ölçme işi için dinamometre, her bir pervane devrine karşı 100 impuls veren bir endüktif düzenleyici ile teçhiz edilmiştir.

3.3. itme ve Moment:

Dinamometre motorunun momentı, motor gövdesinde reaksiyon momentı olarak ölçülür. Motorun momentı, saat ibresi dönüş yönü veya aksi yönü için, her iki yanda ibrenin 2.5 devri ile meyil terazisinde gösterilmiştir. Numaralar, otomatik olarak değişir. Her iki yöndeki burulma momentı, direkt olarak el ile herhangi bir ayarlama yapmadan okunabilir. Meyil terazisinin her iki yanında da kadranslar mevcuttur.

Motor ve pervane şaft eksenleri arasında özel bir kavrama bulunmaktadır. Eksenel doğrultuda pervane şaft ekseninin ayarlanmasına müsaade eder. Pervane şaftı üzerinde iki adet açılabilir kontak küreli yatak mevcuttur. Bunlar, moment ölçülmesinde kullanıldığı gibi, aynı çeşit bir meyil terazisinde iki redüksiyon kolu üzerinden itmeyi iletirler. Şaftın ölçme mesafesi, bir manşonlu kavramanın yardımıyla itme yükü için büyütülmüştür.

Yükseklik farkı : $\Delta h = 700 \text{ mm}$

3.4. Manometre-Vakummetre:

$$\Delta P = \Delta h \cdot (13.55 - 1.00) = 12.55 \Delta h$$

Kavitasyon tüneli içindeki sistemin ortalama basıncını veya vakumunu ölçmek için manometre-vakummetre kullanılır. Kavitasyon tüneli üzerindeki hava ayırma kabı üzerine monte edilmiştir. Manometre göbeğinin sisteme su basılırken ıslanmamasına dikkat edilmelidir.

Bir dikkat gerekir. Akış balda, yanlış ölçme yapılması kaçınılmalıdır.

3.5. Basınç ve Hız Ölçümleri için Cıvalı Manometreler:

Manometreler, genellikle cıva ile doldurulmuştur. Ancak alçak basınç farklarında daha hafif ölçme akışkanı (mesela, kırmızı renklendirilmiş tetrabrometan, CBr_4 , karbontetraklorür, CCl_4) kullanmak daha pratik olabilir.

Cam skalalı manometre ve sayıların okunması için beyaz boyalı

Manometrede değeri okumanın yapıldığı iki skala vardır. Bu skalalar eşit yükseklikte ve camdan yapılmıştır. Okuma yapılırken okumayı yapan kişi başını öyle tutmalıdır ki; gözetleyen gözün gözbebeğinin aynadaki görüntüsü, dışbükeyleşmiş (veya içbükeyleşmiş) cisim ile aynı yükseklikte olsun. O zaman, dışbükey boyunca görünüşte okunabilecek olan, cam skaladaki dışbükeyin veya içbükeyin yüksekliğidir.

7. Bağlantı tüplerinin birinci içine bağlantı kolu.

Eğer manometre her iki yanda su ile doldurulmuş ise, ölçme akışkanının üst ucunda aşağıdakiler gözönünde bulundurulmalıdır. Ölçü akışkanının yükseklikteki farktan basınç farkı hesaplanacağı zaman, yükseklikteki farka uyan su sütunu ölçme akışkanının bir tarafında ek bir basınç verir. Yükseklikteki farktan

basınç farkı hesaplanacağı zaman suyun özgül ağırlığı tarafından ölçme akışkanının özgül ağırlığındaki azalma alınan degere katılır.

Örnek:

Cıvalı ölçme akışkanı özgül ağırlığı : 13.55 kg/dm^3 ,

Yükseklik farkı : $\Delta h = 700 \text{ mm}$.

Basınç farkı : $\Delta P \approx \Delta h \cdot (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O})$

$$\Delta P \approx \Delta h \cdot (13.55 - 1.00) = 12.55 \Delta h$$

$$\Delta P \approx 0.8785 \text{ kg/cm}^2$$

Manometrenin üst ucunda bulunan bir hava ayırım musluğu, küçük, özel bir vakum deposuna bağlantılı olmalıdır. Manometrenin hava ayırımı ile, manometreden su tüneline bağlantı tüplerinde büyük bir dikkat gerekir. Aksi halde, yanlış ölçme yapılması kaçınılmazdır.

Manometreyi meydana getiren parçalar, şekil 3.1 deki numaralara göre şunlardır:

- 1° Cam tüpler için bağlantı parçası,
- 2° Cam skala. Bölmeleme ve sayıların sol yanı arkadan beyaza boyanmıştır. Skalanın sağ yanı ise, arkadan ayna kaplamalıdır.
- 3° Ağaç destekleme kutusu.
- 4° Ölçme akışkanı. Ölçme akışkanı cam tüpün içine arka taraftan 7 veya 10 bağlantıların arasından doldurulmalıdır. Doldurma yaklaşık yarım skala boyunda, yukarı doğru olmalıdır.
- 5° Cam tüp.
- 6° Cam skala için destek.
- 7° Bağlantı tüplerinin biri için bağlantı kolu.
- 8° Cam parçaları birleştirmek için şeffaf tüpler.
- 9° Hava ayırım musluğu. Bu musluk, musluk sızıntılarından kaçınmak amacıyla, cam musluklar için, özel tip bir yağ ile iyice yağlanmalıdır. Hava ayırım tüpü de, manometrenin arka tarafı ile bağlantılıdır.

10'7 maddesindeki her bir bağlantı

11' Cam skalasının bağlantısı

yanından dışarıya doğru çıkartıldığı

ve bundan yararlanılarak

3.6. Termometre:

Civalı termometreler, basit

-30°C'de katılaşır ve 350°C'de

11'e +250°C arasında kullanılır

ölçümü amacıyla 10 her

10 mm alan 750°C'ye kadar

bu termometreler

Civada başka termometre

teknik pentan ve 1050°C'ye kadar

kullanılabilir. Tablo 3.1

görülmektedir.

Tablo 3.1

Civada ölçülen her bir

Civada ölçülen her bir

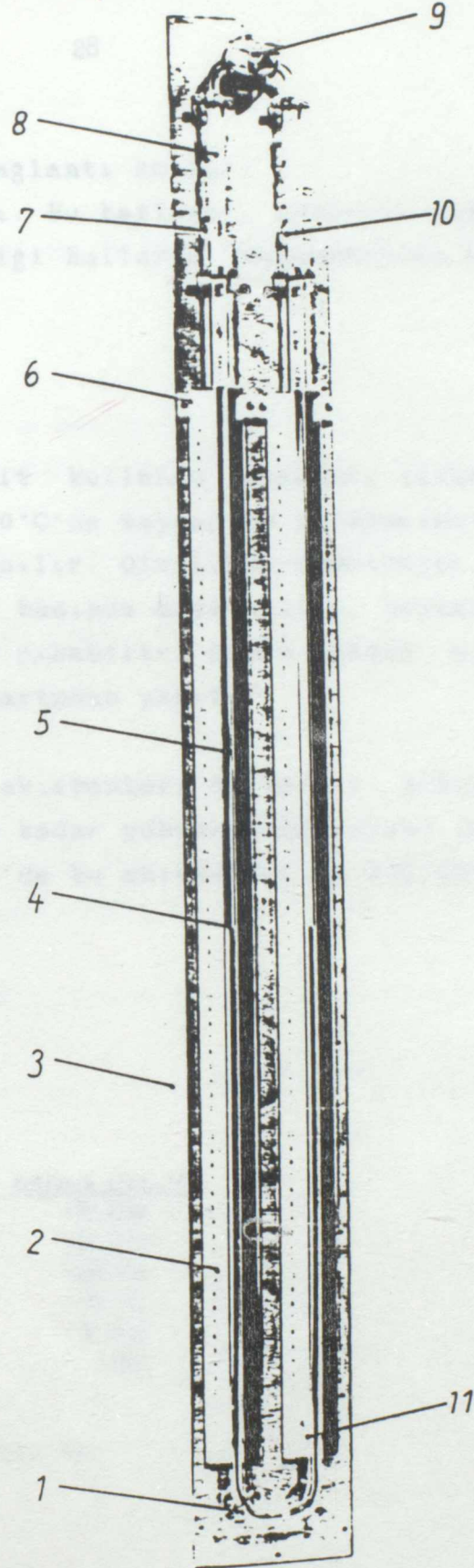
Teknik pentan

Alkol

Talca

Alpin

Tablo 3.1



Şekil 3.1, Civalı manometre (U borusu)

10*7.maddedekine benzer bağlantı kolları.

11*Cam skalanın bağlantısı. Bu bağlantı, skalanın yüksekliğini yeniden düzeltmek gerektiği hallerde manometrenin arka tarafından gevşetilebilir.

3.6.Termometre:

Cıvalı termometreler, basit kullanım amaçları içindir. Cıva, -39°C 'de katılaşır ve 360°C 'de kaynar.Bu termometreler, -30°C ile $+280^{\circ}\text{C}$ arasında kullanılır. Cıvalı termometreler, özel gaz dolumu vasıtasıyla 10 bar basınca dayanabilir, böylelikle kullanım alanı 750°C 'a kadar çıkabilir. Böyle yüksek sıcaklıklar için bu termometreler,kuvartzdan yapılır.

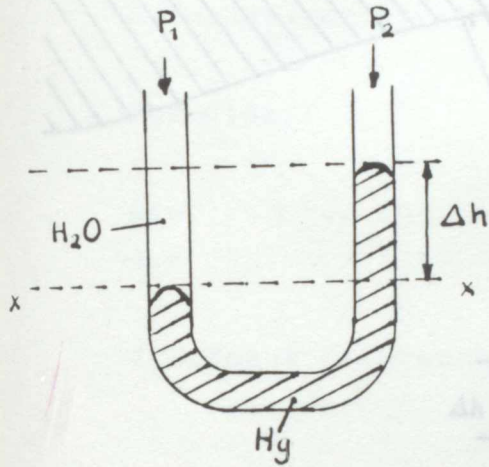
Civadan başka termometre akışkanları da vardır. Alkol, tolüen, teknik pentan ve 1050°C 'a kadar yüksek sıcaklıklar için Galyum kullanılabilir.Tablo 3.1.'de bu akışkanlar ve kullanım alnları görülmektedir.

Akışkan	Kullanım alanı, $^{\circ}\text{C}$
Cıva;gaz dolgusuz,hava boşluklu	$-30,+280$
Cıva;gaz dolgulu (Argon,azot)	$-30,+750$
Teknik pentan	$-200,+20$
Alkol	$-110,+50$
Tolüen	$-70,+100$
Galyum	$+1050$

Tablo 3.1,Termometre akışkanlarının özellikleri

4. SİSTEMİN HİDRODİNAMİĞİ

4.1. Cıva ve Su ile Doldurulmuş Diferansiyel Basınç Manometre- leri ile ölçmeler:



x-x kesitinde her iki tüpteki basınç aynıdır. x-x kesitinde basınç formülü:

$$P_1 + \Delta h \cdot \gamma_{H_2O} = P_2 + \Delta h \cdot \gamma_{Hg} \dots (4.1.)$$

$$P_1 - P_2 = \Delta h \cdot (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}) \dots (4.2.)$$

$$\Delta P = \Delta h \cdot (\gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O}) \dots (4.3.)$$

Cıvanın özgül ağırlığı, $\gamma_{Hg} = 13.6 \text{ kg/dm}^3$

Suyun özgül ağırlığı, $\gamma_{H_2O} = 1.0 \text{ kg/dm}^3$

$$\Delta \gamma = \gamma_{Hg} - \gamma_{H_2O} = 12.6 \text{ kg/dm}^3 \dots (4.4.)$$

$$\Delta P = 12.6 \Delta h \dots (4.5.)$$

Sekil 4.1.

$$[\Delta P] = \text{dm} \cdot \text{kg/dm}^3 = \text{kg/dm}^2 \dots (4.6.)$$

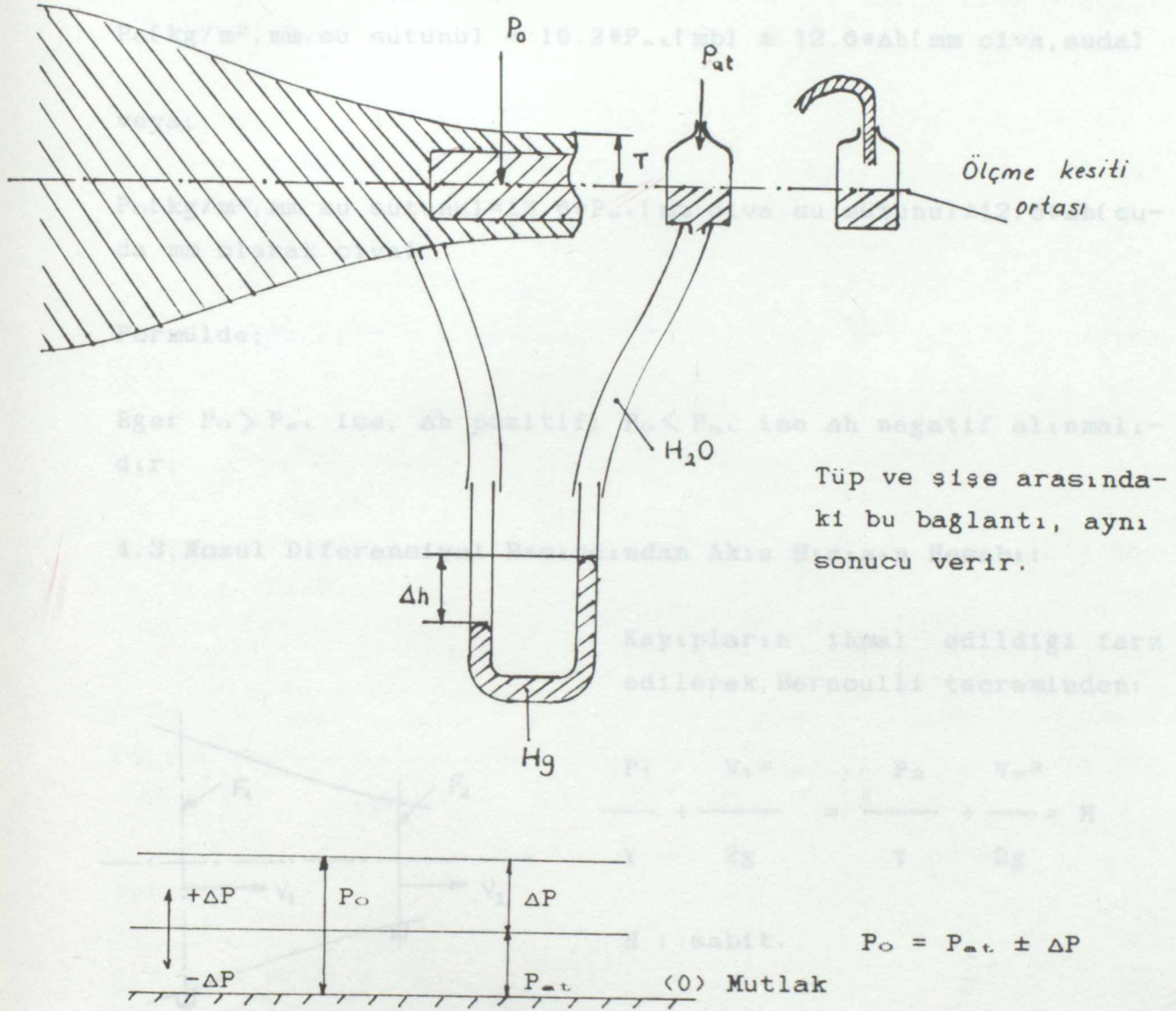
$$\Delta P [\text{kg/m}^2] = 100 \cdot \Delta h [\text{dm}] \cdot \Delta \gamma [\text{kg/dm}^3] \dots (4.7.)$$

$$\Delta P [\text{kg/m}^2] = 100 \cdot \Delta h [\text{mm}] / 100 \cdot \Delta \gamma [\text{kg/dm}^3] \dots (4.8.)$$

$$\Delta P [\text{kg/m}^2 : \text{mm su sütunu}] = 12.6 \Delta h [\text{mm cıva, sudal}] \dots (4.9.)$$

$$\Delta P [\text{kg/cm}^2] = 1.26 / 1000 \cdot \Delta h [\text{mm cıva, sudal}] \dots (4.10.)$$

4.2. Ölçme Kesiti Ortasında Mutlak Basınç Hesabı:



Şekil 4.2.

$$\Delta P [\text{kg/m}^2] = 12.6 * \Delta h [\text{mm cıva, sudal}]$$

Bir barometrede milibar (mb) veya mm cıva sütunu olarak ölçülmüş atmosferik basınç:

$$P_{at} [\text{kg/m}^2] = 10.2 * P_{at} [\text{mb}] = 13.6 * P_{at} [\text{mm cıva sütunu}] \dots (4.11)$$

$10200 \text{ kg/m}^2 = 10200 \text{ mm su sütunu} = 1000 \text{ mb} = 750 \text{ mm civa sütunu}$

$$V_2^2 = 2g \left(\frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) = V_1^2 + \frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2) \quad (4.13)$$

$P_0 [\text{kg/m}^2, \text{mm su sütunu}] = 10.2 * P_{at} [\text{mb}] \pm 12.6 * \Delta h [\text{mm civa, suda}]$

veya;

$$V_2^2 = \frac{2g}{\gamma} (P_1 - P_2) + V_1^2 \quad (4.14)$$

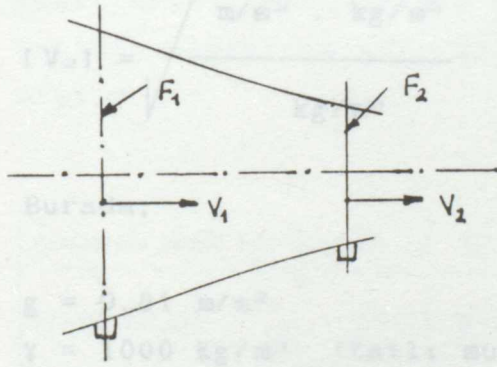
$P_0 [\text{kg/m}^2, \text{mm su sütunu}] = 13.6 * P_{at} [\text{mm civa su sütunu}] \pm 12.6 * \Delta h [\text{suda mm olarak cival}]$

Formülde; $P_0/P_{at} = \gamma = \frac{13.6}{1} \Delta P_{at} \quad (4.15)$

Eğer $P_0 > P_{at}$ ise, Δh pozitif; $P_0 < P_{at}$ ise Δh negatif alınmalıdır.

4.3. Nozul Diferansiyel Basıncından Akış Hızının Hesabı: (4.16)

Kayıpların ihmal edildiği farz edilerek, Bernoulli teoreminden:



$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = H \quad (4.17)$$

H : sabit.

Süreklilik denkleminde:

$$F_1 \cdot V_1 = F_2 \cdot V_2 \quad (4.12)$$

Şekil 4,3

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{P_2}{\gamma} \quad \text{ve}$$

$$V_1 = \frac{F_2}{F_1} \cdot V_2$$

$$V_2 = C \cdot \sqrt{\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma}} \quad (4.10)$$

$$V_2^2 = 2g \cdot \frac{P_1}{\gamma} + V_1^2 - 2g \cdot \frac{P_2}{\gamma} = V_1^2 + \frac{2g}{\gamma} \cdot (P_1 - P_2) \quad (4.13)$$

4.4. Kalibrasyon Faktörü

$$V_2^2 = \frac{F_2}{F_1} \cdot V_1^2 + \frac{2g}{\gamma} \cdot (P_1 - P_2) \quad (4.14)$$

$$V_2^2 (1 - (F_2/F_1)^2) = \frac{2g}{\gamma} \cdot \Delta P \quad (4.15)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta P}{(1 - (F_2/F_1)^2) \cdot \gamma}} \quad (4.16)$$

$$[V_2] = \sqrt{\frac{\text{m/s}^2 \cdot \text{kg/m}^2}{\text{kg/m}^3}} = \text{m/s} \quad (4.17)$$

Burada;

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{tatlı su için})$$

$$\Delta P [\text{kg/m}^2] = 12.6 \cdot \Delta h [\text{mm civa sütunu, suda}]$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81 \cdot 12.6 \cdot \Delta h}{(1 - (F_2/F_1)^2) \cdot 1000}} = C \cdot \sqrt{\Delta h} \quad , C: \text{sabit}$$

$$\text{Burada, } C = \sqrt{\frac{0.24721}{1 - (F_2/F_1)^2}} \quad (4.18)$$

$$V_2 = C \cdot \sqrt{\Delta h} \text{ [mm cıva sütunu, sudal] } \dots \dots \dots (4.19)$$

4.4. Kalibrasyon Faktörü:

Aşağıdakiler, bir kalibrasyon faktörünün kullanılmasını lüzumlu kılar:

- 1* Basınç ölçme delikleri arasında nozul içindeki basınç kayıpları.
- 2* Ölçü deliklerinin durumu ve ölçü deliklerinin civarındaki iç yüzeyin varlığı.

Yukarıdaki formüle kalibrasyon faktörünü de katarsak:

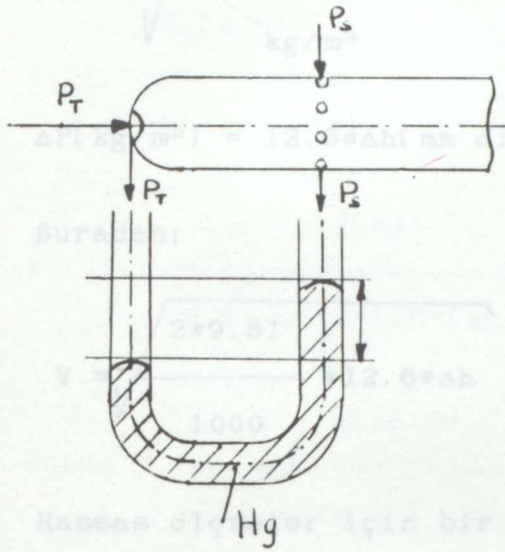
$$V_2 \text{ [m/s]} = C \cdot K \cdot \sqrt{\Delta h} \text{ [mm cıva sütunu, sudal] } \dots \dots \dots (6.20)$$

Çeşitli kavitasyon tüneli tiplerine göre, kalibrasyon faktörü deneylerle bulunur. Kalibrasyon faktörü, suyun giriş ve çıkış kesitlerinin alanlarının oranlarına bağlıdır. Kavitasyon tünellerinin tiplerine göre kalibrasyon faktörü Tablo 4.1'de verilmiştir.

Kavitasyon tüneli tipi	F_1/F_2	F_2/F_1	C
K22, K23, K26, K15	6/1	0,168	0,504
K14A, K14D	3,02/1	0,331	0,528
K14C (140x280)	4,08/1	0,245	0,5128
F12 (Açık ölçme kesiti)	4,00/1	0,250	0,5140
F12 (Kapalı ölç. kesiti)	7,15/1	0,140	0,5021
K28 $F_m = 120 \times 120 \text{ mm}$	6,25/1	0,160	0,504
K28 $F_m = 120 \times 60 \text{ mm}$	10/1	0,100	0,500
F11, F11A	4,01/1	0,250	0,514

Tablo 4.1.

4.5. Prandtl Tüpleri ile Su Akış Hızının Hesabı:



Şekil 4.4.

$$\Delta P = P_T - P_s = P_D$$

Toplam basınç = Dinamik basınç + Statik basınç

$$P_T = P_D + P_s \quad (4.21)$$

Bernoulli formülü :

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = H \quad (4.22)$$

$$P + \frac{\gamma}{2g} V^2 = H \cdot \gamma \quad (4.23)$$

Statik	Dinamik	Toplam
Basınç	Basınç	Basınç

$$\Delta P = P_T - P_s = P_D + P_s - P_s = P_D = \frac{\gamma}{2g} V^2 \quad (4.24)$$

$$V = \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta P} \quad (4.25)$$

$$[V] = \sqrt{\frac{m/s^2 \cdot kg/m^2}{kg/m^3}} = m/s$$

$$\Delta P[kg/m^2] = 12.6 \cdot \Delta h[mm \text{ cıva sütunu, sudal}]$$

Buradan;

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot 9.81}{1000} \cdot 12.6 \cdot \Delta h} = 0.4972 \sqrt{\Delta h[mm \text{ cıva sütunu, sudal}]}$$

Hassas ölçmeler için bir düzeltme katsayısı (K) ku;;anılmalıdır. Bu durumda;

$$V[m/s] = 0.4972 \cdot K \cdot \sqrt{\Delta h[mm \text{ cıva, sudal}]} \dots\dots\dots (4.26)$$

olacaktır.

4.6. Kavitasyon Sayısının Hesabı:

$$\sigma = \frac{P_o - e}{\frac{1}{2} \rho V^2} \dots\dots\dots (4.27)$$

$$[\sigma] = \frac{kg/m^2}{\frac{kg \cdot s^2}{m^4} \cdot \frac{m^2}{s^2}} = 1$$

$$\sigma[1] = \frac{P_o[kg/m^2:mm \text{ su sütunu}] - e[kg/m^2:mm \text{ su sütunu}]}{51[kg \cdot s^2/m^4] \cdot V_{\bullet}^2[m/s]} \quad (4.28)$$

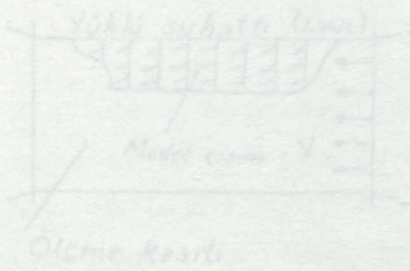
4.7. Açık-su Pervane Deneylerinin Formülasyonu:

$$J[1] = \frac{V_w[m/s]}{n[1/s] \cdot D[m]} \dots\dots\dots (4.29)$$

$$k_r[1] = \frac{T[kg]}{\rho[kg \cdot s^2/m^4] \cdot D^4[m] \cdot n^2[1/s]} \dots\dots\dots (4.30)$$

$$k_q[1] = \frac{Q[kg \cdot m]}{\rho[kg \cdot s^2/m^4] \cdot D^5[m] \cdot n^2[1/s]} \dots\dots\dots (4.31)$$

$$\eta_o[1] = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{k_r}{k_q} \dots\dots\dots (4.32)$$



Resim 4.1

Boya çok katı olursa, bu durumda da akış yönüne doğru dağılım, akım hatları belli olmaz. Bu deneyde, boya yerine ipitkiler de kullanılabilir. Eğer ipitkiler kullanılarak deney yapılıyorsa, akım hatları fotoğraf ile belirlenir.

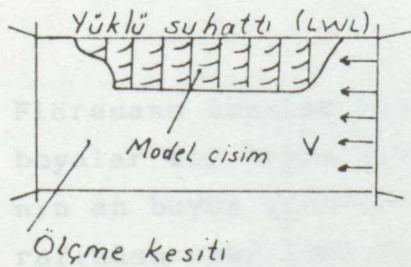
Akım hatları deneyinde, model cisim, ölçme kesiti içine yerleştirilir. Cismin boyu, esit aralıklarla postalarla ölçülür. Bu kesitlere boya veya diğer bir maddeden geçirilerek, akım hatları üzerindeki değişiklikler, model üzerinden boyalarla gösterilebilir. Boyanın viskozitesiyle seçilebilir ki akış yönünde akım hatları belli olsun.

5. DENEY TÜRLERİ

5.1. Dönel Simetrik Bir Sualtı Cisminde Akım Görünürlüğü Deneyleri:

Akım görünürlüğü deneyi, hidrodinamik ve aerodinamikte çokça kullanılan bir deney türüdür. Aerodinamikte, uçakların veya diğer kara taşıtlarının, hareket esnasında hava akım hatlarını bozmayacak şekilde bir yapıya sahip olmaları açısından bu deney önemlidir. Yüksek süratli taşıtlarda hava direnci önemli bir etken olduğundan, özellikle uçakların kanat yapılarının dizaynı için bu deney yapılır. Aerodinamik çalışmalarda, akım görünürlüğü deneyleri hava tünellerinde duman, hafif tüy, vs kullanılarak yapılır.

Hidrodinamikte ise, gemilerin stabilitesi açısından önemli yer tutan yalpa omurgasının yerinin belirlenmesi amacıyla bu deney yapılır. Akım görünürlüğü deneyleri, hidrodinamik çalışmalarda, çekme tankında, sirkülasyon tünellerinde veya kapalı su tünellerinde yapılabilir. Deney esnasında fotoğraf çekilerek, akım hatları daha sonra da gözlenebilir.



Şekil 5.1.

Akım hatları deneyinde, model cisim, ölçme kesiti içine yerleştirilir. Cismin boyu, eşit aralıklarla postalara bölünür. Bu kesitlere boya veya mürekkep sürülebildiği gibi, kesitler üzerine delikler açılarak, model içinden boya da püskürtülebilir. Boyanın viskozitesi öyle seçilmelidir ki suyun model üzerinde oluşturduğu akım hatları silinmeyip belli olsun.

Boya çok katı olursa, bu durumda da akış yönüne doğru dağılmaz, akım hatları belli olmaz. Bu deneyde, boya yerine iplikçikler de kullanılabilir. Eğer iplikçik kullanılarak deney yapılıyorsa, akım hatları fotoğrafla belirlenir.

Su akımının görünürlüğü için kullanılan boya metodu, hava tünellerinde duman kullanılması gibi oldukça yaygındır. Çeşitli boya teknikleri Clayton ve Massey[6] ve Werle[7] tarafından incelenmiştir. Çekme tankında boya tanecığının hareketinin görünürlüğü, Gad-El-Hak[8] tarafından tanımlanmıştır. ideal bir boyada şu özellikler olmalıdır:

- Tabii sephiye,
- Karışıma karşı yüksek stabilite,
- iyi görünürlük.

Akım görünürlüğü deneylerinde kullanılan boyalardan pek çoğu zehirsizdir. Eger zehirliyse, akım sisteminde sınır şartlarında küçük değişiklikler meydana gelebilir. Tarafsız yüzme, özgül ağırlığı sudan hafif olan alkol gibi maddelerin boya ile karışımı ile elde edilebilir. Karışım, normalde doğru bir çözüm değildir. Ataletin veya merkez kuvvetin tesiri altında, karışım bileşenleri etki altında kalabilirler.

Boya, deney modelinin yüzeyine küçük bir püskürtücüden (ejektör) veya küçük borularla verilebilir. Püskürtücü olarak, hipodermik tüpler, şırınga veya küçük pitot tüpleri kullanılabilir.

Flöresans boyalar için, özel ışık teçhizatı kullanılmalıdır. Bu boyalar, bir Argon iyon laser veya Merkür lambası gibi, boyanın en büyük spektral sınırında yayılan bir ışık kaynağı tarafından uyarılmalıdır. Radomin-GG en çok kullanılan madde tipidir, sarı radyasyon ışınlarını emer. Radomin-B, Ar^+ laser tarafından uyarıldığında, flöresan yeşil ışık yayır. Radomin, metanolde çözülebilir.

Su tüneline boya kullanılarak akımın gözlenmesi, hava tünellerinde duman kullanma çalışmalarına benzemektedir. Su tüneline, aerodinamik akım probleminin simülasyonu özel bir deney avan-

tajı sağlar. Model ölçeği ve Reynold sayısı benzerliği için sudaki hız, havanın 1/5'idir, böylece bu olay, relatif düşük hızda gözlenebilir.

Özel akım görünürlüğü teknikleri, çekme tankı için de geliştirilebilir. ince, yatay boya hatları, model harekete geçmeden önce suda oluşturulur. Model etrafındaki akım, gözlenebilir bir şekilde renkli olarak yer değiştirir. Boya hatları, tankta hafif tuz tabakaları ile dengelenebilir. Yatay boya tabakaları sistemi çeşitli deneylerde kullanılabilir.

5.2. Üç Boyutlu Bir Cismin Altı Bileşenli Dinamometre ile Ölçümleri:

5.2.1. Ölçme Prensibi:

Altı bileşenli dinamometre, dik koordinat sisteminde ölçüm yapar. Sonuç kuvvet, dirseğin iki ucundaki bağlantı çubuğu yardımıyla mekanik olarak altı bileşene ayrılır. Bileşenlerin ölçülmesi, strain-gage (uzama teli) esaslı elektrikli transducerler yardımıyla olur.

Dinamometrenin ölçüm sistemi, su geçirmez bir kutu içindedir. Bu kutunun kenarları, ölçme kesitinin pencere tarafına bağlanmış bir pleyt üzerine mesnetlenmiştir. Kutu içindeki parçaların bağlantısı emniyetli olmalıdır, aksi halde model ve parçaları, pleyte değmeksizin serbestçe çeşitli yönlerde hareket edebilirler.

Altı bileşenli dinamometre, merkezinde bulunan açılı düzeltme başlığında ölçüm yapar. Denenecek model buraya bağlanır.

Altı bileşenli dinamometre X, Y_1, Y_2, Z_1, Z_2 ve Z_3 bileşenlerinde ölçüm yapar. X ve Y bileşenleri, bağlantı yüzeylerinden 30 mm uzaklıkta, bağlantı yüzeyine paralel bir kutu içindedir. Dinamometre, akım yönünde sadece bir bileşen (direnç) ölçer. Bu X bi-

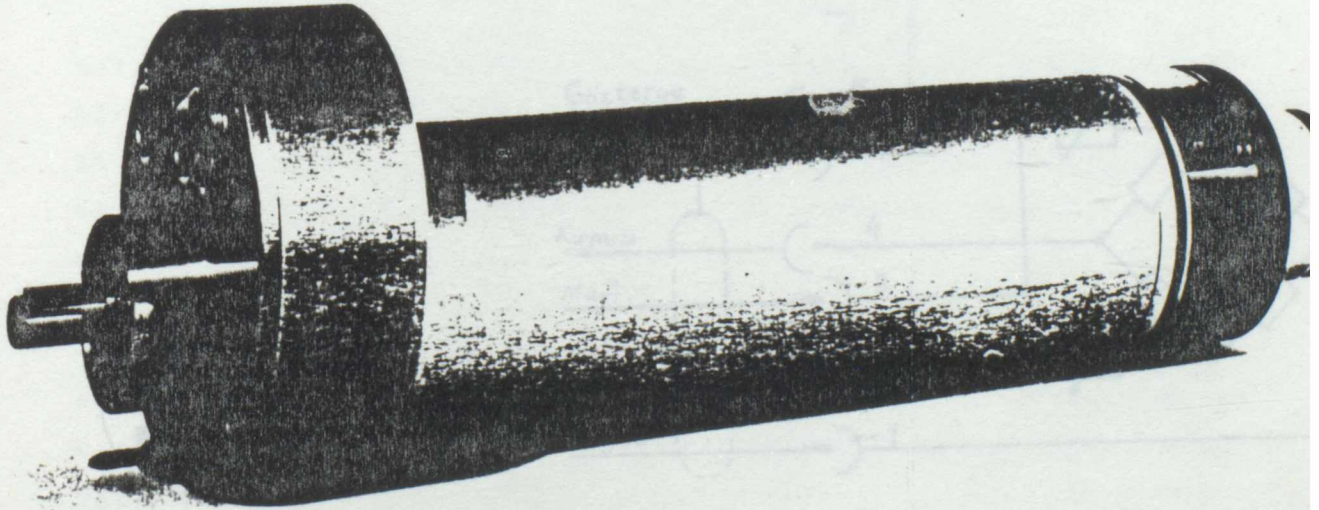
lesan... bileşenleri (kaldırma kuvveti), aynı düzlem-
deki X... olarak ölçülür. Y... bağlantı çubukları; X
bağlantı... ve Y... bağlantı çubukları, bir-
birine... olarak dik olarak dizaya edil-
mişlerdir.

5.2.2. Elektrikli...

Dinamometre, altı bileşenli...
transducerlerle donatılmıştır. Bu
tasarıma... ölçüm köprüleriyle bağlıdır.

Transducer için için verilen maksimum voltaj...
dardır. Fakat iyi bir sonuç için tavsiye edilen
tür. Ölçüm sabit voltajda (sabit akımda değil) yapılır.

Transducerler bağlantı soketleriyle bağlanmıştır. Bu soketler 4
kutuplu ve bu soketler... Soketler, şekil 5.3'de görülmektedir. Birleşme... ile yapılır.



Şekil 5.2. Pervane dinamometresi.

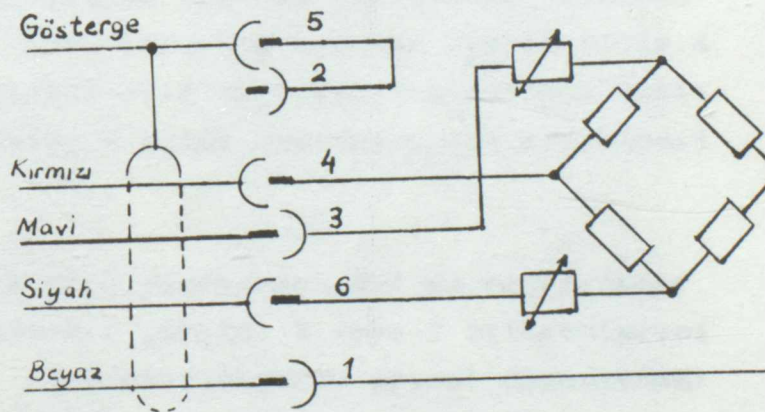
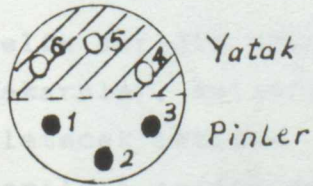
leşenidir. Y_1 ve Y_2 bileşenleri (kaldırma kuvveti), aynı düzlemdeki X bileşenine dikey olarak ölçülür. Y_1 bağlantı çubuğu; X bağlantı çubuğuna bakıldığında, X ve Y_1 bağlantı çubukları birbirine değmeden geçer vaziyette görülecek şekilde dizayn edilmişlerdir..

5.2.2. Elektrikli Transducerler:

Dinamometre, altı bileşenli ölçüm yapmak için straingage tipi transducerlerle donatılmıştır. Bu transducerler, DC veya frekans taşıyıcı tip ölçüm köprüleriyle bağlantılıdır.

Transducer için izin verilen maksimum voltaj 10 volt civarındadır. Fakat iyi bir netice için tavsiye edilen değer 5 volt-tur. Ölçüm sabit voltajda (sabit akımda değil) yapılmalıdır.

Transducerler bağlantı soketleriyle bağlanmıştır. Bu soketler 4 kutuplu ve su sızdırmazdır. Bağlantılar, şekil 5.3.'de görülmektedir. Birleşme, lehim ile yapılmıştır.



Şekil 5.2.

Her transducer için kablolu bir tıkaç üretilmiştir. Kabloların serbest uçları aşağıdaki gibi başlanmalıdır:

Siyah ve mavi : voltaj besleme,
Beyaz ve kırmızı : diyagonal ölçüm.

5.2.3. Hücum Açısının Ayarlanması:

Deney modelinin hücum açısı, koordinat sisteminde 0° ile 360° arasında olmalıdır. Ayarlama bir el çarkı yardımıyla, dinamometrenin alt tarafındaki helisel bir dişli ile olur. Dişli, mesnetlenmiş deney modeline flens ile direk bağlıdır. Dişli bir sonsuz vida yardımıyla döndürülür. Şaft bağlantısı bir el çarkıyla olur ve şaft bir vida ile 40° hareket ettirilebilir.

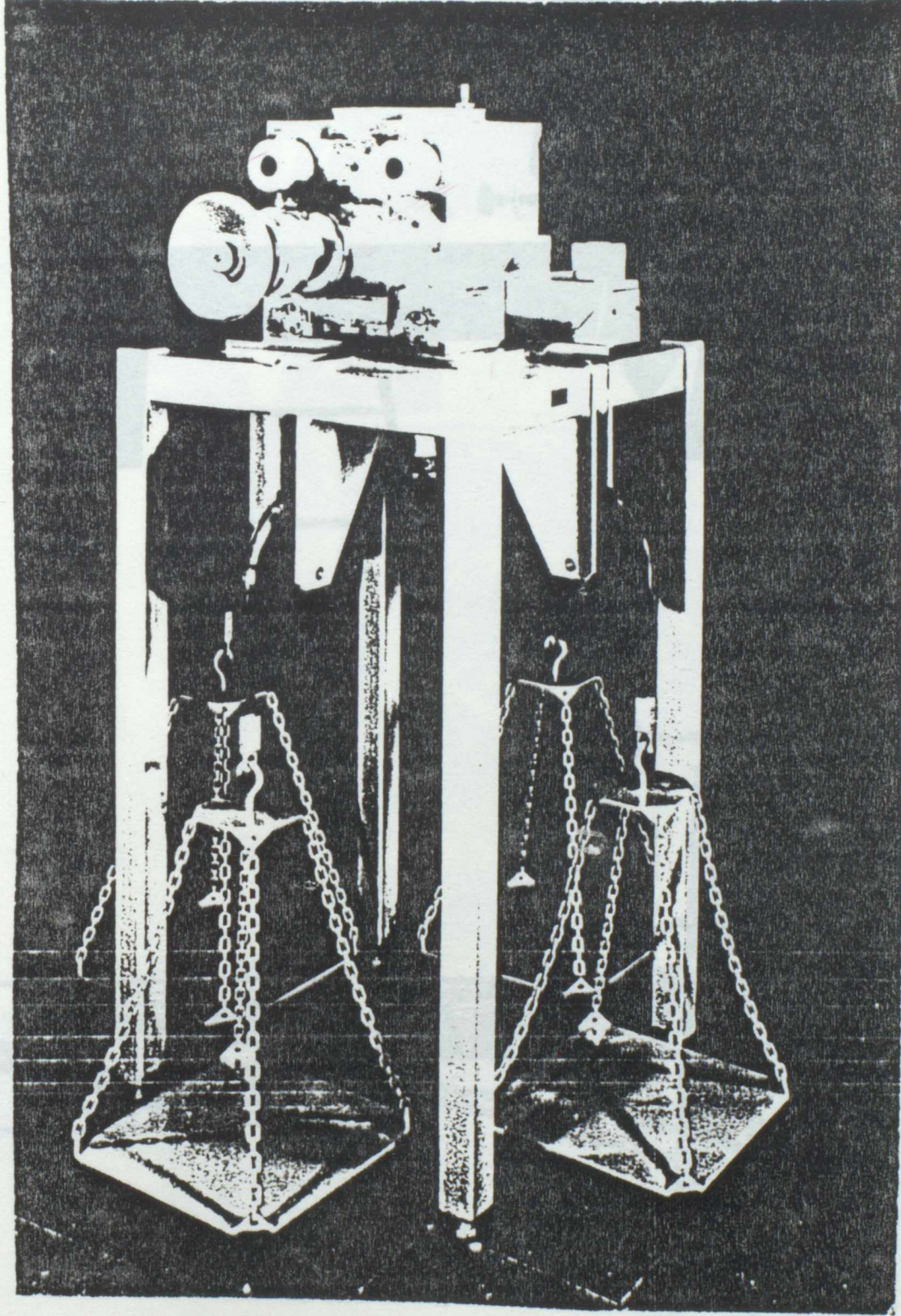
5.2.4. Kalibrasyon:

Dinamometre kalibrasyonu için kalibrasyon mesnetleri, şekil 5.4 ve 5.5'de görüldüğü gibi arka kısma bağlanır. Dinamometrenin kalibrasyon mesnetlerine bağlanması için dört adet sızdırmaz vida vardır.

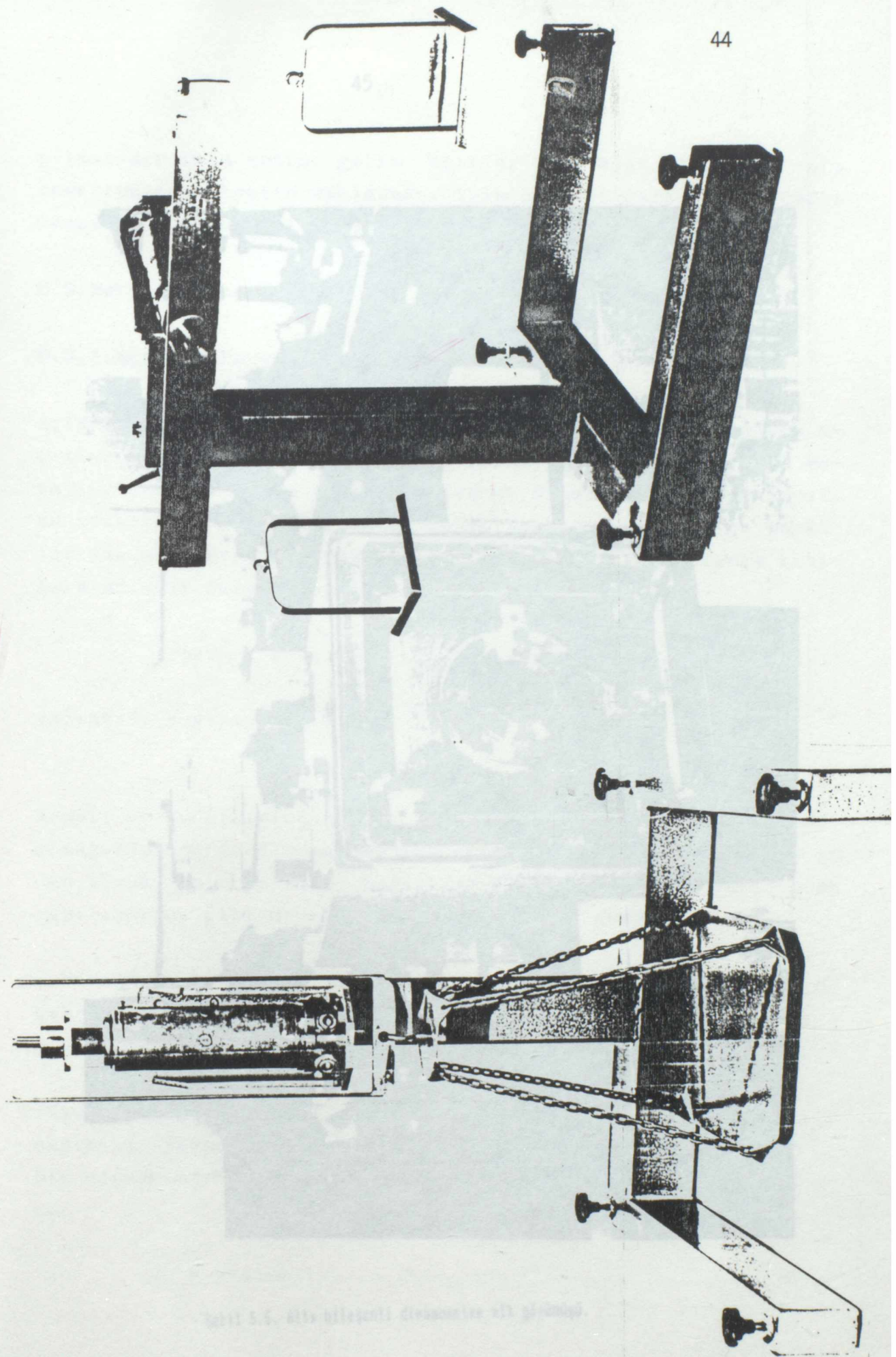
Kalibrasyon cihazının 4 havzasına değişik yüklemeler verilebilir. Böylece 6 transducer, artı veya eksi olarak yüklenebilir. 4 havzanın ağırlığı tam olarak eşit değildir. Transducere bağlı ölçü köprüsünün sıfır noktası, 4 havza bağlandığında ayarlanmış olmalıdır.

Çelik şeridin uzunluğu X-Y ölçü yüzeyinden 200 mm mesafededir. Makaralar, kalibrasyon kuvveti paralel X veya Y bileşenlerini iletecek şekilde sıraya konmuştur. Böylece açısal düzenlemesi yapılmış apsise doğru geçerler.

Açısal pozisyon gösterici için iki adet skala yüzüğü vardır. Bunlar sıfıra ayrılmış olmalıdır. Skala yüzüklerine, ölçüm bitinceye kadar dokunulmamalıdır, açı ayarlaması el çarkı ile ya-



Şekil 5.4. Altı bileşenli dinamometre kalibrasyon sehpası.



olmalıdır. Daha sonra, geliş açısını ayarlayan el çarkı ters çevrilmeli, emniyetin sağlanması için helisel çark ile el çarkı arasına emniyet baskısı konmalıdır.

5.3. Pervane

5.3.1. Açık Pervane

Açık pervane, ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar.

Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar.

Kapalı pervane, ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar.

Yukarıda, ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar.

İtme, ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar. Ölçüm esnasında, ölçülen cisimlerin dışına çıkması, ölçümün güvenli yapılmasını sağlar.

Şekil 5.6. Altı bileşenli dinamometre alt görünüşü.

pıllmalıdır. Daha sonra, geliş açısını ayarlayan el çarkı ters çevrilmeli, emniyetin sağlanması için helisel çark ile el çarkı arasındaki sürücü şaft diğerleriyle bağlantısız olmalıdır.

5.3. Pervane deneyleri:

5.3.1. Açık-su Pervane deneyi:

Açık-su pervane deneyinin amacı, deneyi yapılacak pervanenin açık su karakteristik değerlerini bulmaktır. Açık-su pervane deneyleri, model çekme tankında, açık su kanallarında veya kapalı su tünellerinde yapılır. Model çekme tankında ve açık su kanallarında serbest yüzey etkisi olabilir. Sistem, atmosferik etkilere açıktır. Burada yapılacak deneylerde;

$$h_{man} > D \dots\dots\dots (5.1)$$

bağıntısı sağlanmalıdır.

Kapalı su tünellerinde ise sistem atmosferik etkilere kapalı olduğundan, serbest yüzey etkisi görülmez. Ancak burada da 20 cm den büyük çaplı pervane modelleri denenemez. Deney, derin suda yapılmıyormuş gibi olur. Fakat, blokağ etkisi görülebilir.

Yukarıda da belirttiğimiz gibi bu deneyden amaç, pervanenin açık-su karakteristiklerini (k_r, k_a, J) ve pervane verimini (η_o) elde etmektir.

İtme kuvveti, T , dönme momenti, Q , model pervane hızı V ve devir sayısı, n , pervane şaftına bağlı bir dinamometre yardımıyla elektronik göstergeden okunur. V_a ise;

$$V_a = V(1-w) \dots\dots\dots (5.2)$$

formülüyle indirekt olarak hesaplanır. Burada w , iz katsayısıdır.

O halde burada bulunacak değer ilerleme katsayısı, J 'dir. Bu değer, hızın ve devir sayısı'nın bir fonksiyonudur. Yani;

$$J = f(V_a, n) \quad (5.3)$$

dir. O halde deneyi iki şekilde yapmak mümkündür:

1- V_a değeri k_T sabit tutup, n değerini değiştirerek, J değeri η_0 olarak bulunur.
2- n değeri $10k_Q$ sabit tutup, potansiyeltra yardımıyla V_a değerini değiştirerek. Her iki halde de J değeri değiştirilerek, değişik J değerlerine karşılık gelen k_T , k_Q ve η_0 değerleri bulunarak grafik çizilir. (Şekil 5.7). Böylece pervanenin açık su karakteristik değerleri elde edilmiş olur.

Deney esnasında su yoğunluğu γ , deneimetre ile ölçülür, veya sıvı ağırlığının fonksiyonu olarak tablolardan bulunur. Buradan da akışkanın yoğunluğu γ yaklaşıktır olarak hesaplanır:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (5.4)$$

Bu şekilde karakteristikleri bulunan bir model pervaneden aynı pervaneye geçebilmek için, her iki sistemin de benzerlik yasalarının gerçekleşecek şekilde seçilmesi gerekir. Bu yasa uyarınca, geometrik olarak benzer sistemlerde benzer noktadaki akışkan parçacıkları orantılı kuvvetlerin etkisi altında, benzer zamanlarda, benzer yörüngeler çizerek hareket ederler. Benzerliği meydana getirirler. Atelet, yavaşlık ve hızın kuvvetlerinin H/D : Sabit olması, dinamik benzerlik benzerlik teshil eden Newton, Froude ve Reynold yasalarına uyulması gerekir. Benzerlik yasalarının uygulanabilmesi için, benzerlik yasaları ve kinematik benzerlik sağlanması şarttır.

Şekil 5.7, Açık-su pervane deneyi sonuç diyagramı.

Eğer model, ağırlıkla bir ölçekte yapılmış bir benzeri ise, geometrik benzerlik sağlanmış demektir. Kinematik benzerlik ise, hızlar arası benzerliktir. Yani, benzer noktadaki hızlar

formülüyle indirekt olarak hesaplanır. Burada w , iz katsayısıdır noktalarındaki hızlar: V_A ilerleme hızı ve w_{ND} çevresel hızdır. O halde burada bulunacak değer, ilerleme katsayısı, J 'dir. Bu değer, hızın ve devir sayısı-nın bir fonksiyonudur. Yani;

$$J = f(V_A, n) \dots\dots\dots (5.3)$$

dir. O halde deneyi iki şekilde yapmak mümkündür:

- veya:
- 1° V_A değerini sabit tutup, n değerini değiştirerek,
 - 2° n değerini sabit tutup, potansiyometre yardımıyla V_A değerini değiştirerek. Her iki halde de J değeri değiştiğinden, değişik J değerlerine karşılık gelen k_r , k_a ve k_p değerleri bulunarak grafik çizilir (Şekil 5.7.). Böylece pervanenin açık-su karakteristik değerleri elde edilmiş olur.

Deney esnasında su yoğunluğu γ , dansimetre ile ölçülür, veya sıcaklığın fonksiyonu olarak tablolardan ρ bulunur. Buradan da akışkanın yoğunluğu γ yaklaşık olarak hesaplanır:

$$\gamma = \rho \cdot g \dots\dots\dots (5.4)$$

Bu şekilde, karakteristikleri bulunan bir model pervaneden asıl pervaneye geçebilmek için, her iki sistemin de benzerlik yasalarını gerçekleyecek şekilde seçilmiş olması lazımdır. Bu yasa uyarınca, geometrik olarak benzer sistemlerde benzer noktadaki akışkan parçacıkları, orantılı kuvvetlerin etkisi altında, orantılı zamanlarda, benzer yörüngeler çizmek suretiyle kinematik benzerliği meydana getirirler. Atalet, yerçekimi ve sürtünme kuvvetlerinin varlığından dolayı, dinamik benzerlik esasını teşkil eden Newton, Froude ve Reynold yasalarına uymak gerekir. Benzerlik yasasını uygulanabilmesi için, öncelikle geometrik ve kinematik benzerliğin sağlanması şarttır.

Eğer model, aslının belirli bir ölçekte küçültülmüş bir benzeri ise, geometrik benzerlik sağlanmış demektir. Kinematik benzerlik ise, hızlar arası benzerliktir. Yani, karşıt noktalardaki hızla-

rın birbirlerine oranı sabit olmalıdır. Pervane için karşıt noktalardaki hızları V_{EEm} ilerleme hızı ve $\pi n D$ çevresel hız olarak alırsak, kinematik benzerlik şartı olarak:

$$\frac{V_{EEm}}{V_{EEs}} = \frac{\pi \cdot n_m \cdot D_m}{\pi \cdot n_s \cdot D_s} \dots \dots \dots (5.5)$$

veya;

$$\frac{V_{EEm}}{\pi \cdot n_m \cdot D_m} = \frac{V_{EEs}}{\pi \cdot n_s \cdot D_s} \dots \dots \dots (5.6)$$

eşitliklerini elde ederiz. Buradaki m ve s indisleri model ve tam boyutlu pervaneyi karakterize etmektedir. Buradan:

$$J_m = J_s \dots \dots \dots (5.7)$$

elde edilir.

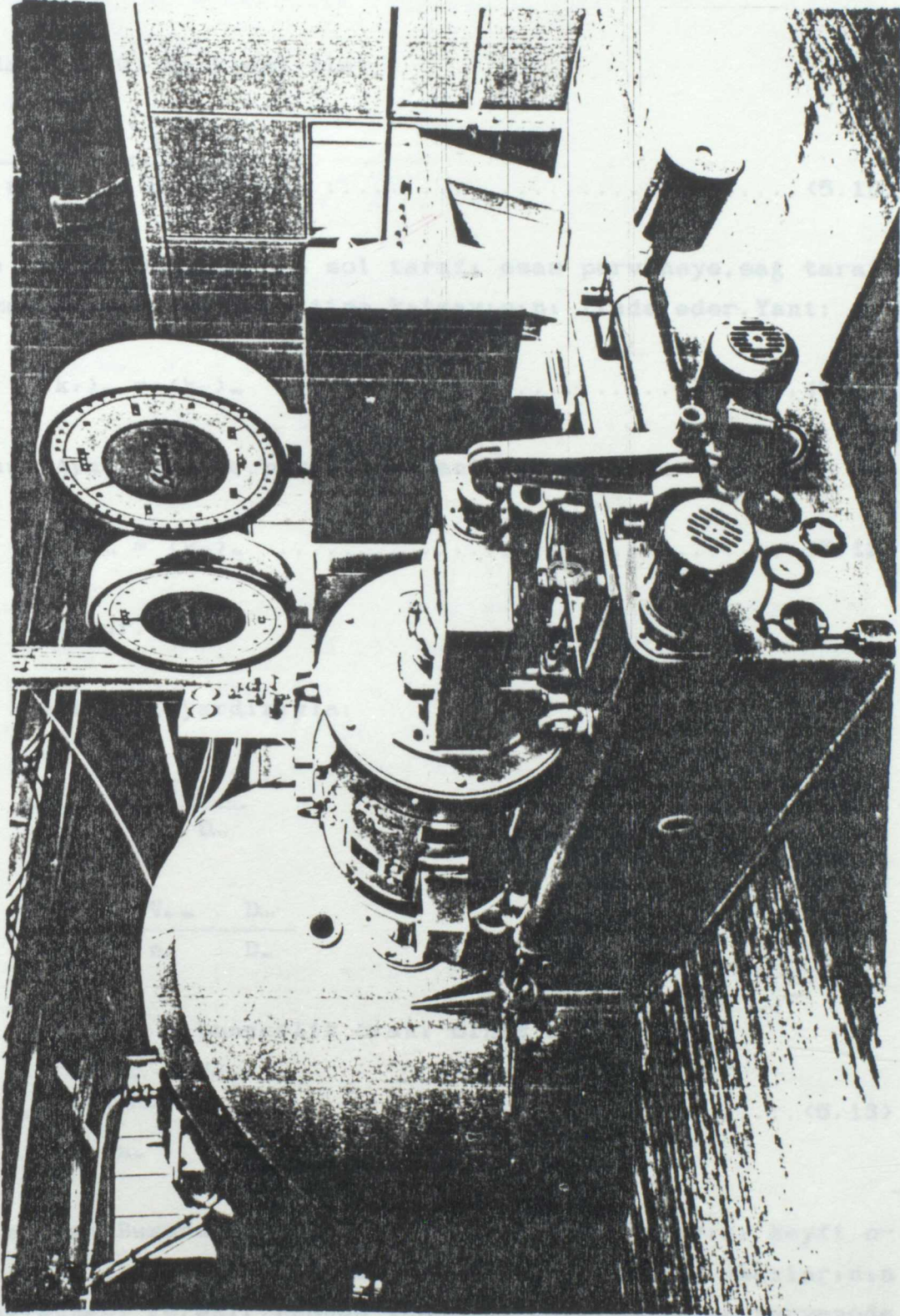
Newton kanununa göre, benzer iki sisteme ait, aynı cins iki kuvvetin oranı:

$$\lambda = \frac{\rho_m / 2 \cdot S_m \cdot V_m^2}{\rho_s \cdot n_s \cdot S_s \cdot V_s^2} \dots \dots \dots (5.8)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer bu kuvvetler, pervane itme kuvvetleri T_m ve T_s ise,

$$\lambda = \frac{\rho_m / 2 \cdot S_m \cdot V_m^2}{\rho_s / 2 \cdot S_s \cdot V_s^2} = \frac{T_m}{T_s} \dots \dots \dots (5.9)$$

denklemlerini elde ederiz. Burada S karakteristik alan, yani pervane disk alanı; V de karakteristik hız, yani çevresel hız olarak alınırsa:



Şekil 5.8. Bir kavitasyon tüneline pervane deneyleri için dinamometre sistemi.

$$S = \pi \cdot D^2 / 4, \quad V = \pi \cdot n \cdot D$$

buradan, (5.9) denklemi ile:

$$\frac{T_{ss}}{\rho \cdot n_{ss}^2 \cdot D_{ss}^4} = \frac{T_m}{\rho \cdot n_m^2 \cdot D_m^4} \quad \dots \dots \dots (5.10)$$

ifade edilir. Bu ifadenin sol tarafı esas pervaneye, sağ tarafı ise, model pervaneye ait itme katsayısını ifade eder. Yani:

$$(k_T)_m = (k_T)_{ss} \quad \dots \dots \dots (5.11)$$

bulunur. Aynı şekilde, pervane momentleri için de:

$$(k_Q)_m = (k_Q)_{ss} \quad \dots \dots \dots (5.12)$$

şartı bulunur.

(5.7) eşitliği yardımıyla:

$$\frac{V_{E_{ss}}}{n_{ss} \cdot D_{ss}} = \frac{V_{E_m}}{n_m \cdot D_m}$$

$$\frac{V_{E_m}}{n_m} = \frac{V_{E_{ss}} \cdot D_m}{n_{ss} \cdot D_{ss}}$$

$D_{ss}/D_m = \alpha$ benzerlik oranı olmak üzere;

$$V_{E_m} = \frac{n_m \cdot V_{E_{ss}}}{n_{ss} \cdot \alpha} \quad \dots \dots \dots (5.13)$$

elde edilir. Buradan ilerleme hızı veya devir sayısı keyfi olarak seçilebilir. Bu sebeple, Froude ve Reynold yasalarının gerçekleşmesi gerekir. Froude yasasına göre, model ve pervanede karşıt noktalardaki atalet kuvvetlerinin yerçekimi kuvvetlerine oranı sabit olmalıdır.

Pervane için, karakteristik uzunluğu D , hızı da $\pi \cdot n \cdot D$ çevresel hız olarak alırsak:

$$Fr = \frac{\pi \cdot D_m \cdot n_m}{\sqrt{g \cdot D_m}} = \frac{\pi \cdot n_m \cdot D_m}{\sqrt{g \cdot D_m}} \dots \dots \dots (5.14)$$

bulunur. $D_m/D = \alpha$ olduğuna göre:

$$n_m = n \cdot \alpha \dots \dots \dots (5.15)$$

bulunur.

$$V_m = V / \sqrt{\alpha} \dots \dots \dots (5.16)$$

buluruz. Böylece, Newton ve Froude yasalarının birarada gerçekleşmesiyle (5.15) ve (5.16)'den, tam boyuttaki pervane ve modeline ait devir sayıları ve pervaneye gelen su hızları arasındaki bağıntı olur. Froude benzerlik yasasına göre, model pervane ile ait itme kuvvetleri arasındaki bağıntı, (5.10) ve (5.15) denklemlerinden :

$$T_m = \alpha^3 \cdot T \dots \dots \dots (5.17)$$

şeklinde elde edilir. Yine, model pervane ile aslının momentleri arasında da, (5.12) ve (5.13) denklemleri kullanılarak:

$$Q_m = \alpha^4 \cdot Q \dots \dots \dots (5.18)$$

elde edilir.

Açık-su pervane deneylerinde sürtünme kuvvetlerinin varlığı, Reynold yasası geçerli kılar. Bu yasa gereğince, sürtünme kuvvetinin atalet kuvvetlerine oranı, model ve aslının pervane-de eşit olmalıdır.

Karakteristik boy olarak, kritik kesit olan pervane yarıçapının 0.7 kesitinin kanat kesit boyu, hız olarak da, bu kesitin u dönme hızıyla ve V_E öteleme hızıyla oluşan bileşke hız alınır. Yani:

$$Re = l_{0.7R} \cdot \sqrt{u^2 + V_E^2} / \nu \quad (5.19)$$

Burada $u = 0.7\pi nD$ ve $V_E = JnD$ yazılabilir. O halde:

$$Re = l_{0.7R} nD \sqrt{J^2 + (0.7\pi)^2} / \nu = C.l_{0.7R} nD / \nu \quad (5.20)$$

bulunur. $\nu_m = \nu_s$ kabul edersek:

$$\frac{D_m}{D_s} = \frac{l_{0.7Rm}}{l_{0.7Rs}} \quad \text{veya ;} \quad n_m = \alpha^2 \cdot n_s \quad (5.21)$$

elde edilir. Froude ve Reynold yasalarının aynı anda gerçekleşmesi mümkün olamamaktadır. Bunun için hesaplarımızı Froude benzerlik yasası üzerinden yapar ve Reynold sayısının gerçekleşmemesinden doğan hatayı, bir ölçek etkisi olarak kabul ederiz.

Açık-su pervane deneyinde bazı önemli noktalar şunlardır:

-Pervane sağa dönüşlü ise, sağa dönerken verdiği değerler pozitif kabul edilir.

-Sıfır hızda çekme yapan (iskeleye bağlı) romorkör deneylerinde, impeller potansiyometresi çalıştırılmaz, su hızı sıfırdır. Yalnız pervane potansiyometresi ile pervane döndürülerek deney yapılır.

-Pervane dinamometresi boşa alınıp duruyorsa, hareketli suyun pervaneye çarpmasından dolayı, pervane dönmeye başlar. Bu, pervanın kendi dönüşü değildir, hız da pervane hızı değildir.

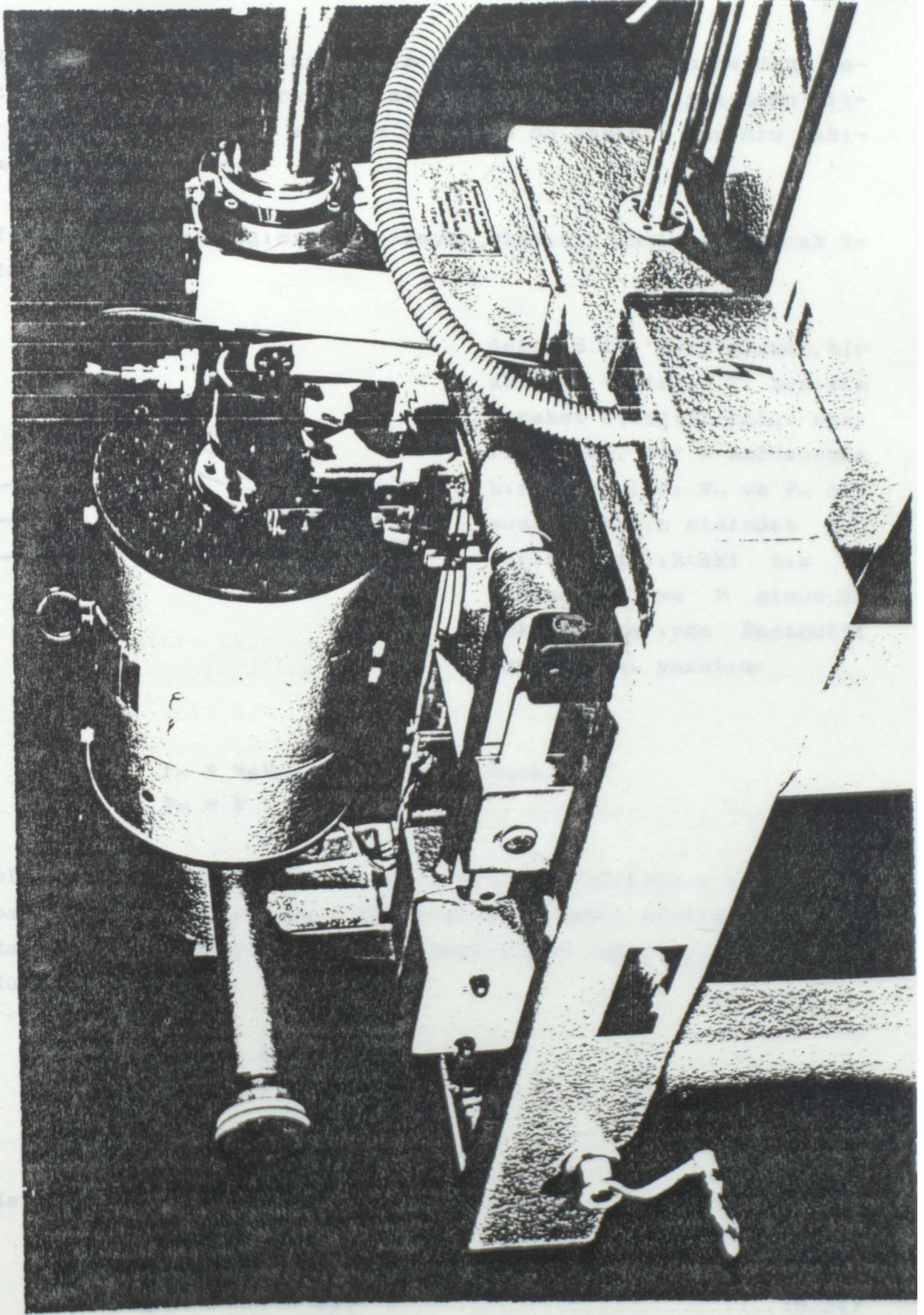
- γ ölçümlerinde, deney gün boyu yapılıyorsa, günün değişik zamanlarında su sıcaklığının değişeceği unutulmamalıdır.

5.3.2. Kavitasyon Deneyi:

Bir sıvı akışkan içinde bulunan herhangi şekilli bir cisim etrafında oluşan hız alanı ve basınç alanını teorik ve deneysel olarak bulmuş olalım. Böyle bir cisim etrafındaki bazı bölgelerde lokal basınçların değeri, akışkanın buharlaşma basıncının altına düşebilir. Bu durumda, cismin etrafındaki akım, sıvı akışkan içinde bulunan erimiş haldeki hava ve çeşitli gazların kabarcık oluşturmaları nedeniyle bozulur. Kabarcıkların oluşması, gelişip büyümesi ve cisim yüzeyinde patlaması olayına **Kavitasyon** denir.

Kavitasyon arzu edilmeyen bir durum olup, bir anlamda hidrolik elemanların kanseri şeklinde de kabul edilir. Endüstrideki birçok uygulamada, barajlardaki su türbin kanatlarında, gemi pervanelerinde, hidrofoil gemilerin taşıyıcı kanatlarında vs görülmektedir. Kavitasyon iki yönden etkisini gösterir. Birincisi, cihazın hidromekanik özelliklerinin bozulması, ikincisi, cihazın malzemesinin tahribe uğramasıdır. Her iki etki yanında, cihazın gürültülü çalışması, ötmesi, titreşim yapması da sayılabilir.

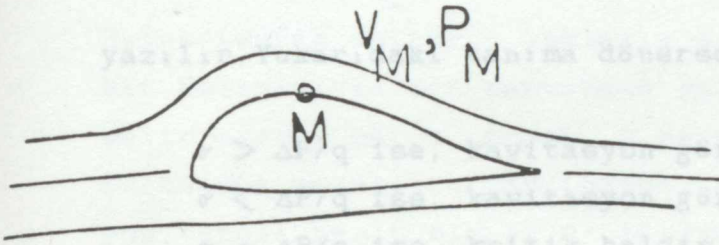
Pervaneler için kavitasyon olayı çok önemlidir. Genellikle, kavitasyondan dolayı pervanenin sevk karakteristiklerinin düşmesi ile, geminin istenilen hızda sevkı imkansızlaşır veya istenilen hızın sağlanması için devir sayısını ve gerekli gücü artırmak gerekir. Bununla beraber, pervane kanadı üzerinde kabarcıkların patlamasıyla erozyon olayı görülür. Pervane kanadının bir kısmı pürüzlenir. Devamlı kavitasyon etkisiyle dış dış olup kanat formunu kaybeder. Böylece kanat mukavemeti azalır ve pervane kanadı kırılabilir. Bütün bunlar kavitasyonun önemini gösterir. Bazı hallerde meydana gelen etkiler o kadar önemlidir ki kısa zamanda cihazın değiştirilmesi veya yenisinin dizaynı bile sözkonusu olmaktadır. Bu olaya bir örnek olarak, Normandi transatlantiginin iki seferinden sonra orijinal pervanelerinin kullanılamayacak ve tamiri mümkün olmayacak şekilde kavitasyon erozyonuna maruz kalması gösterilebilir.



Şekil 5.9. Kavitasyon tüneli dinamometresi.

Kavitasyon olayı, yalnız verim azalması ve erozyon meydana getirmez. Kavitasyon sırasında akım hatlarının bozulmasından titreşim ve vuruntular meydana gelir. Bu da geminin konforu bakımından sakıncalıdır.

Yukarıda tanımladığımız kavitasyon olayını, analitik olarak ifade edelim:



Şekil 5.10.'daki cismin, bir akışkan içinde V hızıyla hareket ettiğini kabul edelim. Bunun, bir M noktasında hız ve basıncı V_M ve P_M olsun. Akışkanın cisimden yeterli uzaklıktaki hız ve basıncı V ve P olsun. Bu nokta etrafında Bernoulli bağıntısını yazalım:

Şekil 5.10.

$$P_M + \frac{1}{2}\rho V_M^2 = P + \frac{1}{2}\rho V^2 \quad \text{veya;}$$

$$P_M = P - \frac{1}{2}\rho (V_M^2 - V^2) \quad \dots\dots\dots (5.22)$$

olur. Tanımdaki kabule göre, P_M basıncının akışkanın buharlaşma basıncı olan e değerine kadar düştüğünü kabul edelim. Bu durumda kavitasyon olayı başlamış demektir. Son bağıntıyı buna göre düzenlersek:

$$P - P_M = \frac{1}{2}\rho (V_M^2 - V^2)$$

$$P_M + e \text{ ise;}$$

$$P - e = \frac{1}{2}\rho (V_M^2 - V^2) \quad \dots\dots\dots (5.23)$$

Her iki tarafı $\frac{1}{2}\rho V^2$ 'ye bölersek:

$$\frac{P - e}{\frac{1}{2}\rho V^2} = \frac{\frac{1}{2}\rho (V_M^2 - V^2)}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad \dots\dots\dots (5.24)$$

olur. Buradaki:

$(P - e) / \frac{1}{2} \rho V^2 = \sigma$ ifadesine **Kavitasyon sayısı** veya **Thoma sayısı** denir. O halde:

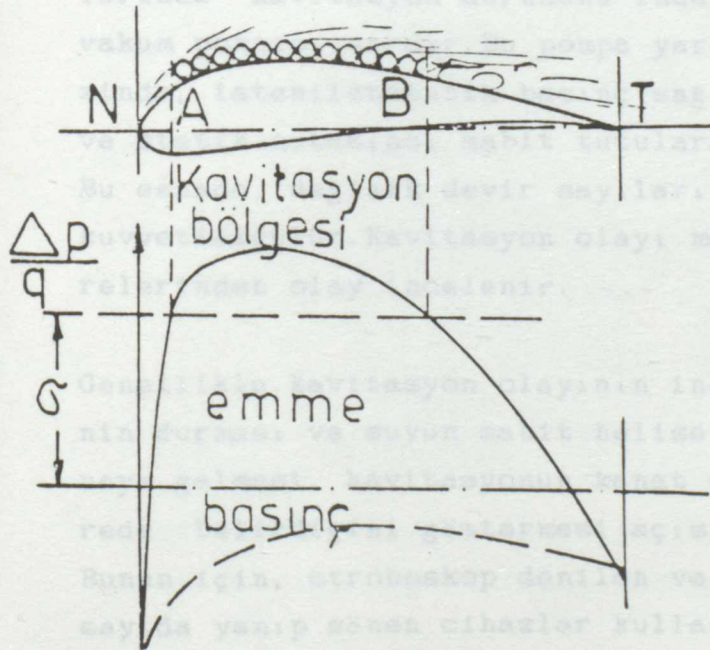
$$\sigma = \frac{P - e}{q} = \frac{\Delta P}{q} \dots \dots \dots (5.25)$$

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2$$

yazılır. Yukarıdaki tanıma dönersek;

- $\sigma > \Delta P/q$ ise, kavitasyon görülmeyecek,
- $\sigma < \Delta P/q$ ise, kavitasyon görülecektir.
- $\sigma = \Delta P/q$ ise, kritik haldir.

σ sayısı yalnız akışkanın özelliklerine, hızına ve gözönüne alınan noktaların statik basıncına, yani cismin akışkan içindeki derinliğine bağlıdır. $\Delta P/q$ ise, V_m değerinden dolayı, tamamen cismin geometrisine bağlı bir değerdir.



Şekil 5.11.

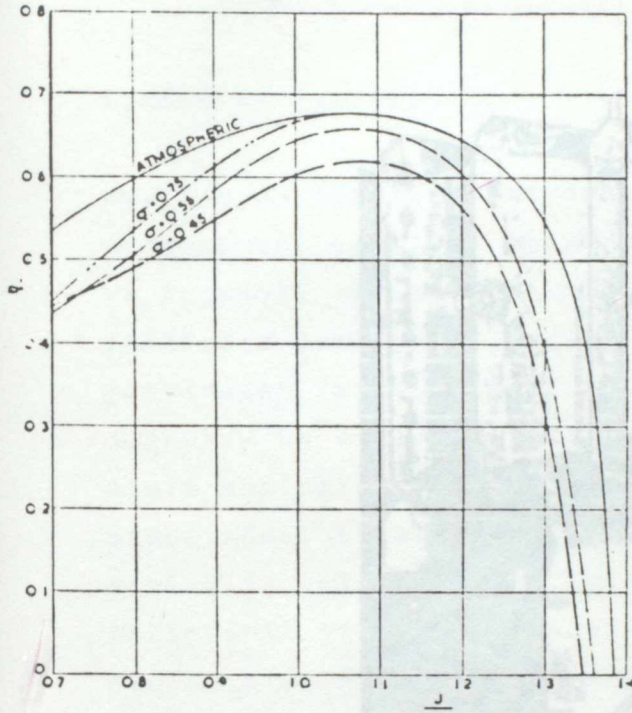
Yukarıda çıkarılan analitik bağıntıyı şematik olarak, şekil 5.11 göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, akışkan içinde hareket eden bir cismin, herhangi bir noktasında kavitasyon olup olmayacağını, eğer $\Delta P/q$ değerleri biliniyorsa belirlemek mümkündür.

Pervanelerde kavitasyon olayının incelenmesi ve olayın önlenmesi bakımından geniş çalışmalar yapılmış-

tır. Bu çalışmaların büyük kısmını laboratuvarında model deneyleri oluşturur. Araştırmacılar olayı, kapalı bir su tüneline gözle görerek incelemek için, kavitasyon tüneline araştırmalara yönelmişlerdir. Son yıllarda, teorik çalışmalar da bu çalışmalara eklenmiş bulunmaktadır. Pervanelerde sirkülasyon teorisi, bunlardan biridir. En geniş şekilde, pervane kesitlerinde basınç düşüşünün maksimum değerini hesaplamak veya deneysel sonuçlar kullanmak şekliyle sirkülasyon teorisinde uygulama yeri bulan teorik yol, daha çok pervane dizaynı bakımından yeterlidir.

Bütün teorik yolların yaklaşık sonuç verdiğini unutmamak gerekir. Dolayısıyla bir pervanede kavitasyon durumunu kesin olarak belirleyecek metod, ancak o pervanenin belirli bir oranda küçültülmüş modelinin kavitasyon tüneline denenmesidir. Kavitasyon tüneli, geniş olarak 2. bölümde incelenmişti. Bir kavitasyon tünelinin detaylı resmi, çalışmanın sonunda verilmiştir. Kavitasyon deneyinde, denenecek model pervane ölçme kesitindeki shaft ekseninin ucuna bağlanır. Pervane istenilen devirde çevrilir. Aynı zamanda, pervane shaftına bağlı bir dinamometre ile, pervanenin moment ve itme değeri ölçülür. Değişik basınç değerlerinde kavitasyon durumunu incelemek maksadıyla ayrıca bir vakum pompası vardır. Bu pompa yardımıyla, pervane shaftı merkezinde, istenilen statik basınç sağlanır. Deney esnasında su hızı ve statik subasınç sabit tutularak devir sayısı değiştirilir. Bu esnada, değişik devir sayılarına karşı gelen moment ve itme kuvveti ölçülür. Kavitasyon olayı meydana gelmişse, gözlem pencerelerinden olay incelenir.

Genellikle, kavitasyon olayının incelenmesi sırasında, pervanenin durması ve suyun sabit helisel yörüngeler şeklinde pervaneye gelmesi, kavitasyonun kanat üzerinde hangi konumda ve nerede belirdiğini göstermesi açısından istenilen bir durumdur. Bunun için, stroboskop denilen ve pervane devir sayısı ile aynı sayıda yanıp sönen cihazlar kullanılır. Böylece, pervane sabitmiş gibi bütün olay gözlenebilir. Bu şekilde bulunmuş bir pervanenin deney sonucu, şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5,12.

dana gelebilmesi için, model ve aslına ait a ve A gibi iki noktada basınç ve hız değerleri arasında aşağıdaki bağıntıların gerçekleşmesi gerekir:

$$\left[\frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2} \right]_m = \left[\frac{P - P_{\infty}}{\frac{1}{2} \rho V_{\infty}^2} \right]_{\infty} \dots \dots \dots (5.26)$$

veya;

$$\langle \Delta P/q \rangle_m = \langle \Delta P/q \rangle_{\infty} \dots \dots \dots (5.27)$$

Model ve asıl pervanenin, aynı derecede kavitasyon tehlikesine maruz kaldığını göstermesi bakımından:

$$\left[\frac{P_0 - e}{\frac{1}{2} \rho V^2} \right]_m = \left[\frac{P_0 - e}{\frac{1}{2} \rho V^2} \right]_{\infty}$$

Bölüm 5.3.1'de pervanelere ait benzerlik kanununu çıkarmıştık. Buna göre, itme kuvveti katsayısı ve moment katsayısı gibi değerlerin, model ve aslında birbirine eşit kabul edilmesi için geometrik, kinematik ve dinamik benzerliklerin sağlanması gerekiyordu. Ancak, model deneyleri esnasında kavitasyon meydana gelirse, bu durumda dinamik benzerliğin sağlanması için ayrıca, model ve aslının kavitasyon sayılarının da eşit olması gerekir. Bunlardan başka, model ve asıl pervanelerin çalıştıkları sınırlarda, benzerliğin tam olarak sağlanması için su içinde erimiş hava miktarlarının da gözönünde bulundurulması gerekir. Model ve aslında,

benzer kavitasyon olayının mey-

veya:

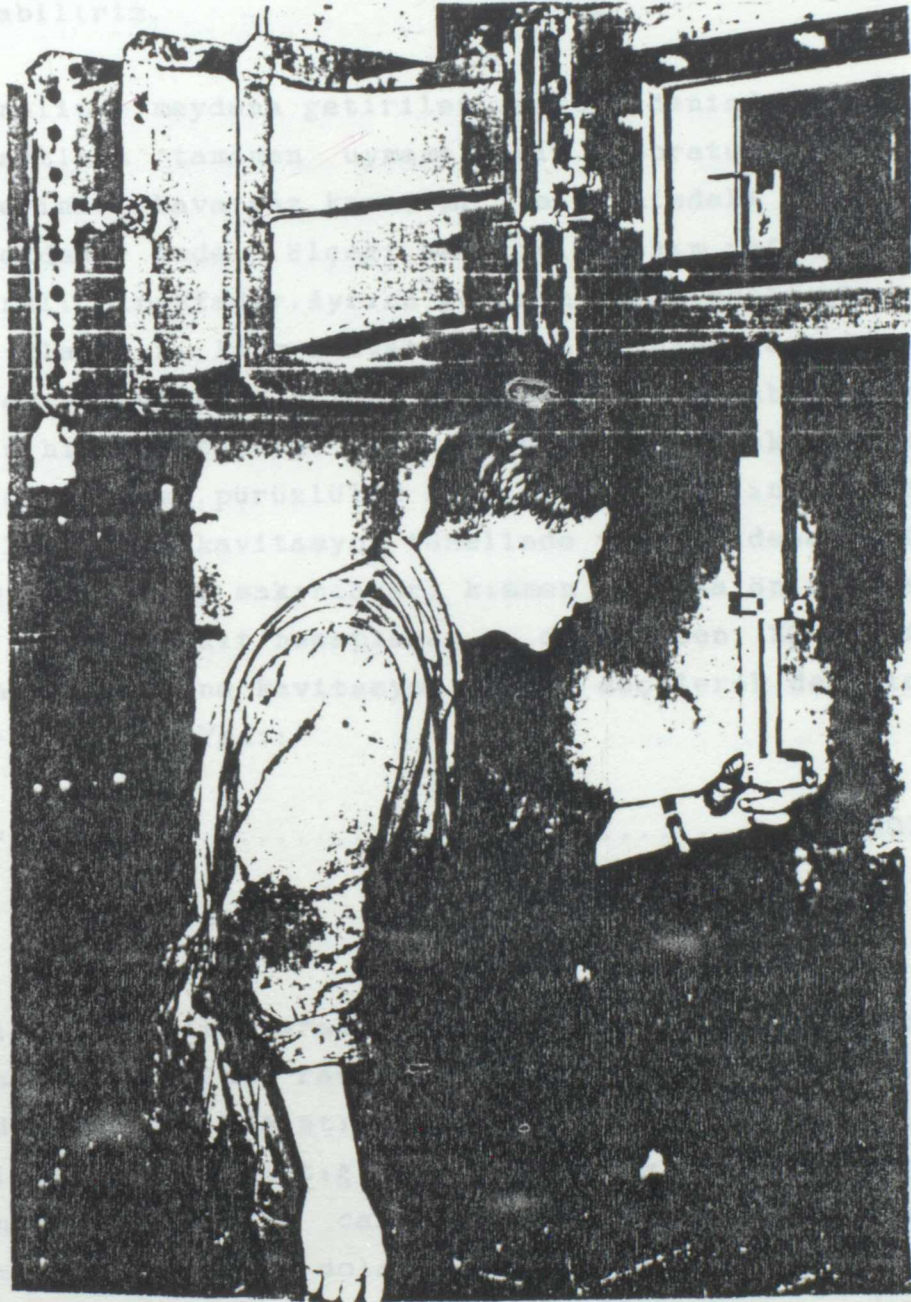
$$p_1 + \frac{\rho}{2} v_1^2 = p_2 + \frac{\rho}{2} v_2^2 \quad (5.28)$$

ifadesini yazabiliriz.

Kavitasyon türbomakinalarda, özellikle pervanede ve kanallarda meydana gelir. Pervanede kavitasyon, pervaneden çıkan akışın doğrultu ve hızının zorlukları nedeniyle, akışın arkasındaki bölgede oluşan boşluklar, bu boşlukların etrafındaki akışın hızının etrafındaki akışın hızından farklı olmasıyla, akışın bir değerde meydana gelmesi, bir

alınabilir.

Buna rağmen, kavitasyonun çalışmaları, model yapılar, Fisher'ın 1920'li yıllarda yaptığı çalışmalar, pervanenin geliştirilmesi



Şekil 5.13, Kavitasyon tüneline Prandtl tüpünün ayarı.

Sistematik pervane modellerinin kavitasyonla çalışması, akış hızları, akışın değişik, araştırılması, kavitasyon kriterleri geliştirilmiştir. Bunlar Lerch, Rosenhaft, Wogeningen Gawn ve Swell'dir. Bunlara ait detaylı bilgiler (10) ve (11)

veya;

$$\sigma_m = \sigma_{\infty} \dots \dots \dots (5.28)$$

ifadesini yazabiliriz.

Kavitasyon tüneline meydana getirilen şartlar, denizde geminin arkasındaki şartlara tamamen uymamaktadır. Laboratuvardaki su ve içindeki erimiş hava-gaz karışımı ile, denizdeki değerler farklıdır. Tüneldeki model ölçeği sebebiyle, akım rejimi asıl pervaneden farklı olmaktadır. Ayrıca, geminin arkasındaki akımın doğrultu ve hızlarının, laboratuvarda aynen meydana getirilmesinin zorlukları da dikkate alınmalıdır. Bununla beraber, gemi arkasındaki iz hızının tünelde meydana getirilmesindeki imkansızlıklar, ölçek etkisi, pürüzlülük farkı, geminin salınım hareketlerinin etkileri vs, kavitasyon tüneline yapılan deneylerin eksik kısmıdır. Bütün bu sakıncaları kısmen de olsa önlemek amacıyla, asıl pervaneye ait hesaplanan σ_{∞} değerinden, %20 eksik bir değerde model pervane kavitasyon sayısı seçilerek deneyler yapılması bir çözümdür. Yani:

$$\sigma_m = \%80\sigma_{\infty} \dots \dots \dots (5.29)$$

alınabilir.

Buna rağmen, ister teorik olarak, ister deneysel olarak yapılan çalışmalardan amaç, gemide rastlanılan kavitasyon olayı ile, model arasında iyi bir bağlantı kurabilmektir. Bu amaçla, J.W. Fisher'in [9] bir gemide yaptığı araştırmalarda, geminin pervane bölgesinde açılmış iki cam delikten göz ve fotoğrafla pervanenin çalışma durumu ve dolayısıyla kavitasyon olayı incelenmiştir.

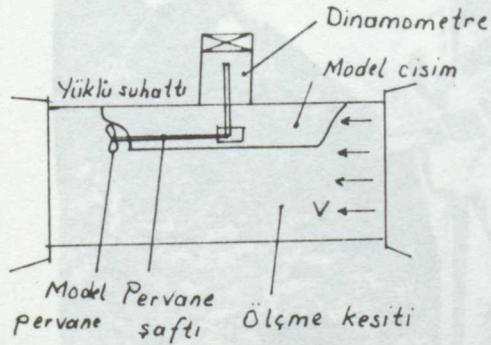
Sistematiik pervane modellerinin kavitasyon tünelineki analizleri sonucu, değişik araştırmacılar tarafından kavitasyon kriterleri geliştirilmiştir. Bunlar Lerbs, Schoenherr, Wageningen Gawn ve Burril'dir. Bunlara ait detaylı bilgiler [10] ve [11]

den bulunabilir. Söz konusu kriterler arasında geçerli olan, Burril tarafından verilen bağıntıdır.

5.4. Pervaneli Model (Sevk) Deneyleri:

Pervaneli model deneyleri de, çekme tankında veya kapalı su tünellerinde yapılabilir. Denenecek model pervane ile asıl pervane arasında çap benzerliği olmalıdır. Ancak, bu mümkün değilse, stok pervanelerden asıl pervaneye çap bakımından en çok benzer pervane seçilir. Pervane kanat sayısı ve dönme yönü, model ve asıl pervanede aynı olmalıdır.

Pervaneli model deneyleri yapılırken, genellikle daha geniş olan ölçme kesitleri kullanılır. Açık-su pervane deneylerinde kullanılan pervane dinamometresi çıkarılarak, yerine strain gage esaslı transducerlerle çalışan yeni bir pervane dinamometresi takılır (Şekil 5.14). Bu deneylerde, ölçme kesitine yalnızca mo-



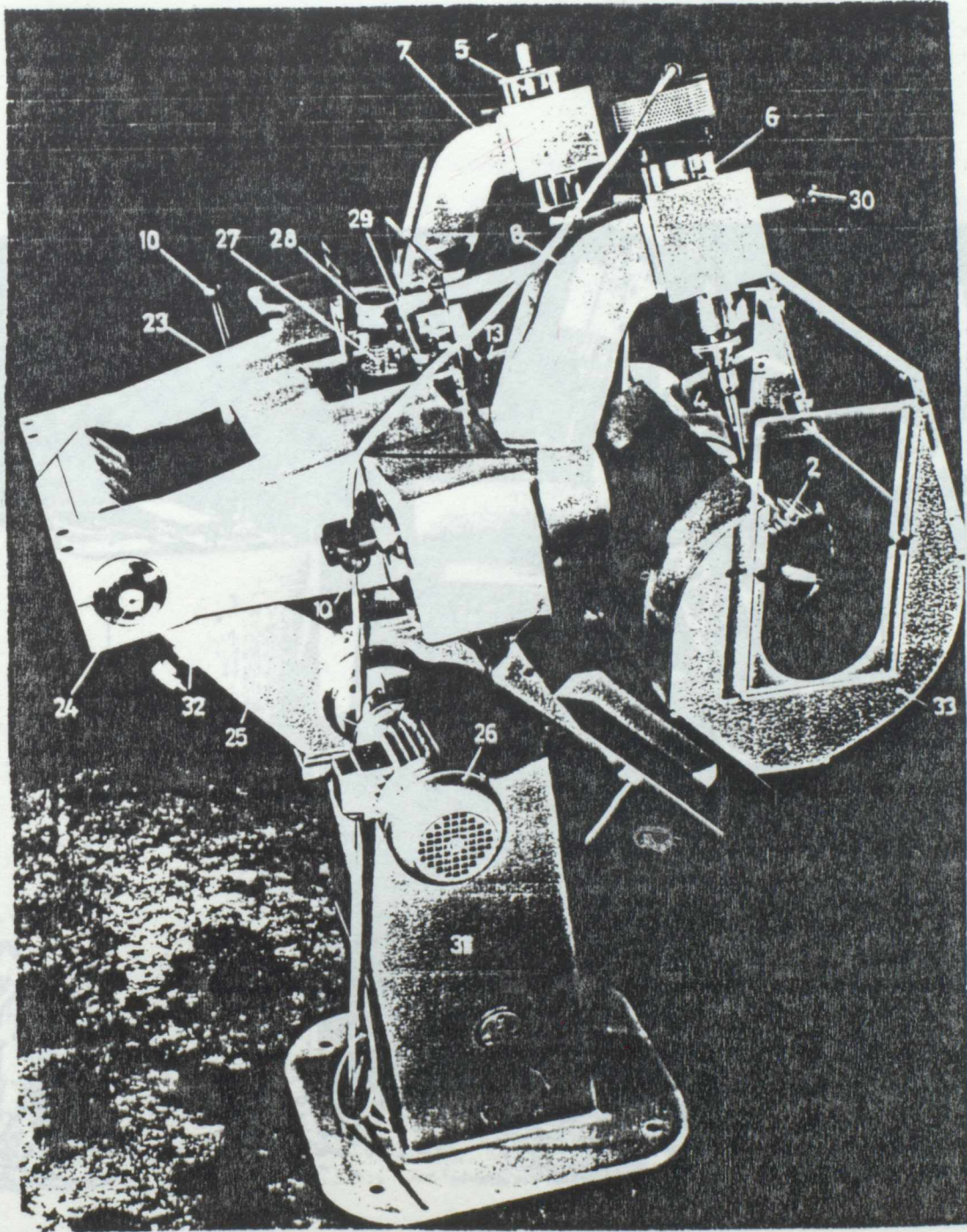
Şekil 5.14

delin sualtı kısmı bağlanır. Ancak bazı durumlarda, gemi modelinin çok büyük olup, ölçme kesitine sığmaması gibi hallerde, akımı bozmayacak şekilde modelin yarısı da bağlanabilir.

Sevk deneylerinde geminin sevk durumunu karakterize eden değerler elde edilir. Bunlar, ortalama iz katsayısı, w_{ort} , ortalama emme

katsayısı, t_{ort} , sevk verimi η gibi değerlerdir. Sevk deneyi yapılmadan önce direnç deneyi yapılarak, modelin toplam direnci bulunur.

Deneye başlandığı anda, dinamometre yardımıyla modele ait itme kuvveti, T_m ; moment, Q_m ; devir sayısı, n_m vs pervane hızı V_m okunur. Bununla birlikte, strain-indicator veya pen-recorder denilen kalemlerle bu değerler grafikler halinde de verilebilir. Bu



Şekil 5.15, Model pervane frezesi.

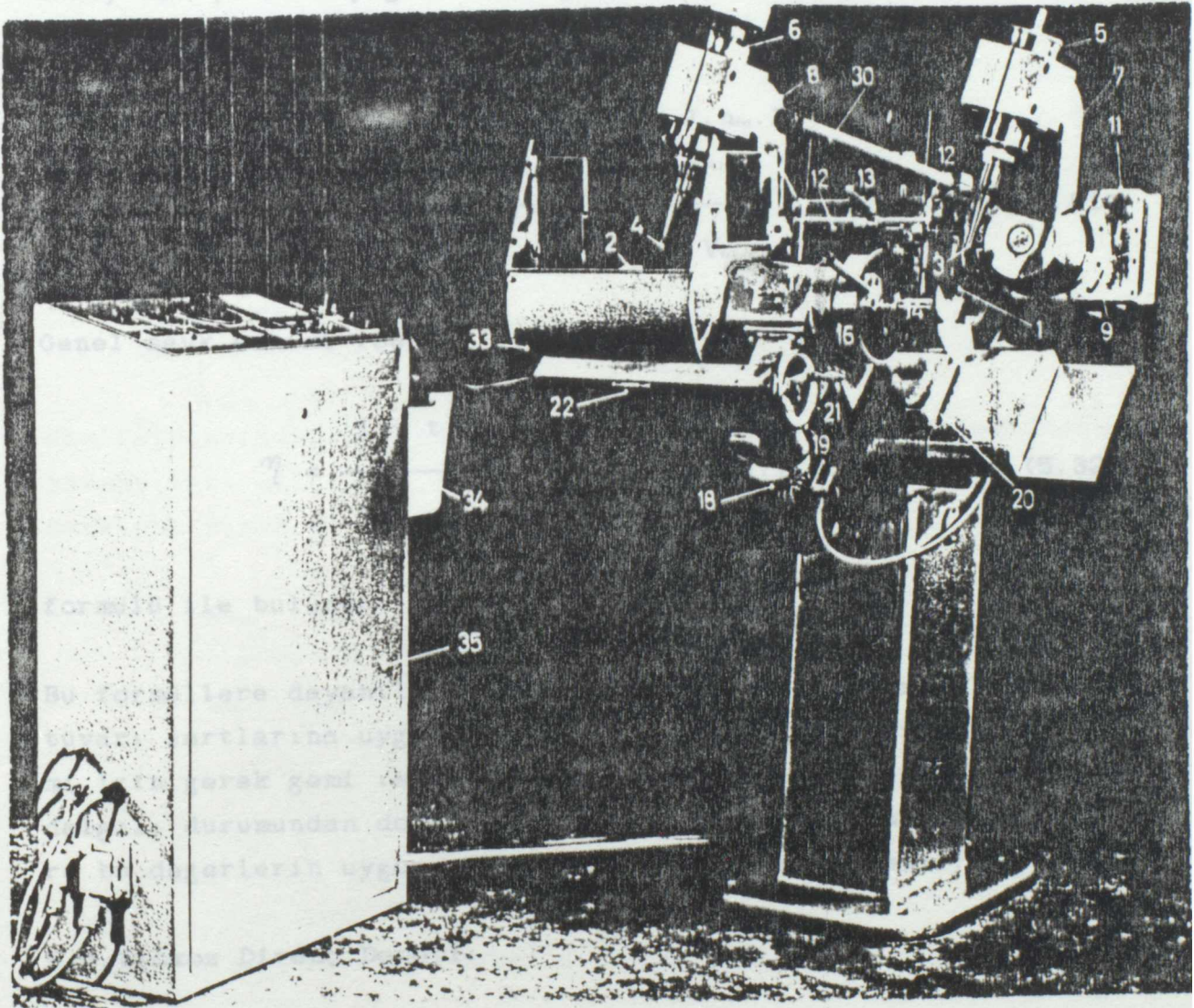
değerler bilindiğine göre:

$$T_m = R_{m1} + R_{m2}$$

$$T_m = \frac{R_{m1} + R_{m2}}{2} = 1 - \frac{R_{m1} + R_{m2}}{2} \quad (5-30)$$

$$T_m = \frac{R_{m1} + R_{m2}}{2} = 1 - \frac{R_{m1} + R_{m2}}{2}$$

formülüyle emme katsayısı bulunur. Pervanein açış-pervane deney sonuçları diyagramından yararlanarak aşağıdaki şekilde



Şekil 5.16. Model pervane frezesi.

değerler bilindiğine göre:

$$t = \frac{T_m - R_{Tm}}{T_m} = 1 - \frac{R_{Tm}}{T_m} \quad (5.30)$$

formülüyle emme katsayısı bulunur. Pervanenin açık-su pervane deney sonuçları diyagramından yararlanarak, aşağıdaki şekilde iz katsayısı bulunur:

$$\omega = \frac{V_m - V_{Am}}{V_m} = 1 - \frac{V_{Am}}{V_m} \quad (5.31)$$

Genel sevk verimi ise :

$$\eta = \frac{1 - t}{1 - \omega} \quad (5.32)$$

formülü ile bulunur.

Bu formüllere dayanılarak bulunan değerler, ancak model laboratuvarı şartlarına uygundur. Servis şartlarında seyreden bir gemi için, gerek gemi ıslak alanının pürüzlülüğü, gerekse denizin dalgalı durumundan dolayı artan gemi direncini karşılamak üzere bu değerlerin uygun şekilde artırılmaları gerekir.

5.5. Viskoz Direnç Deneyi:

Deney modeli, ölçme kesitine sevk deneyine benzer şekilde bağlanır. Deneyden maksat, gemilerde dalga direncinin, deneysel olarak bulunmasıdır. Yüklü suhattından itibaren bağlanan modelin direnci, transducerlerle çalışan dinamometre ile ölçülür. Ölçme kesiti içinde, serbest su yüzeyi ve dalga etkisi olmadığı için

dinamometre tarafından ölçülen direnç modelin viskoz direncidir.

Elde edilen model deneyi sonuçlarından gemiye geçiş, Froude benzerlik kanununa göre olur. Kanaldaki su hızı, model hızı olarak alınır. Benzerlik oranı α , model boyu L_m , model ıslak alanı S_m bilindiğine göre:

$$V_s/V_m = \alpha \rightarrow V_s = V_m \cdot \alpha \quad (5.33)$$

$$L_s/L_m = \alpha \rightarrow L_s = L_m \cdot \alpha \quad (5.34)$$

$$S_s/S_m = \alpha^2 \rightarrow S_s = S_m \cdot \alpha^2 \quad (5.35)$$

değerleri bulunur. Gemi ve model dalga dirençlerini oranlarsak:

$$\frac{R_{ws}}{R_{wm}} = \frac{C_{ws}}{C_{wm}} \cdot \frac{S_s}{S_m} \cdot \frac{V_s^2}{V_m^2} \quad (5.36)$$

Gemi direncinden bilindiği gibi, model ve geminin dalga direnç katsayıları eşittir. O halde (5.36) denklemi, (5.33) ve (5.35) denklemlerinin de kullanılmasıyla:

$$\frac{R_{ws}}{R_{wm}} = \frac{\rho_s}{\rho_m} \cdot \alpha^3 \quad (5.36)$$

ve

$$R_{ws} = R_{wm} \cdot \rho_s / \rho_m \cdot \alpha^3 \quad (5.37)$$

formülü ile gemiye ait dalga direnci bulunur.

5.6. İz Alanı Ölçme Deneyi:

Sabit bir hızda ilerleyen bir gemide, gemi kıçındaki su hızı, kıç formunun dolgunluğuna bağlı olarak gemi hızından farklı olup, genellikle daha küçüktür. Dolayısıyla kıçında pervane bul-

nan bir gemide pervane, ortalama hızı daha küçük olan bir su içinde ilerler. Gemi hızı V_w ve pervaneyi geçen ortalama su hızı V_a olduğuna göre:

$$V_w = V_w - V_a \dots \dots \dots (5.38)$$

yazabiliriz. Buradaki V_w , iz hızıdır. Buradan iz katsayısı:

$$\omega = \frac{V_w - V_a}{V_w} = 1 - \frac{V_a}{V_w} \dots \dots \dots (5.39)$$

şeklinde tanımlanır. iz katsayısını, gemi kıçında doğuran sebepler itibarıyla üç farklı bileşene ayırmak mümkündür:

$$\omega = \omega_p + \omega_v + \omega_f \dots \dots \dots (5.40)$$

Burada;

- ω_p : Potansiyel iz katsayısı,
- ω_v : Dalga iz katsayısı,
- ω_f : Sürtünme iz katsayısı.

Her bir katsayı, üç farklı hidrodinamik halin meydana getirdiği hız değişimlerinden oluşur. Bunlardan en önemlisi, sürtünme iz katsayısıdır.

Geminin kıçındaki akışkanın herhangi bir noktasındaki ölçülen hızın kullanılması ile bulunan iz katsayısına **Nominal iz Katsayısı** denir. Bu halde, geminin arkasında pervane bulunmaz. Şaft merkezi başlangıç noktası alınacak olursa:

$$\omega = f(\theta, r) \dots \dots \dots (5.41)$$

Burada;

olur. Burada;

P_s : Statik basınç,

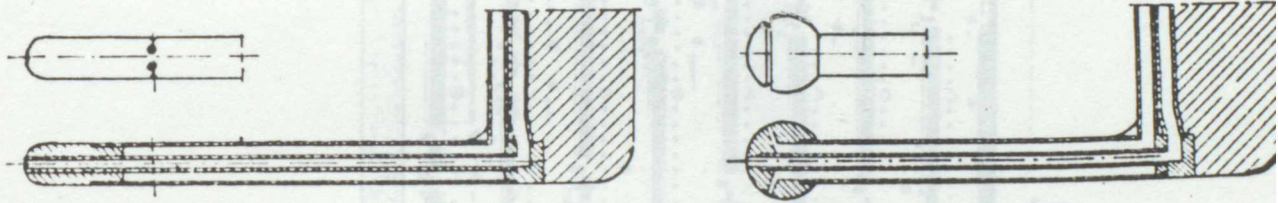
P_o : Dinamik basınç.

θ : Gemi boy eksenine dik düzlemdeki açısal değişme,
 r : Radyal değişmedir.

Nominal iz katsayısı, pitot boruları, döner kanatlar vs yollarla deneysel olarak ölçülebilir.

5.6.1. Pitot Tüpleri ile iz Katsayısının Tayini:

Pitot borusu yardımıyla pervane diskinin bulunduğu alandaki nominal iz miktarını bulmak gayet kolaydır. Şekil 5.17 'de görüldüğü gibi, pitot borusu, silindirik veya küresel bir baş kıs-



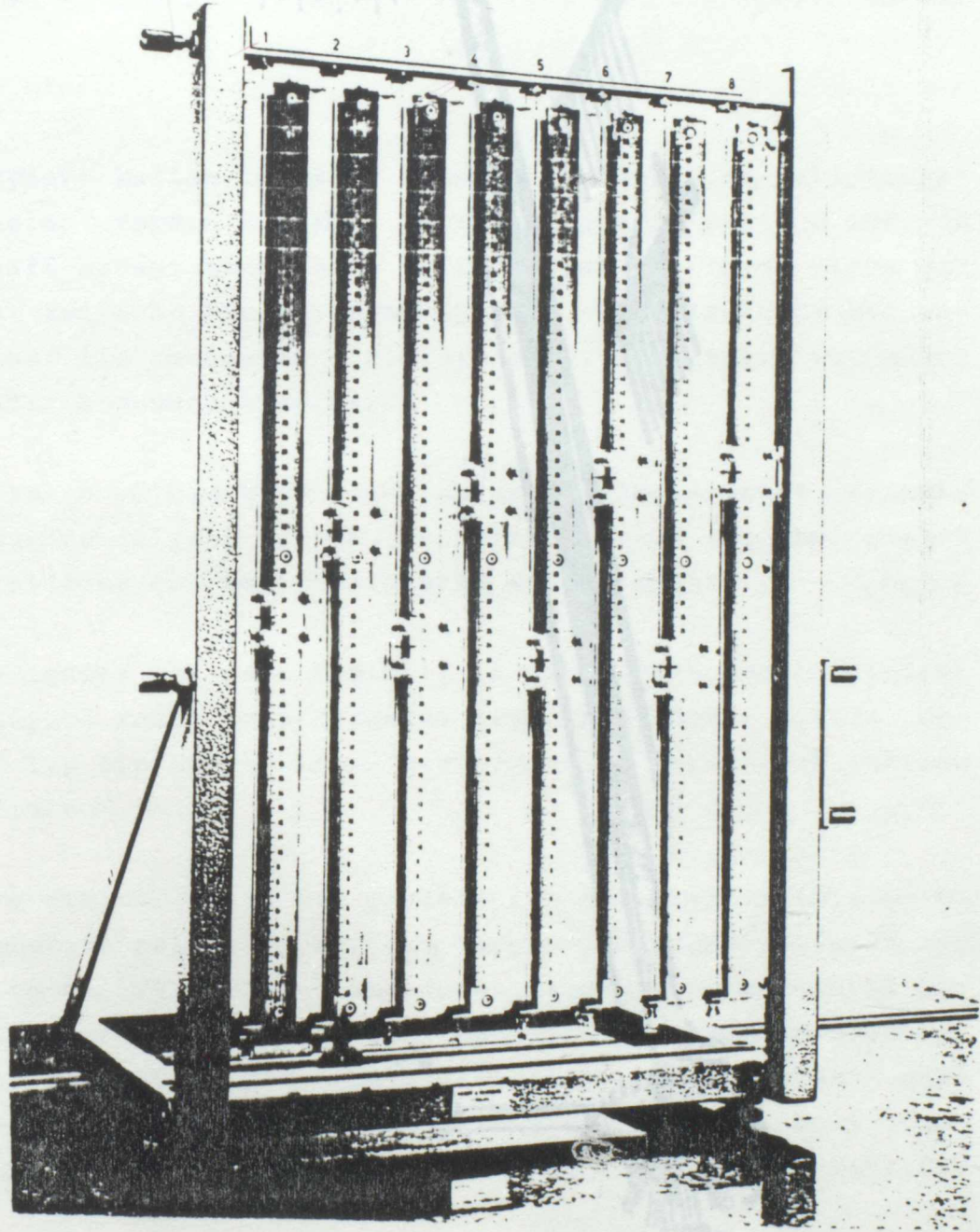
Şekil 5.17.

mına sahiptir. Sıvı akımıyla karşı karşıya kalan ön kısmındaki delikten yığılma basıncı, yani dinamik basınç ve yan taraflardaki delikten statik basınç değerleri ölçülür. Bu delikler, ince borularla manometrelere bağlanır. İki boru içindeki sıvı farkından V_a hızı bulunur. Buraya kadar anlatılanları formüle edersek:

$$P_T = P_S + P_D \quad \dots \dots \dots (5.42)$$

Burada;

- P_T : Toplam basınç,
- P_S : Statik basınç,
- P_D : Dinamik basınç.



Şekil 5.18, Manometre dizisi.

2015-2016-2017-2018-2019-2020-2021-2022-2023-2024-2025-2026-2027-2028-2029-2030-2031-2032-2033-2034-2035-2036-2037-2038-2039-2040-2041-2042-2043-2044-2045-2046-2047-2048-2049-2050-2051-2052-2053-2054-2055-2056-2057-2058-2059-2060-2061-2062-2063-2064-2065-2066-2067-2068-2069-2070-2071-2072-2073-2074-2075-2076-2077-2078-2079-2080-2081-2082-2083-2084-2085-2086-2087-2088-2089-2090-2091-2092-2093-2094-2095-2096-2097-2098-2099-2100-2101-2102-2103-2104-2105-2106-2107-2108-2109-2110-2111-2112-2113-2114-2115-2116-2117-2118-2119-2120-2121-2122-2123-2124-2125-2126-2127-2128-2129-2130-2131-2132-2133-2134-2135-2136-2137-2138-2139-2140-2141-2142-2143-2144-2145-2146-2147-2148-2149-2150-2151-2152-2153-2154-2155-2156-2157-2158-2159-2160-2161-2162-2163-2164-2165-2166-2167-2168-2169-2170-2171-2172-2173-2174-2175-2176-2177-2178-2179-2180-2181-2182-2183-2184-2185-2186-2187-2188-2189-2190-2191-2192-2193-2194-2195-2196-2197-2198-2199-2200-2201-2202-2203-2204-2205-2206-2207-2208-2209-2210-2211-2212-2213-2214-2215-2216-2217-2218-2219-2220-2221-2222-2223-2224-2225-2226-2227-2228-2229-2230-2231-2232-2233-2234-2235-2236-2237-2238-2239-2240-2241-2242-2243-2244-2245-2246-2247-2248-2249-2250-2251-2252-2253-2254-2255-2256-2257-2258-2259-2260-2261-2262-2263-2264-2265-2266-2267-2268-2269-2270-2271-2272-2273-2274-2275-2276-2277-2278-2279-2280-2281-2282-2283-2284-2285-2286-2287-2288-2289-2290-2291-2292-2293-2294-2295-2296-2297-2298-2299-2300-2301-2302-2303-2304-2305-2306-2307-2308-2309-2310-2311-2312-2313-2314-2315-2316-2317-2318-2319-2320-2321-2322-2323-2324-2325-2326-2327-2328-2329-2330-2331-2332-2333-2334-2335-2336-2337-2338-2339-2340-2341-2342-2343-2344-2345-2346-2347-2348-2349-2350-2351-2352-2353-2354-2355-2356-2357-2358-2359-2360-2361-2362-2363-2364-2365-2366-2367-2368-2369-2370-2371-2372-2373-2374-2375-2376-2377-2378-2379-2380-2381-2382-2383-2384-2385-2386-2387-2388-2389-2390-2391-2392-2393-2394-2395-2396-2397-2398-2399-2400-2401-2402-2403-2404-2405-2406-2407-2408-2409-2410-2411-2412-2413-2414-2415-2416-2417-2418-2419-2420-2421-2422-2423-2424-2425-2426-2427-2428-2429-2430-2431-2432-2433-2434-2435-2436-2437-2438-2439-2440-2441-2442-2443-2444-2445-2446-2447-2448-2449-2450-2451-2452-2453-2454-2455-2456-2457-2458-2459-2460-2461-2462-2463-2464-2465-2466-2467-2468-2469-2470-2471-2472-2473-2474-2475-2476-2477-2478-2479-2480-2481-2482-2483-2484-2485-2486-2487-2488-2489-2490-2491-2492-2493-2494-2495-2496-2497-2498-2499-2500-2501-2502-2503-2504-2505-2506-2507-2508-2509-2510-2511-2512-2513-2514-2515-2516-2517-2518-2519-2520-2521-2522-2523-2524-2525-2526-2527-2528-2529-2530-2531-2532-2533-2534-2535-2536-2537-2538-2539-2540-2541-2542-2543-2544-2545-2546-2547-2548-2549-2550-2551-2552-2553-2554-2555-2556-2557-2558-2559-2560-2561-2562-2563-2564-2565-2566-2567-2568-2569-2570-2571-2572-2573-2574-2575-2576-2577-2578-2579-2580-2581-2582-2583-2584-2585-2586-2587-2588-2589-2590-2591-2592-2593-2594-2595-2596-2597-2598-2599-2600-2601-2602-2603-2604-2605-2606-2607-2608-2609-2610-2611-2612-2613-2614-2615-2616-2617-2618-2619-2620-2621-2622-2623-2624-2625-2626-2627-2628-2629-2630-2631-2632-2633-2634-2635-2636-2637-2638-2639-2640-2641-2642-2643-2644-2645-2646-2647-2648-2649-2650-2651-2652-2653-2654-2655-2656-2657-2658-2659-2660-2661-2662-2663-2664-2665-2666-2667-2668-2669-2670-2671-2672-2673-2674-2675-2676-2677-2678-2679-2680-2681-2682-2683-2684-2685-2686-2687-2688-2689-2690-2691-2692-2693-2694-2695-2696-2697-2698-2699-2700-2701-2702-2703-2704-2705-2706-2707-2708-2709-2710-2711-2712-2713-2714-2715-2716-2717-2718-2719-2720-2721-2722-2723-2724-2725-2726-2727-2728-2729-2730-2731-2732-2733-2734-2735-2736-2737-2738-2739-2740-2741-2742-2743-2744-2745-2746-2747-2748-2749-2750-2751-2752-2753-2754-2755-2756-2757-2758-2759-2760-2761-2762-2763-2764-2765-2766-2767-2768-2769-2770-2771-2772-2773-2774-2775-2776-2777-2778-2779-2780-2781-2782-2783-2784-2785-2786-2787-2788-2789-2790-2791-2792-2793-2794-2795-2796-2797-2798-2799-2800-2801-2802-2803-2804-2805-2806-2807-2808-2809-2810-2811-2812-2813-2814-2815-2816-2817-2818-2819-2820-2821-2822-2823-2824-2825-2826-2827-2828-2829-2830-2831-2832-2833

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{2P_0/\rho} \quad (5.44)$$

[illegible]

İz dağılımı: 8 ölçüm tüpü ile ölçülen tüplerden 4 tanesi, toplam basınç: ölçmek için kullanılır. 2 tüp ise, statik basınç: ölçmek çevresel dalgalılarla doludur.

Esnek ve sıfırlı bağlantı tüpleri, iz t... dan model içindeki destek tüpüne kadar uzanır. Destek tüpü, ... kovanı içinde de-
van eder. Top ile kovan arası, sızdırmaz ... bağlanarak şekilde
tıkantılmıştır.

Şekil 5.19. Model çekme havuzunda gemi modelleri arkasındaki iz dağılımını ölçmeye yarayan iz tarakları.

O halde, Bernoulli denkleminden:

$$P_D = P_r - P_s = \frac{1}{2} \rho V_A^2 (\theta, r) \quad (5.43)$$

$$V_A = \sqrt{2P_D / \rho} \quad (5.44)$$

bulunmuş olur.

Pitot tüpleri kullanılarak iz alanı ölçümleri için geliştirilmiş cihazlar vardır. Bunlara **iz Taracı** denir (Şekil 5.19). İz taracı şaft kovani sonundadır ve istenilen açılarda ölçüm yapılmasını sağlayan bir açı ayar diskine sahiptir. Küçük bir vakum pompası ile manometre dizisinin havası boşaltılır ve manometre sıfır konumuna ayarlanır.

iz dağılımı 8 ölçüm tüpü ile ölçülür. Bu tüplerden 4 tanesi, toplam basıncı ölçmek için kullanılır. Diğer 4 tüp ise, statik basıncı ölçecek çevresel deliklerle donatılmıştır.

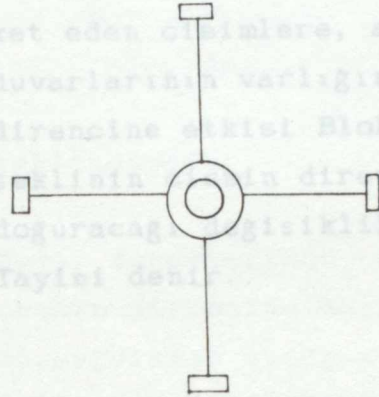
Esnek ve şeffaf bağlantı tüpleri, iz taracından model içindeki destek tüpüne kadar uzanır. Destek tüpü, şaft kovani içinde devam eder. Tüp ile kovan arası, sızdırmazlık sağlanacak şekilde tıkanmalıdır.

Manometre dizisi, çelik bir çerçeve ile sabitleştirilmiş 8 cam tüpten meydana gelmiştir. Her cam tüpün paslanmaz çelikten bir skalası ve su seviyesinin konumunu okumak için hareketli bir göstergesi vardır. Deneyin ölçüm anında bu göstergeler, elektromanyetik valf yardımıyla sabitleştirilip, okuma işlemi daha sonra acele edilmeksizin mm su sütunu olarak yapılabilir. Okunan değerler θ açısına, V model hızına ve r yarıçapına bağlıdır.

Vakum pompası ölçüm işlemine başlanmadan önce, manometre sistemindeki bütün havayı emmek için kullanılır. Vakum konteyneri ise, emme sırasınca suyun vakum pompasına kadar ulaşmasını önler

5.6.2. Döner Kanatlar ile iz Katsayısının Ölçülmesi:

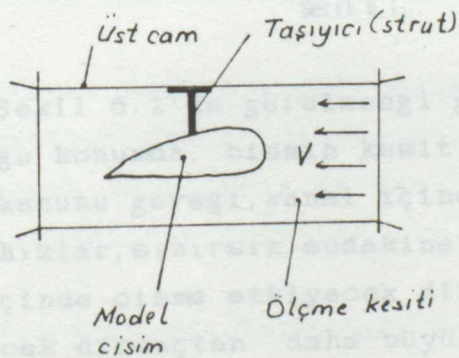
Nominal iz dağılımı, ayrıca, bu deney için yapılmış olan, hassas döner kanatlarla da ölçülebilir. Bu döner kanatlara **Kempf Hal-**
kası da denir. Şekil 5.20'de görüldüğü gibi, bu tip döner kanat-



Şekil 5.20.

lı hız ölçerler, bir göbek etrafına yerleştirilen dört telin ucuna konan 45° meyilli kanat parçalarından meydana gelen aletlerdir. Göbek bir shaft etrafında serbestçe dönebilmektedir. Model büyüklüğüne bağlı olarak, 4 ile 28 cm arasında değişir. Bu aletlerin açık suda devir sayısı ile hız arasındaki bağıntıyı tayin eden kalibrasyonlar yapıldıktan sonra, gemi modeli kıçında denenerek, izin nominal değişimi bulunur.

5.7. Dalmış Cisimlerin Deneyi:



Şekil 5.21.

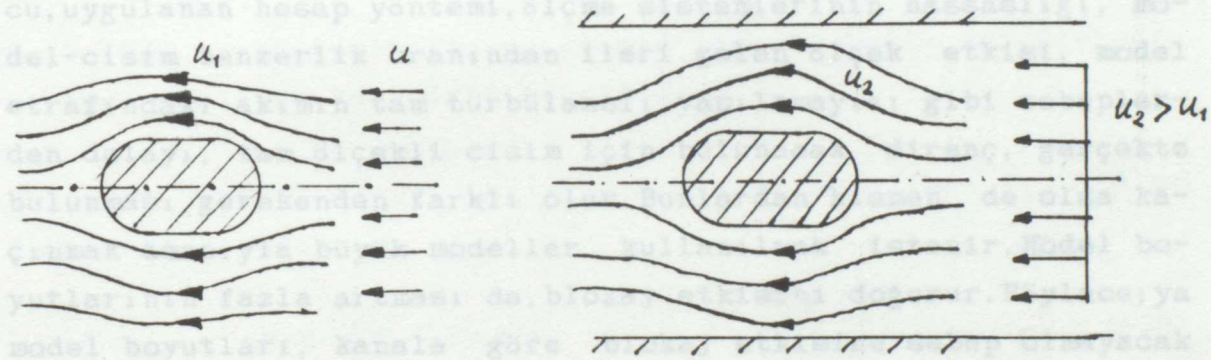
Kapalı su tünellerinde, denizaltı dümen, kanat, hidrofoil, profil vs gibi dalıcı cisimlerin deneyi de yapılabilir. Bu deney, büyük ölçme kesitinde daha rahat yapılabilir. Ölçme kesiti içinde bulunan pervane shaft eksenini dışarı alınır. Model, ölçme kesitinde bir taşıyıcı (strut) ile bağlanır. Bu deneyler için pervane dinamometresi çıkarılır ve yerine 6 bileşenli dinamometre takılarak ölçümler yapılır.

6. KAPALI SU TUNELİNDEKİ ETKİLEŞİMLER

6.1. Blokaj:

6.1.1. Tanım:

Bir kanal içinde, sıvı yüzeyinde veya tam batmış şekilde hareket eden cisimlere, akışkan tarafından uygulanan direnç, kanal duvarlarının varlığından etkilenir. Kanal duvarlarının cismin direncine etkisi **Blokaj** olarak adlandırılır. Kanal boyutları ve şeklinin cismin direncinde, cismin etrafındaki hız dağılışıyla doğuracağı değişiklikleri hesaplama işlemine **Blokaj Etkisinin Tayini** denir.



Şekil 6.1.

Şekil 6.1'de görüleceği gibi, kanal kesit alanı, cismin bulunduğu konumda, cismin kesit alanı kadar azalır. Böylece süreklilik kanunu gereği, kanal içinde hareket eden bir cismin etrafındaki hızlar, sınırsız sudakine göre daha fazla olur. Buradan, kanal içinde cisme etkiyecek direncin, açık suda aynı hızda etki edecek dirençten daha büyük olacağı sonucu çıkar. Dar bir kanalda direnç ve hız, geniş bir kanaldakine göre daha büyük olur.

Yapılan açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, hız ve direnç değişikliği, yani blokaj etkisi, temel olarak kanalın ve cismin kesit alanları arasında yazılacak boyutsuz bir orandan etkile-

necektir. Bununla beraber, cismin boyu ve etkisi, üniform akım hızı da bu değişikliklere etki eder. Araştırmacılar, cisim ile kanal arasında yazılmış çeşitli boyutsuz sayılar vermişlerdir. Bu sayılara **Blokaaj Oranı** denir. En yaygın olarak kullanılan blokaaj oranı:

Kapalı kanallar için Lock (17) tarafından geliştirilen ve Young ve Squibb (18) tarafından gemi modellerine uygulanan yöntem $m = \frac{A_{c, 1} u_{c, 1}}{A_{b, 1} u_{b, 1}}$ şeklindedir. Bu yöntemin esası, kanal bir ... (6.1) etrafındaki akımın hesaplanması için tekliklerle gösterilmesi ve duvar etkisiyle ortaya çıkacak hız artısının şekliyledir. Lock tarafından hız artışı oranı için şu bağıntı verilmiştir:

Model deneylerinde, deney sonucunda bulunan model direncinden cismin direncine benzerlik kanunlarıyla geçilir. Hesaplar sonucu, uygulanan hesap yöntemi, ölçme sistemlerinin hassaslığı, model-cisim benzerlik oranından ileri gelen ölçek etkisi, model etrafındaki akımın tam türbülanslı yapılamayışı gibi sebeplerden dolayı, tam ölçekli cisim için bulunacak direnç, gerçekte bulunması gerekenden farklı olur. Bunlardan kısmen de olsa kaçınmak amacıyla büyük modeller kullanılmak istenir. Model boyutlarının fazla artması da, blokaaj etkisini doğurur. Böylece; ya model boyutları, kanala göre blokaaj etkisine sebep olmayacak şekilde seçilmeli, ya da ölçülen değerler blokaaj etkisini gidecek şekilde düzeltilmelidir.

Blokaaj etkisi kapalı tünellerde (su, hava) daha kolay hesaplanabilir. fakat açık kanallarda, serbest su yüzeyi etkisiyle oluşacak dalgaların da kanal duvarları ve dibi tarafından etkileneşinden dolayı, teorik hesaplamalar oldukça zordur.

6.1.2. Blokaaj Etkisinin Hesaplanması:

Gemi model deneylerinde, blokaaj etkisinin tayini konusunda yapılmış bir çok teorik ve deneysel çalışma vardır. Bu çalışmalar genellikle açık kanallar ve kapalı tüneller için ayrı ayrı yapılmıştır. Açık kanallarda blokaaj etkisinin tayini konusunda,

Krey [12], Kreitner [13], Conn, Lackenby ve Walker [14], Schuster [15] ve Scott [16] çalışmalar yapmışlardır. Biz, burada kapalı kanallarda bloka etkisinin hesaplanması üzerinde duracağız.

Kapalı kanallar için Lock [17] tarafından geliştirilen ve Young ve Squire [18] tarafından gemi modellerine uygulanan yöntem oldukça kullanışlıdır. Bu yöntemin esası, dönel bir cismin etrafındaki potansiyel akımın hesaplanması için tekilliklerle gösterilmesi ve duvar etkisiyle ortaya çıkacak hız artışının bulunmasıdır. Lock tarafından hız artış oranı için şu bağıntı verilmiştir:

$$\Delta V/V = C_1 \cdot C_2 \cdot m_1^{3/2} \dots\dots\dots (8.2)$$

C_1 ve C_2 , kanal kesitinin ve cismin şekline bağlı sabitlerdir. m_1 ise, (6.1)'de tanımlandığı gibidir.

Young ve Squire, (6.2) bağıntısını gemi modelleri için biraz daha değiştirerek:

$$\Delta V/V = C \cdot \nabla / A^{3/2} \dots\dots\dots (6.3)$$

biçiminde vermişlerdir.

Tamura [19] da, bir kaynak-kuyu sisteminin bir silindir eksenli boyunca hareketinde bulduğu sonuçlardan yararlanarak:

$$\Delta V/V = C \cdot m_1 \cdot (1/b)^{3/4} \dots\dots\dots (6.4)$$

bağıntısını vermiştir. Burada;

l : Model cismin boyu,

b : Kanal genişliğidir.

Görüldüğü gibi bu bağıntılar, serbest su yüzeyinden gelen etkileri hesaba katmamaktadır. Bu yöntemlere **Arka Akım Teorisi** (Back

Flow Theory> denir. toplam direnç katsayıları Reynold sayısına

6.2.ölçek Etkisi:

Model deneylerinin maksadı, tam ölçüdeki geminin hidromekanik yönden gerçek değerlerinin elde edilmesidir. Froude kanununun uygulanması sırasında seçilmiş olan sürtünme direnci bağıntısı özellikle v viskoz direnç yönünden açık farklılıklar göstermektedir. Değişik ölçeklerde yapılmış geometrik benzer model deneylerinde bu durum açıkça görülmektedir. Bir düz levhanın viskoz direnci ile eğriligi bulunan bir levhanın viskoz direncinin farklı bulunduğu, değişik deneysel ve teorik çalışmalarda açıklanmıştır. Özellikle, değişik çaplı borularla yapılmış çalışmalar, aynı alan ve boylardaki bir düz levhanın viskoz direnci ile boruların viskoz direncinde büyük farklar olduğunu göstermektedir.

Basit bir açıklama olarak, eğriligi haiz olan bir geminin boyuna ve ıslak alanına eşit bir eğrisel levhanın direnç katsayısı C_v ile, aynı ölçülerdeki bir düz levhanın C_r ile gösterilecek olursa, aşağıdaki bağıntıyı geçerli saymaktayız:

$$C_v = (1 + k) C_r \quad \dots \dots \dots (6.5)$$

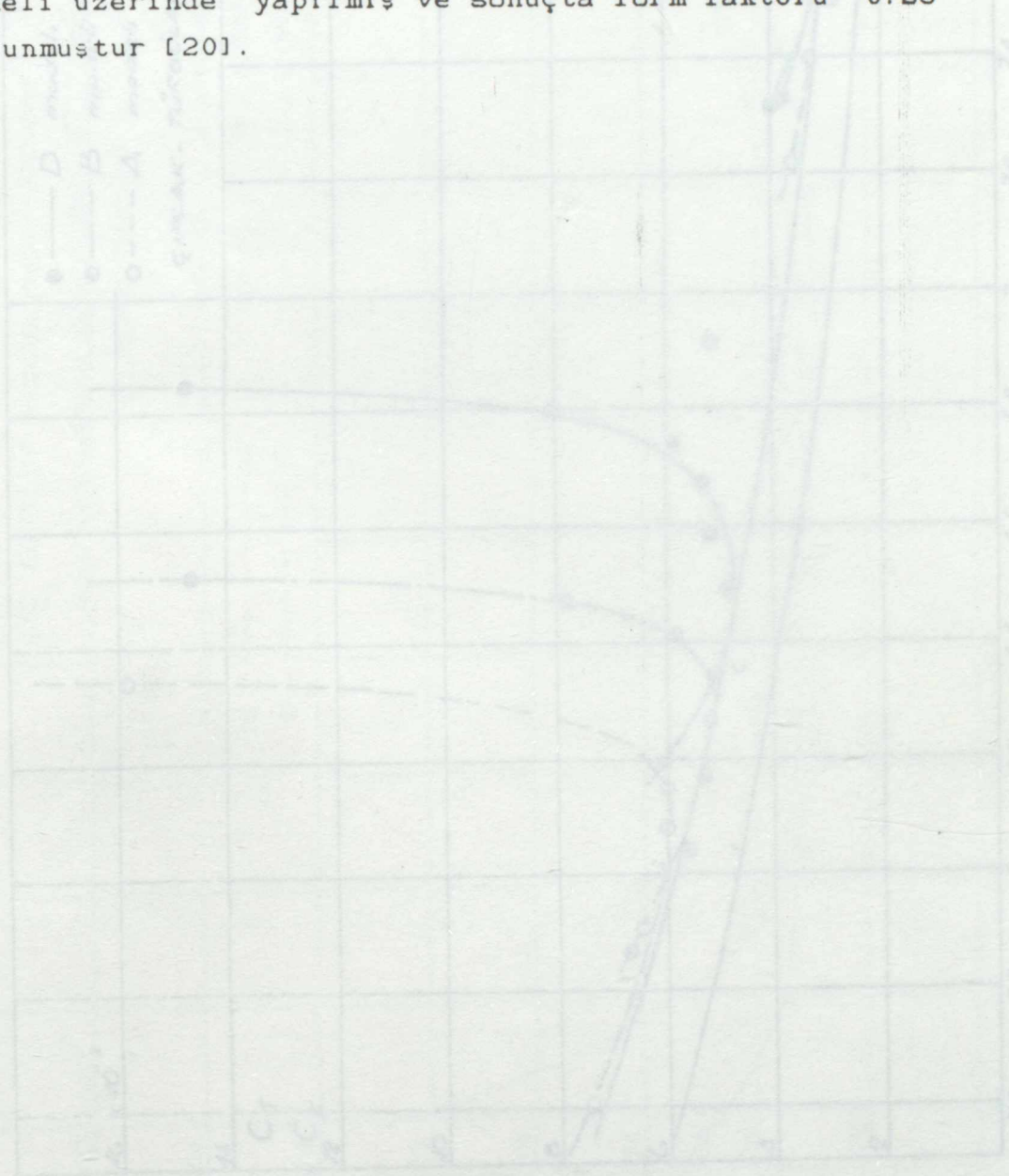
Burada, k form faktörüdür.

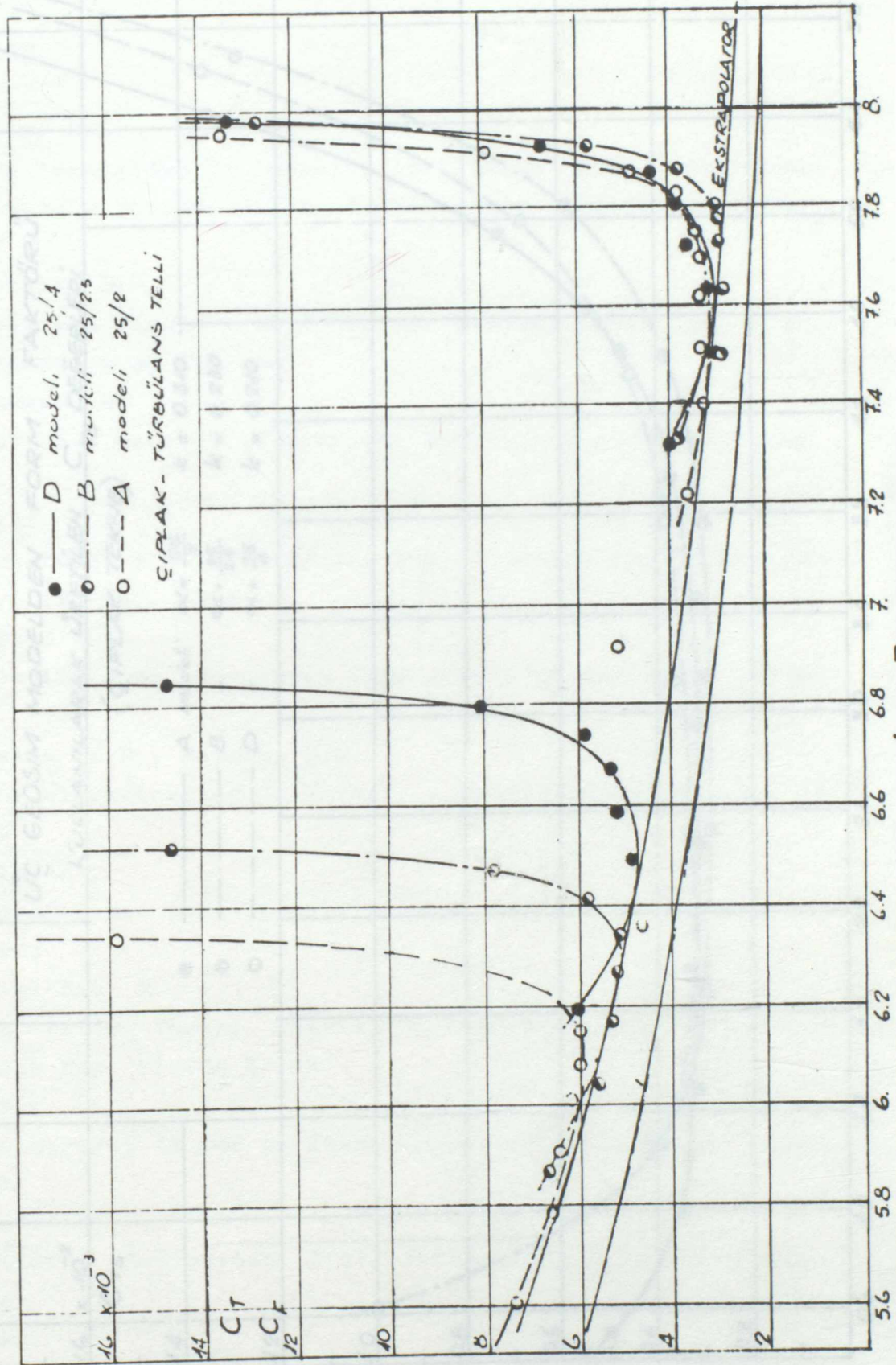
k değeri, gemi veya modelin geometrik özelliklerine bağlı bir katsayıdır. k değeri, Froude sayısına göre değişik özellikler göstermektedir. k değeri üzerinde ölçeğin de etkisi görülmektedir.

k değerinin tayini için, birbirine geometrik olarak benzer modeller kullanılır. Her bir modelin form faktörü ayrı ayrı tayin edilir ve bu değerler kullanılarak ana gemi için toplam direnç katsayısı değerleri hesaplanır. Tabiidir ki, bu toplam direnç katsayısı değerleri de birbirinden farklı olacaktır. Geometrik

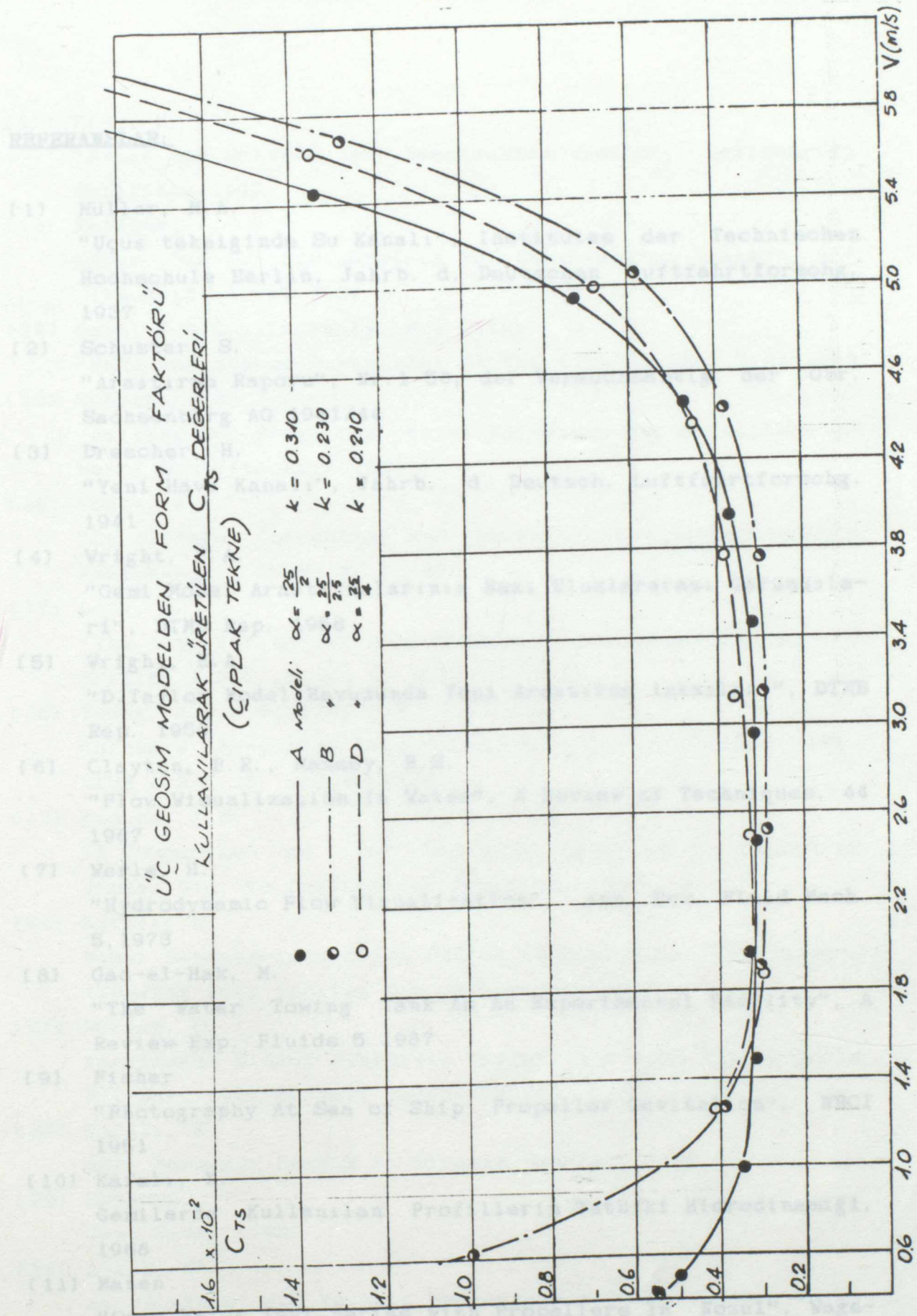
benzer modellerin toplam direnç katsayıları Reynold sayısına göre ayrıca çizilir. Buradan, en geçerli ekstrapolatör eğrisinden, geometrik benzer modeller için ortak form faktörü elde edilir. Böylece, ölçek etkisi ortadan kalkar.

Şekil 6.2 ve 6.3'de, Prof. Dr. Kemal Kafalı tarafından, ölçek etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan bir çalışmanın sonuç grafikleri görülmektedir. Bu çalışma, geometrik benzer 3 balıkçı gemisi modeli üzerinde yapılmış ve sonuçta form faktörü 0.25 olarak bulunmuştur [20].





Şekil 6.2.



Şekil 6.3.

REFERANSLAR:

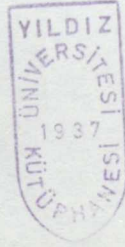
- [1] Müller, M.A.
"Uçuş tekniginde Su Kanalı", Institutes der Technischen Hochschule Berlin, Jahrb. d. Deutschen Luftfahrtforschg. 1937
- [2] Schuster, S.
"Araştırma Raporu", Nr.1-50, der Versuchsabtlg. der Gbr. Sachsenberg AG 1941/44
- [3] Drescher, H.
"Yeni Hava Kanalı", Jahrb. d. Deutsch. Luftfahrtforschg. 1941
- [4] Wright, E.A.
"Gemi Model Araştırmalarının Bazı Uluslararası Görünüşleri", DTMB Rep. 1958
- [5] Wright, E.A.
"D.Taylor Model Havuzunda Yeni Araştırma imkanları", DTMB Rep. 1959
- [6] Clayton, B.R., Massey, B.S.
"Flow Wisualization In Water", A Review of Techniques, 44 1967
- [7] Werle, H.
"Hydrodynamic Flow Vizualization", Ann. Rev. Fluid Mech. 5, 1973
- [8] Gad-el-Hak, M.
"The Water Towing Tank As An Experimental Facility", A Review Exp. Fluids 5 1987
- [9] Fisher
"Photography At Sea of Ship Propeller Cavitation", NECI 1951
- [10] Kafalı, K.
Gemilerde Kullanılan Profillerin Tatbiki Hidrodinamığı, 1968
- [11] Manen
"Open Water Test Series With Propellers In Nozul", Wageningen Report, Nr.137

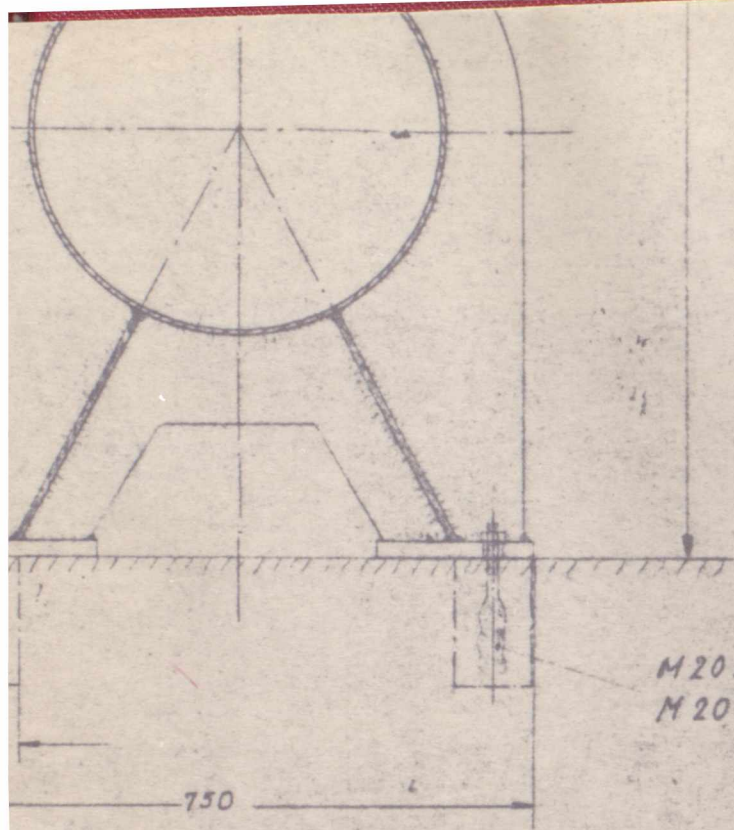
- [12] Krey, H.
"Fahrt der Schiffe Auf Beschränktem Wasser", Zeitschrift
Schiffbau 1913
- [13] Keitner, J.
"über den Schiffwiderstand Auf Beschränktem Wasser", Ze-
itschrift Werft 1934
- [14] Conn, J.E.C., Lackenby, H., Walker, W.P.
"BSRA Resistance Experiment on The Lucy Ashton", TINA 1953
- [15] Schuster, S.
"Beitrag Zur Frage der Kanal-Korrektur Bei Modellversuc-
hen", Schifftechnik 1955
- [16] Scott, J.R.
"On Blokage Correction and Extrapolation to Smooth Ship
Resistance", SNAME Nr.7 1970
- [17] Lock, M.
"The Interference of a Wind-Tunnel on a Symetrical Body",
British A.R.C., R. and M. 1929
- [18] Young, A.D., Squire, H.B.
"Blokage Correction In a Closed Rectengular Tunnel", Bri-
tish A.R.C., R. and M. 1945
- [19] Tamura, J.R.
"A Comparison of Four Blockage Correctors", Report of
Vicker Ltd. to Performance Commitee, 1970
- [20] Kafalı, K.
Model Deneylerinde Ölçek Etkisi ve Gemi Model Korelasyonu
(TÜBİTAK için yapılan bir çalışmadan) 1978
- [21] Durgun, O.
Kanallarda Blokağ Etkisinin Tayını, iTÜ Gemi inş.ve Deniz
Bil.Fak. 1979-80 yılı seminerleri.
- [22] Kafalı, K.
Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları, 1982, C:2
- [23] Sabuncu, T.
Gemi Sevki, 1983
- [24] AGARD, NATO
Aerodinamik And Related Hydrodynamic Studies Using Water
Facilities, AGARD Conference Proceedings Nr.413 1986

- [25] Sümer, B.M., Ünsal, i., Bayazıt, M.
Hidrolik, 1983
- [26] Şalcı, A.
Kavitasyon Hidromekanığı, Yü Gemi inşaatı Müh.Böl. 1988-89
yılı seminerleri
- [27] Karhan, K.
Girdap Terisine Göre Optimum Pervane Dizaynı, 1961
- [28] Pope, A. ,Harper, J.J.
Low-Speed Wind Tunnel Testing ,1978
- [29] Kempf und Remmers
Cavitation Tunnel Manuals
- [30] Şalcı, A.
Kempf und Remmers Cavitation Tunnel Manuals,Türkçe tercü-
meler, 1984

ÖZGEÇMİŞ

16.10.1964 tarihinde Gelibolu'da dünyaya gelen Mustafa işcen, ilk ve orta öğrenimini Balıkesir'de tamamlamıştır. 1987'de Balıkesir Muharrem Hasbi Lisesi'nden mezun olan Mustafa işcen, aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü'ne girmiştir. 20.7.1987 tarihinde buradan mezun olduktan sonra, 14.4.1988 tarihinde Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. Halen bu görevine devam etmektedir. Mustafa işcen evli ve bir çocuk babasıdır.





M20x200 DIN 529-5D
M20 DIN 934-5D

9

550

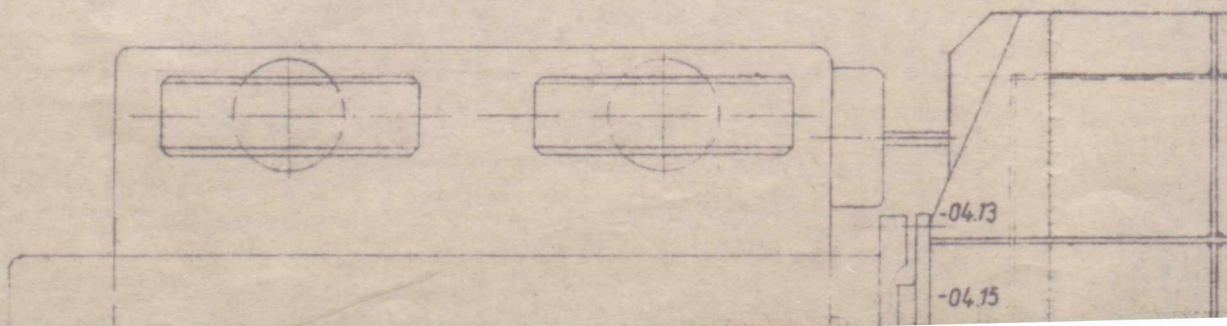
K23-I 2.1

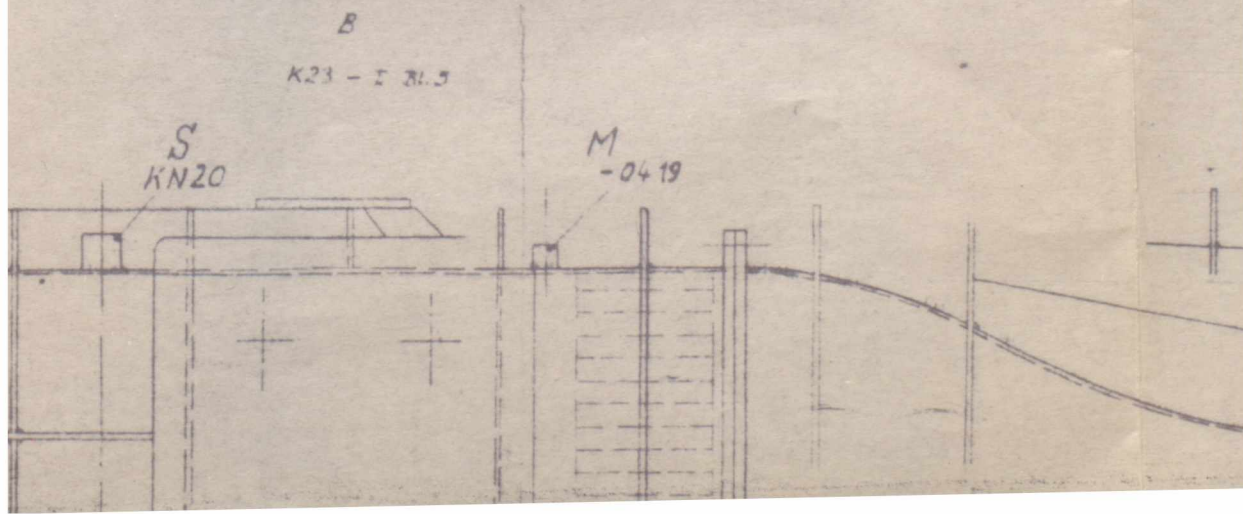
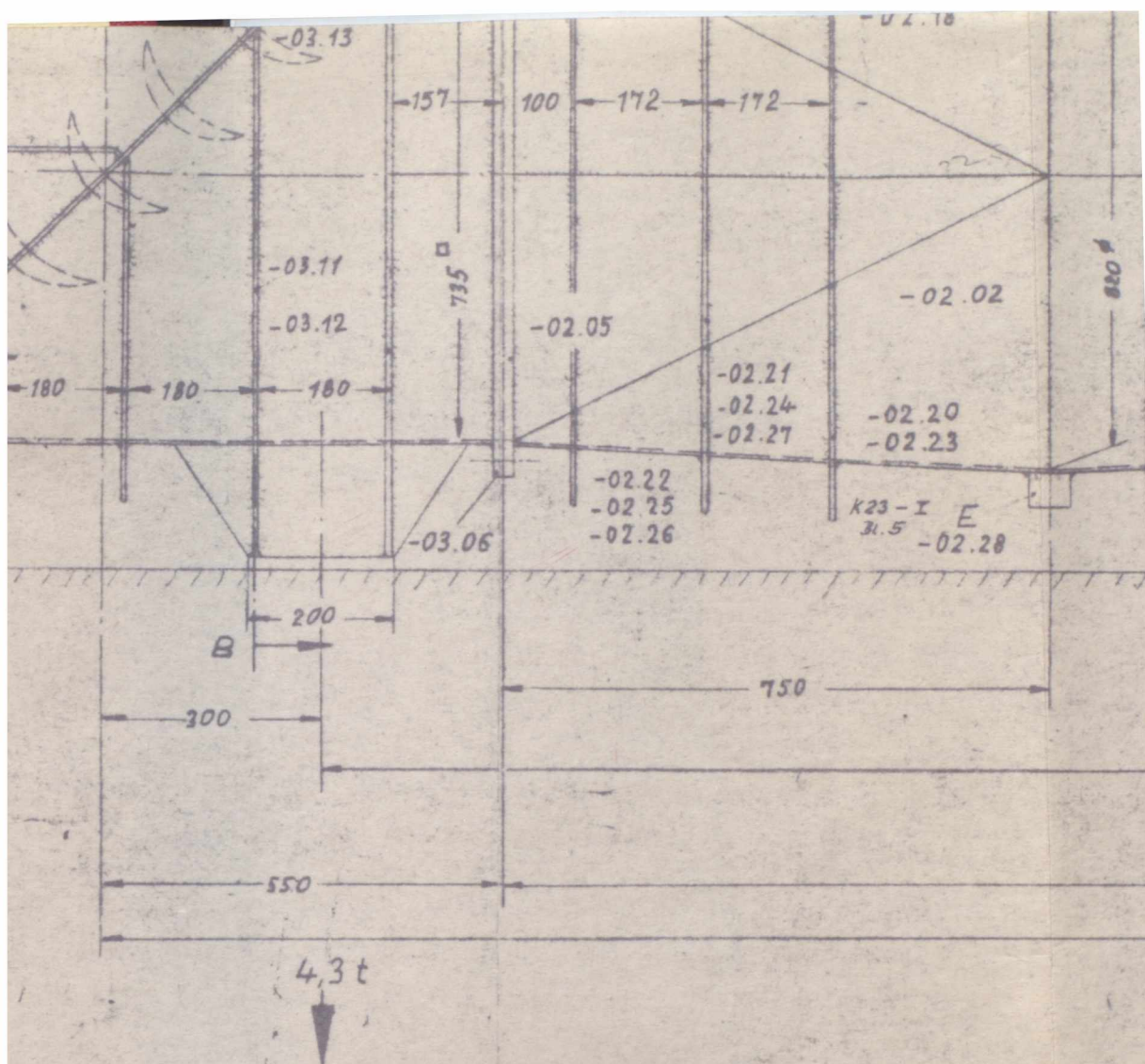
0

-03.08

-03.07

-03.14





-02.07

-02.08

-02.09

-02.10

850

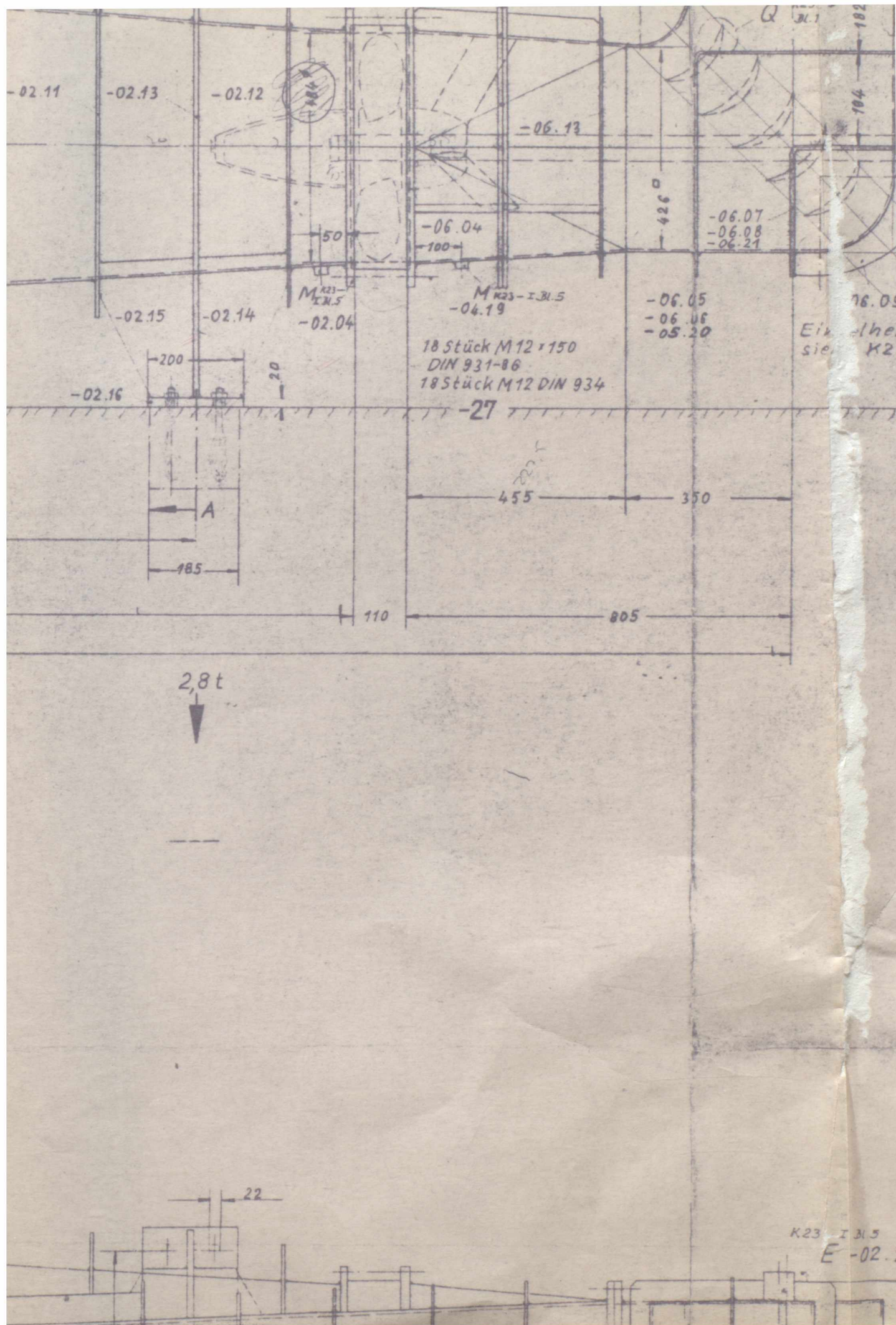
-02.01

3346

3425

4890

10



23-I
K.1

182

-06.03

400

104

-06.22

K23B-III

16.09

Einheiten von -06
siehe K23A-III Bl. 1

-03.16

-03.17

-03.18

10

927

K23 I Bl. 5

E -02.28

Wellentlg.
m

1662.33

J19

1707.5

3415

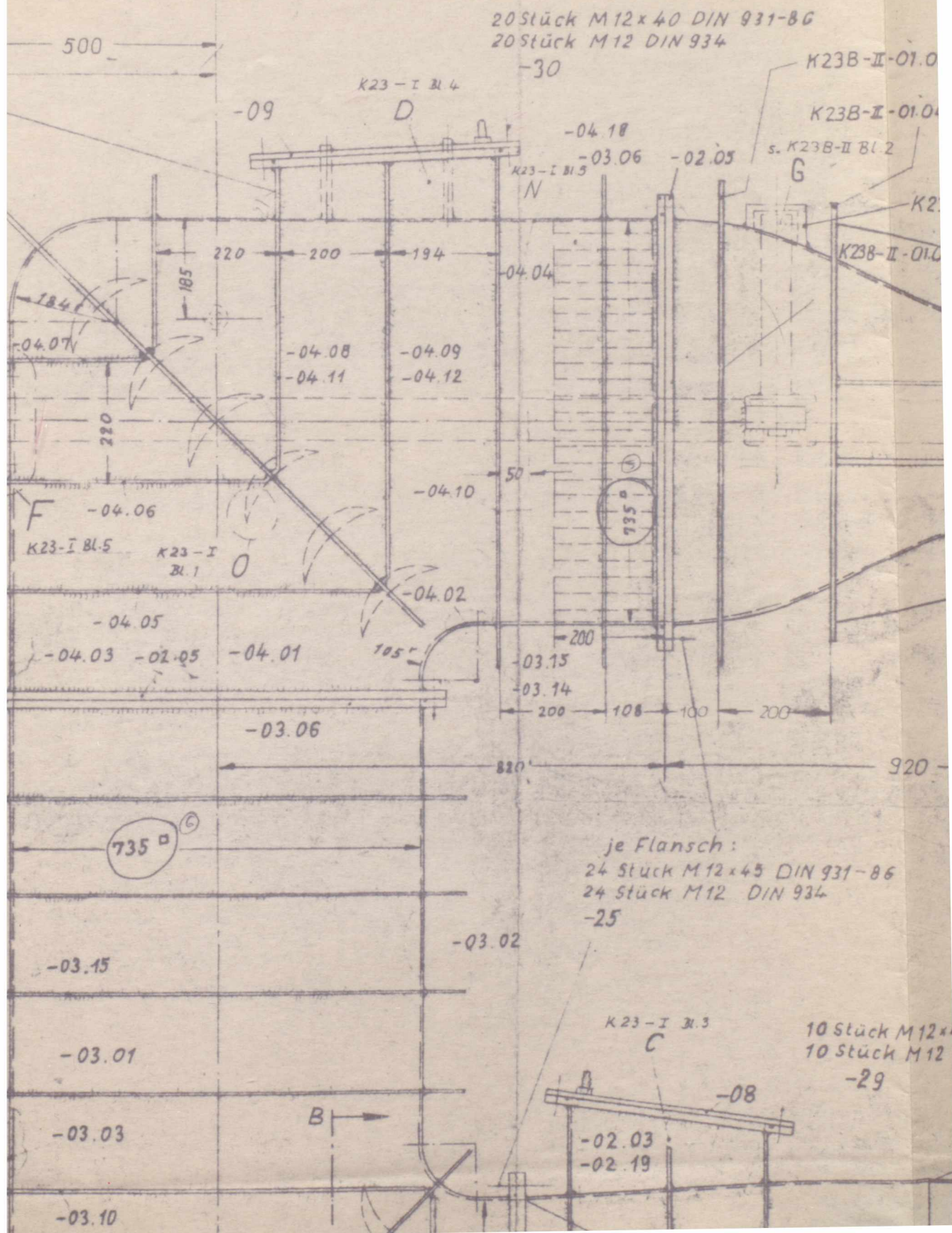
(2)

1800

1290

1260

Schnitt A-A



①
≈ 7200

01.03

01.04

K23-II-01.06

K23B-II-01.01

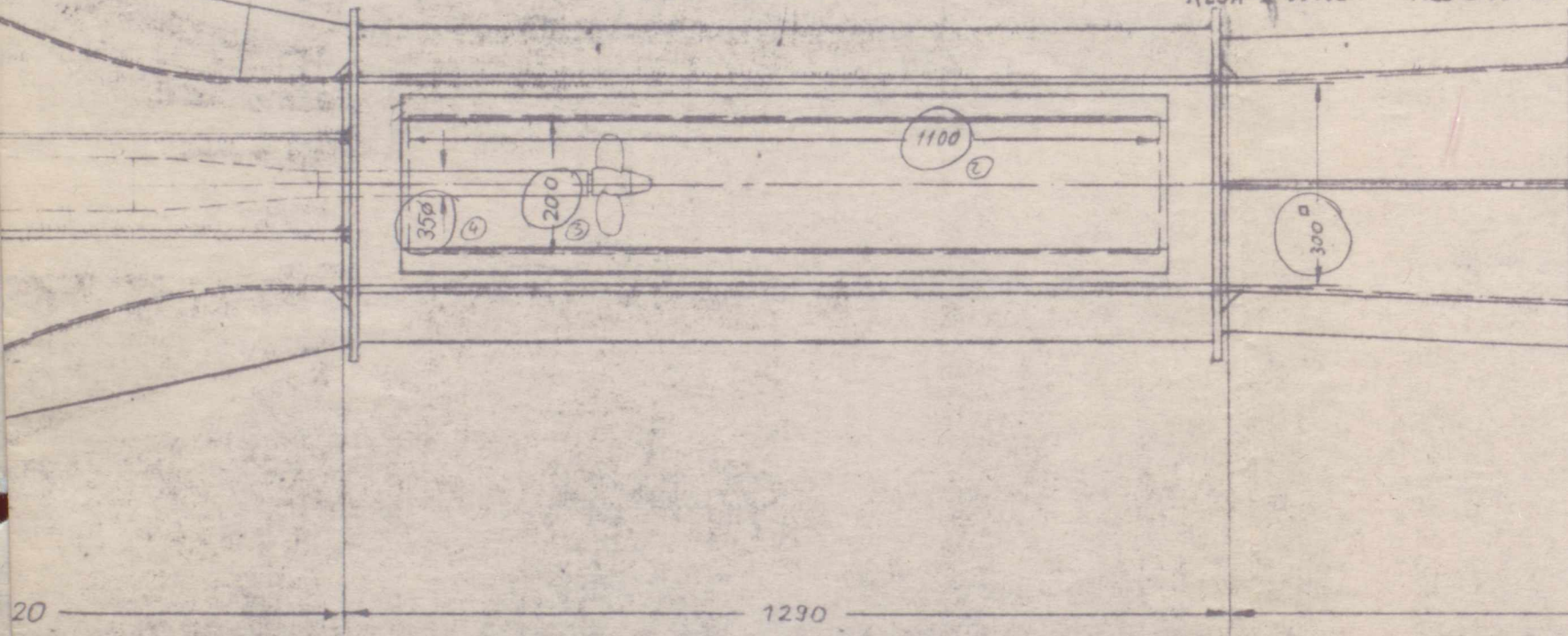
-01.02

Einzelheiten von
K23A-II-02 siehe K23B-II Bl. 1

K23A-II-02

K23A-II-03.02

K23-II-03.08



20

1290

112x40 DIN 931-86
M12 DIN 934

4x500=2000

