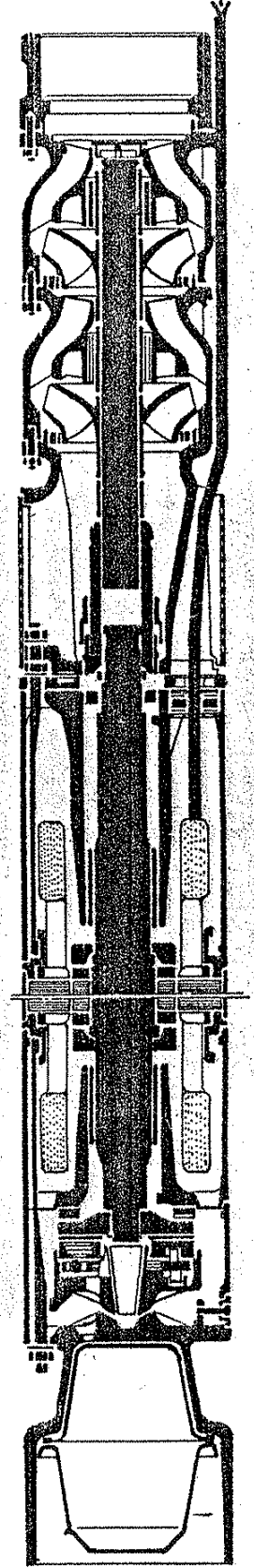


BİR DALGIÇ ELEKTRO-POMPANIN
HESABI VE
PROJELENDİRİLMESİ

CİLT I

Dönük kanatlı -Sapık yüzeyli- kanat profillerinin
Çizimi ve modelin imali
(KOVATS metodu)

Tuncer ÖZKAN
Mak.Yük.Müh
Maden Makinaları Fabrika Müdürü



1-GİRİŞ

Dalgıç pompalar, elektrik motoru ile birlikte su içinde çalışan bir veya çok kademeli santrifüj pompalardır. Bu pompalar birbirine rijit bir kavrama ile bağlı ve genelde düşey çıkış borularına asılı olarak monte edilirler.

Çarkların formuna göre; radyal çarklı, yarı eksenel çarklı ve eksenel çarklı olmak üzere pompa tipleri vardır. Radyal tip pompalar; küçük debi büyük basma yüksekliği, yarı eksenel tip pompalar; orta debi orta basma yüksekliği ve eksenel tip pompalar ise, büyük debi küçük basma yüksekliği için kullanılır.

Motor alta yerleştirilmiştir. Emiş, pompa ile motor arasında bulunan emme odasından yapılır. Motor ıslak rotordur yani, su ile doldurulmuş kısa devre asenkron motorlardır. Radyal yatakları ve eksenel yükleri karşılayan eksenel yatağı su ile yağlanmaktadır. Stator, su içinde çalışabilecek nitelikteki özel izoleli (*korumalı*) bobin teli ile sarılmıştır. Motor, radyal su sızdırmaz keçeleri ile motor içindeki suyun, basılacak suya karışmamasını sağlar. Eksenel yatağın altında bulunan bir diyafram (*mambran*), motorun ısınması sonucu suyun genleşmesi ile oluşacak olan yüksek basıncı dengeler.

Dalgıç pompaların çekvalflerinde genellikle iki delik bulunur amaç, pompaların çalışmama sonrası boru içinde bulunan suyun yavaşça pompa içinden boşaltılmasıdır. Böylelikle pompaların yukarı çekilmesi esnasında ilave olarak boru içindeki su da taşınmamış olur.

Dalgıç Elektro-Pompaların Özellikleri :

- Yüksek işletme emniyeti,
- Ekonomik çalışma şekli (*uygun verimlilik*),
- Emme kolaylığı (*su seviyesi altında kullanılabilmesi*),
- Onarım, bakım rahatlığı (*su ile yatakların yağlanması ve motorun soğutulması*),
- Gürültüsüz çalışma (*kaymalı yataklı*),
- Akuple kaplinli motor ve,
- Bu bir "MAZ" dalgıç pompa dır.

şeklinde sıralanabilir.

İÇİNDEKİLER

1- Giriş	1
2- Dalgıç Elektro-Pompa Parçalarının İmalatına ve Konstrüksiyonuna Ait Özellikler	2
a-) Pompa İçin	2
b-) Elektrik Motoru İçin	3
c-) Pompanın ana karakteristik büyüklüklerinin tespiti	4
— Karakteristik Büyüklükler	5
• Debi Q	5
• Manometrik Yükseklik H_m	5
• H_{kb} Basma Borusundaki Kayıplar	7
— λ nın belirlenmesi	18
— Basma borusundaki kayıplar	19
— H_{ke} - Emme kayıpları	22
— V_e - Emme borusundaki akışkan hızı	22
— Emme kaybı	22
— Devir sayısı	23
— Pompanın ana karakteristik büyüklükleri	23
3- Pompanın Temel Büyüklüklerinin Hesabı	23
3.1- Pompa tipinin saptanması (Özgül Hız n_s)	24
— Özgül hız	24
— Wislicenus formülüne göre n_s değerleri	33
— Emmedeki net pozitif yükün ($ENPY$) bulunması	34
3.2- Pompa mil gücünün (Efektif güç) hesabı	37
— η_k - Kaçak verim (<i>Hacimsal verim</i>)	37
— η_h - Hidrolik (<i>manometrik</i>) verim	37
— η_m -Mekanik verim	37
3.3- Pompayı çeviren (Tahrik eden) motorun gücü	39
3.4- Pompa mil çapının hesabı	41
— Göbek çapı	42
4- Çarkın boyutlandırılması	43
4.1- Çark çıkış çapı D_2	43
4.2- Çark giriş ağzı çapı D_0	51
4.3- Çark giriş ortalama çapı D_1	54

4.4- Çark giriş genişliği b_1	56
— b_1 Çark giriş genişliğinin hesaplanması	61
4.5- Çark çıkış genişliği b_2	62
4.6- Çark kanat sayısı z	64
4.7- Çark kanat kalınlığı e	65
4.8- Pompanın çark radyal kesiti taslağının çizimi	67
5- Dönük (<i>sapık</i>) kanatlı çark kanadı çizimi	70
5.1- ($d_1 - d_2$) akışkan ipçiğine ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi	73
5.2- ($d_1 - d_2$) akışkan ipçiğine ait büyüklüklerin nokta nokta hesabı	77
5.3- ($d_1 - d_2$) akışkan ipçiğine karşılık gelen kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi	81
— A. Kovats metodu	81
— β_m Ortalama kanat açısının hesabı (<i>Kovats Metodu</i>)	89
5.4- ($i_1 - i_2$) akışkan ipçiğine ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi	100
5.5- ($i_1 - i_2$) akışkan ipçiğine ait büyüklüklerin nokta nokta hesabı	103
5.6- ($i_1 - i_2$) akışkan ipçiğine karşılık gelen kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi	109
5.7- ($a_1 - a_2$) akışkan ipçiğine ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi	114
5.8- ($a_1 - a_2$) akışkan ipçiğine ait büyüklüklerin nokta nokta hesabı	117
5.9- ($a_1 - a_2$) akışkan ipçiğine karşılık gelen kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi	121
6- Kanat yüzeyini belirten açıların,eksenel görünüş üzerine taşınması	127
7- Modelin İmali	129
8- Kontroller	135
8.1- D_1 ; çark giriş ortalama çapının kontrolü	135
8.2- Z ; çark kanat sayısının hesabı	135
8.3- b_1 ; çark giriş genişliğinin hesabı	136
8.4- b_2 ; çark çıkış genişliğinin hesabı	136
8.5- $(Z \cdot L)_{min}$ Kontrolü	137

8.6- Kanatlar arasındaki kanal kesitlerinin kontrolü	138
8.7- Kanatlar arasındaki koniklik açısının kontrolü	147
9- Hidrolik Kayıplar	148
10- Karakteristik Eğrinin Hesabı ve Çizimi	151
Literatür	186

1-GİRİŞ

Dalgıç pompalar,elektrik motoru ile birlikte su içinde çalışan bir veya çok kademeli santrifüj pompalardır. Bu pompalar birbirine rijit bir kavrama ile bağlı ve genelde düşey çıkış borularına asılı olarak monte edilirler.

Çarkların formuna göre; radyal çarklı,yarı eksenel çarklı ve eksenel çarklı olmak üzere pompa tipleri vardır. Radyal tip pompalar; küçük debi büyük basma yüksekliği , yarı eksenel tip pompalar; orta debi orta basma yüksekliği ve eksenel tip pompalar ise,büyük debi küçük basma yüksekliği için kullanılır.

Motor alta yerleştirilmiştir. Emiş,pompa ile motor arasında bulunan emme odasından yapılır. Motor ıslak rotordur yani,su ile doldurulmuş kısa devre asenkron motorlardır. Radyal yatakları ve eksenel yükleri karşılayan eksenel yatağı su ile yağlanmaktadır. Stator,su içinde çalışabilecek nitelikteki özel izoleli (*korumalı*) bobin teli ile sarılmıştır. Motor,radyal su sızdırmaz keçeleri ile motor içindeki suyun,basılacak suya karışmamasını sağlar. Eksenel yatağın altında bulunan bir diyafram (*mambran*),motorun ısınması sonucu suyun genleşmesi ile oluşacak olan yüksek basıncı dengeler.

Dalgıç pompaların çekvalflerinde genellikle iki delik bulunur amaç,pompaların çalışmama sonrası boru içinde bulunan suyun yavaşça pompa içinden boşaltılmasıdır. Böylelikle pompaların yukarı çekilmesi esnasında ilave olarak boru içindeki su da taşınmamış olur.

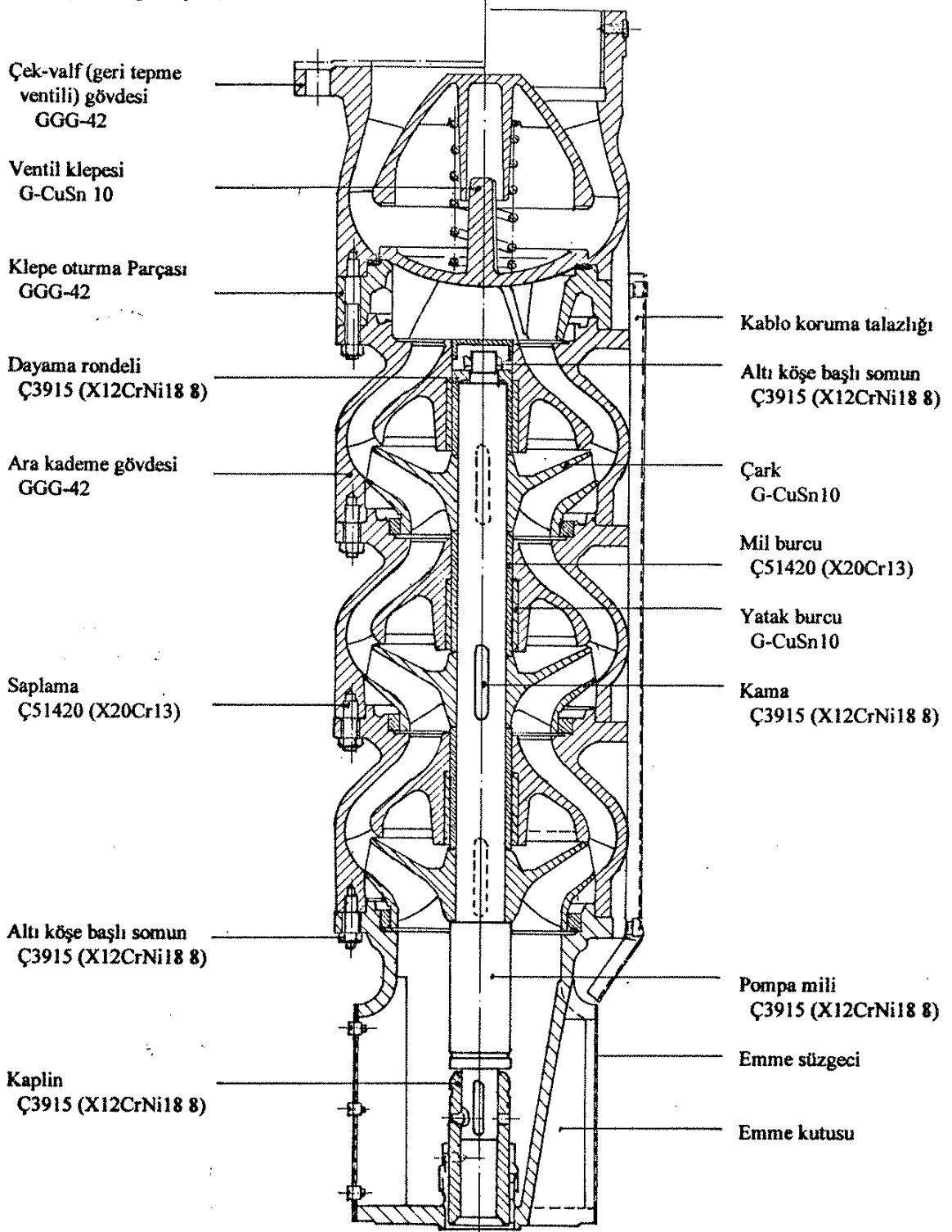
Dalgıç Elektro-Pompaların Özellikleri :

- Yüksek işletme emniyeti,
- Ekonomik çalışma şekli (*uygun verimlilik*),
- Emme kolaylığı (*su seviyesi altında kullanılabilmesi*),
- Onarım,bakım rahatlığı (*su ile yatakların yağlanması ve motorun soğutulması*),
- Gürültüsüz çalışma (*kaymalı yataklı*),
- Akuple kaplinli motor ve,
- Bu bir "MAZ" dalgıç pompa dır.

şeklinde sıralanabilir.

2- DALGIÇ ELEKTRO-POMPA PARÇALARININ İMALATINA VE KONSTRÜKSİYONUNA AİT ÖZELLİKLER

a) Pompa için;

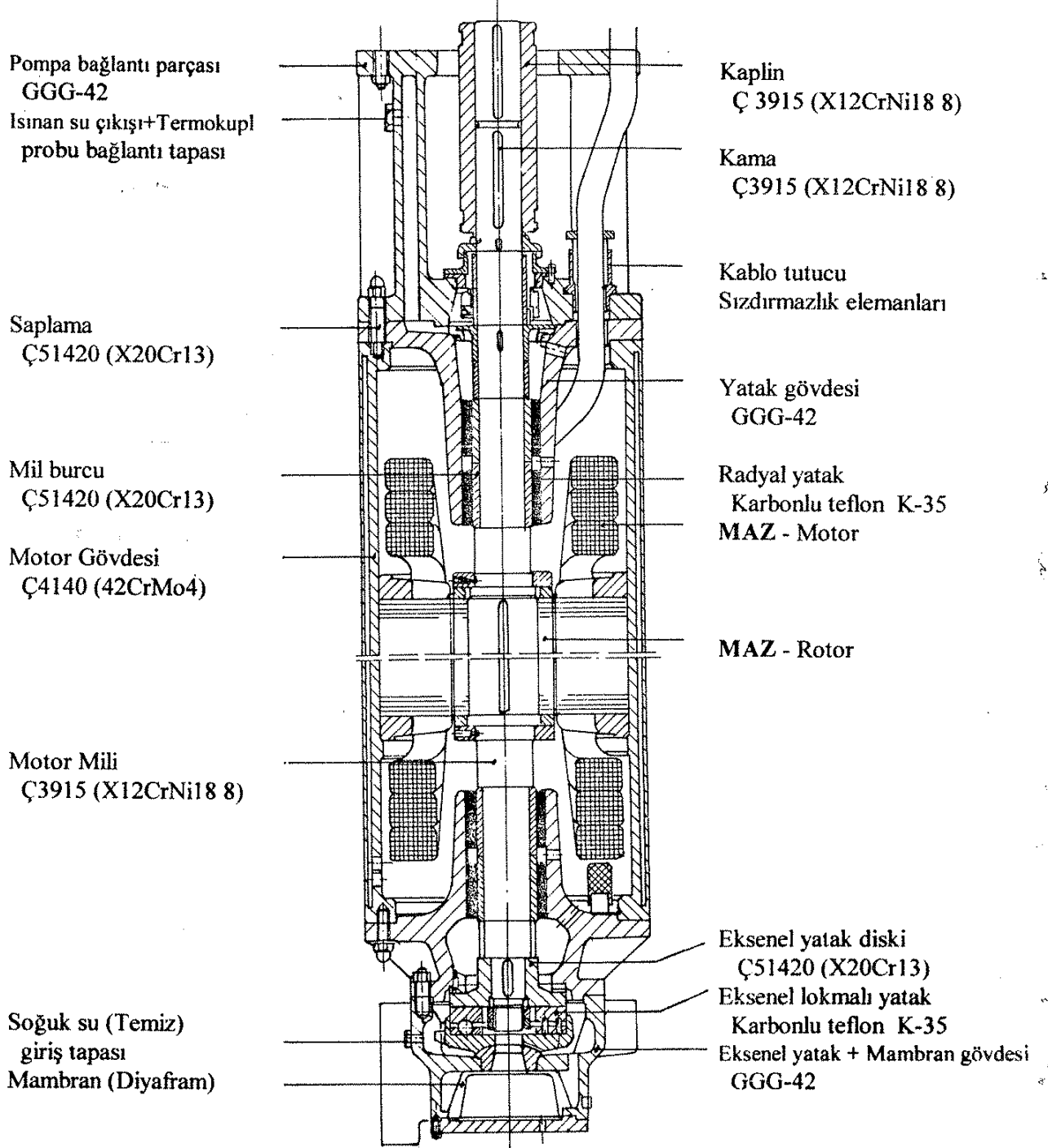


Şekil 2.1-Dalgıç pompanın kesiti

Ana parçalar,şekil 2.1 de MAZ dalgıç pompanın kesit resmi üzerinde gösterilmiştir

b)Elektrik motoru için;

Ana parçalar,Şekil 2.2 de MAZ elektrik motorunun kesit resmi üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.2-Dalgıç elektrik motorunun kesiti

c) Pompanın ana karakteristik büyüklüklerinin tespiti;

Bir santrifüj pompanın hesabı ve projesinin hazırlanması için genellikle üç karakteristik büyüklüğün bilinmesi yeterlidir.

H_m : Manometrik yükseklik [m.S.S]

Q : Debi [m^3/sn]

n : Devir sayısı [d/dak.]

Pratikte, bir santrifüj pompanın hesabı, projesinin hazırlanarak imalatının gerçekleştirilmesi konusu ile karşılaşıldığında, genellikle yukarıda söz konusu edilen Q , H_m , n gibi ana karakteristik büyüklüklerin her üçü birden verilmeyebilir. Hatta çok zaman da, belirli bir amaç saptanır ve Q , H_m değerlerinin hesaplanması da proje yapana kalır. Q ve H_m değerlerinin hesaplanması halinde de üçüncü büyüklük olan devir sayısı, işletme özelliklerine, pompayı çevirecek olan makinanın (*elektrik motoru gibi*) seçimine, pompanın ekonomik boyutlarının saptanmasına bağlı olarak projeci tarafından seçilir. Ayrıca, göz önünde tutulması gerekli önemli bir nokta da; hesapları, projesi yapılacak ve imalatı gerçekleştirilecek olan pompanın en iyi verimli bir pompa olmasını sağlamak ve çalışma koşullarını da en iyi verim noktasında veya o civardaki noktalarda çalışacak şekilde saptamak olmalıdır [L.2]

Kozlu müessesesinde, -200m, -300m, -425m ve -560m kotları olmak üzere dört ana kat mevcuttur. Su -280m de olduğuna göre, boşaltmada öngörülen proje;

- $H_m = 320$ m.S.S, $Q = 450$ $m^3/saat$, $N = 660$ KW, $U = 3300$ V, $I = 154$ A ve $n=1480$ d/dak karakteristik değerlere haiz (7+7) kademeli, KSB firması tarafından Karadon müessesesi Çatalağzı ana ihraç kuyusundaki su boşaltma işinde kullanılmak üzere prototip olarak imal edilen (~1972) ancak 1992 yılında MAZ tarafından hurda halindeki bütün parçaları yenilenen (*elektrik motoru dahil*) bu pompa ile, Kozlu yeni kuyudan -320m ye kadar olan suyu boşaltmak (23/09/1992 saat 16.45 te boşaltma işlemi başlamıştır.),
- Bu arada, -200m katı su havuzunda bulunan 4 adet BUSTER-SULZER kat pompalarını ($Q=450$ $m^3/saat$, $H_m= 214$ m.S.S) çalışır hale getirmek,
- 1 nolu kuyuda -300m katına inmek ve bu katın su havuzunda bulunan 3 adet BUSTER-SULZER kat pompalarını ($Q=450$ $m^3/saat$, $H_m=104$ m.S.S) çalışır hale getirmek ayrıca bu katın pompa dairesine yeni kuyudan sökülen (7+7) kademeli KSB pompasını koyarak tesisat bağlantısını yapmak (04/09/1992

Saat.1300 de -300 katına inildi ve 21/02/1993 Saat.11.00 de **MAZ** tamiri KSB pompa çalışmaya başladı),

- -425m katındaki suyu 1 nolu kuyudan -300m katındaki su havuzuna çekebilmek için 3 adet **MAZ** dalgıç elektro-pompayı (yol vericileri dahil) çok kısa sürede imal etmek (18/08/1993 Saat.12.25 te 1.**MAZ** pompa ,08/09/1993 Saat.10.45 te 2.**MAZ** pompa ve 09/09/1993 te de 3.**MAZ** pompa çalışmaya başladı),
- -425 katına inmek ve bu katın su havuzunda bulunan 2 adet BUSTER-SULZER ($Q=225m^3/saat$, $H_m=125 m.S.S$) 1 adet SUMAŞ ($Q=150 m^3/saat$, $H_m=125 m.S.S$) kat pompalarını çalışır hale getirmek ayrıca -300m. katı su havuzundan sökülen 3 adet **MAZ** dalgıç pompayı yeni kuyu -425 m de,-560m katının suyunu -425m katı su havuzuna pompalamak daha sonra da bu dalgıç pompaları,şekil 2.3 te görüldüğü gibi -425m katı pompa dairesine koyarak -300m. katı su havuzuna tesisat bağlantısı yapmak (01/10/1993 te -425m. katına inildi. 08/04/1994 de 1.**MAZ** pompa,14/04/1994 de 2.**MAZ** pompa ve 19/07/1994 de 3.**MAZ** pompa çalışmaya başladı) şeklinde düşünüldü ve başarılı bir şekilde aynen uygulandı.

Karakteristik büyüklükler:

- **Debi Q;**

Su seviyesini -300m katının altına indirmek için günde 25000 m³ su miktarının (doğal su geliri 3500 m³/gün dahil) atılmasından yola çıkarak,bu 25000m³/gün suyun pompalanması (kat pompaları da düşünülürse) ~325 m³/saat kapasiteli 3 adet **MAZ** dalgıç elektro-pompa ile gerçekleştirilebilir. Şu halde debiyi,

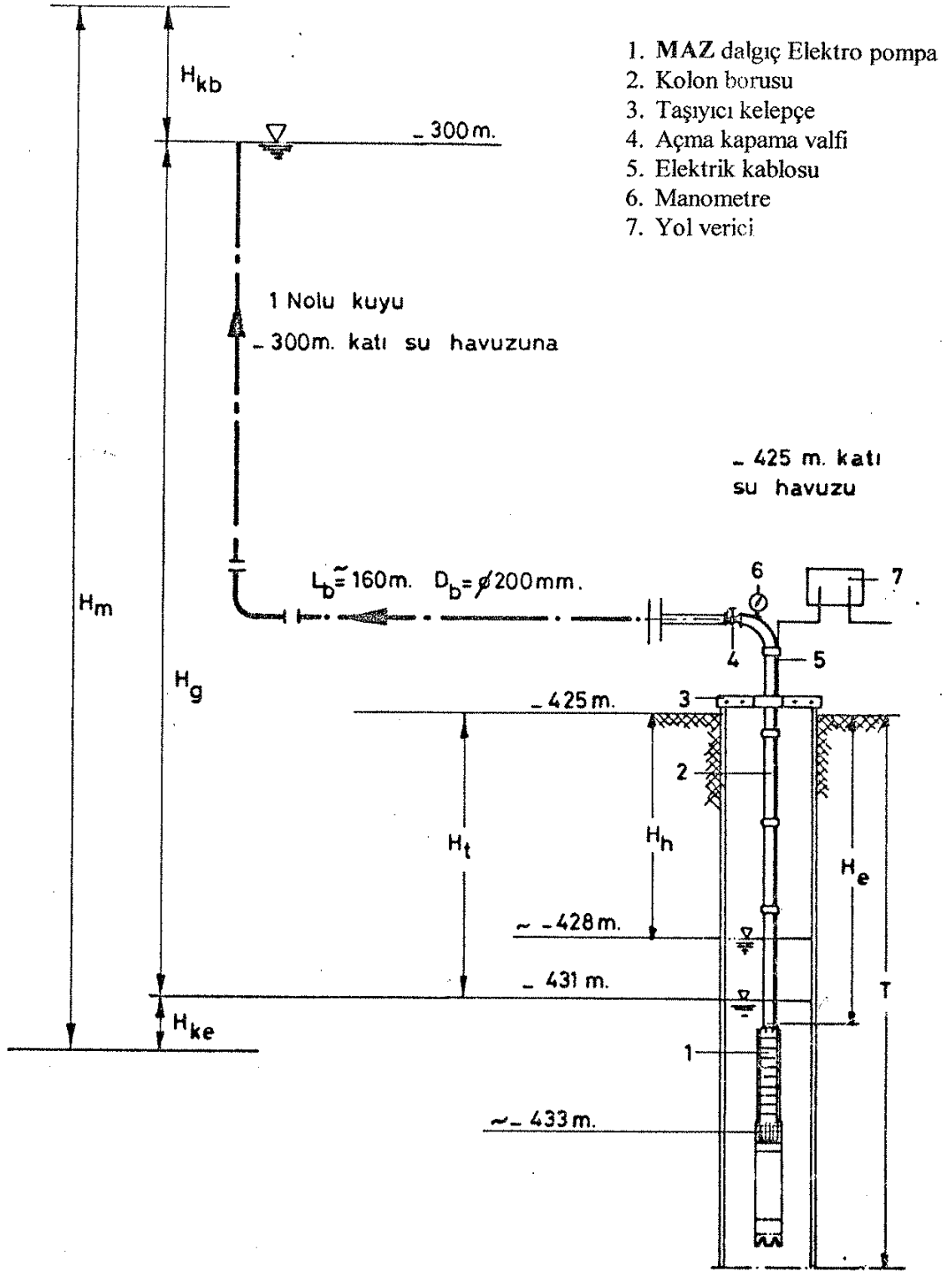
$$\underline{\underline{Q = 90 \text{ lt./san.} = 324 \text{ m}^3 / \text{saat}}}$$

olarak seçebiliriz.

- **Manometrik yükseklik H_m;**

Şekil 2.3'e göre,pompanın H_m manometrik basma yüksekliği (veya toplam basma yüksekliği) saptanabilir,şöyle ki;

$$H_m = H_g + H_{ke} + H_{kb} \quad (2/1)$$



- T — Kuyu derinliği (~12 m)
 H_e — Montaj derinliği (H_e-H_t = En az 0,5 m)
 H_t — En düşük su seviyesi (~6 m)
 H_h — Durgun su seviyesi (~3 m)

Şekil 2.3-Pompa tesisatında,manometrik yüksekliğin (H_m) belirlenmesi için montaj örneği.

• $H_{\lambda b}$ Basma borusundaki kayıplar;

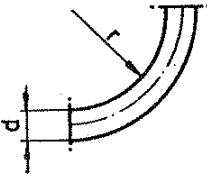
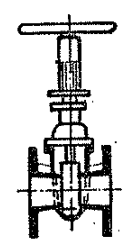
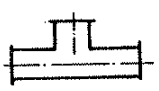

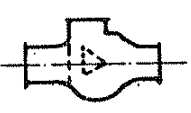

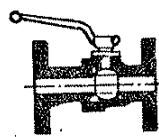
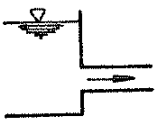
Yersel (lokal) ve sürekli kayıpları ayrı ayrı gösterirsek, toplam basma kayıpları,

$$H_{kb} = K \frac{V_b^2}{2g} + \lambda \frac{L_b}{D_b} \frac{V_b^2}{2g} \quad \frac{H_{kb}}{\text{m.S.S}} \quad \frac{V_b}{\text{m/san}} \quad \frac{L_b}{\text{m}} \quad \frac{D_b}{\text{m}} \quad (2/2)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

K-Lokal (yersel) kayıp katsayılarının toplamı (basma borusu üzerindeki boru bağlantı elemanlarının ve armatürlerinin kayıp katsayıları şekil 2.4 ten seçilebilir veya cetvel 2.1 den alınabilir.)

$$\text{Lokal (yersel) kayıp : } \zeta = K \frac{V^2}{2g} \quad [\text{m.S.S}]$$

	<p>Boru dirseği:</p> $K=0,13+0,16 \cdot (d/r)^{3,5}$ $d/r=0,4,0,8,1,0,1,4,1,8,2,0$ $K=0,14,0,2,0,3,0,66,1,4,2,0$		<p>Sürgülü Vana:</p> $K=0,22 \dots 0,38$
	<p>T-Bağlantı parçası:</p> $K=0,8 \dots 1,7$		<p>Dip Klapesi ve süzgeci:</p> $K=3 \dots 15$
	<p>Geri Tepme Ventili : (Çek-valf) :</p> <p>a)Klapeli</p> $K=3,4 \dots 4,3$		<p>Hazne Girişi:</p> $K=1$
	<p>b)Küresel Koswa tipi</p> $K=1,8 \dots 3,3$		<p>Hazne çıkışı:</p> $K=0,5$

Şekil 2.4 -Boru bağlantı elemanları ve kayıp katsayıları [L.2]

Tablalı vana	4 ... 10
Sürgülü vana	0,1 ... 0,2
Geri tepme ventili	0,1 ... 2,0
Kelebek vana	0,4 ... 0,6
Eğik eksenli vana (şiber valf)	3 ... 5
Dip klapesi ve süzgeci	5 ... 15
Köşe vanası (kalorifer için)	2 ... 5
Rekor	0,02 ... 0,07

Cetvel 2.1 - Çeşitli tesisat elemanları için lokal kayıp kat sayısı, "K" değerleri [L.19].

Not : Çeşitli tesisat elemanları (vana supap gibi);tiplerine,konstrüksiyonlarına ve imalattaki itinaya bağlı olarak çok değişik kayıp katsayıları gösterirler. Genellikle bunlar için tavsiye edilen değerler bir el kitabından bir diğerine değişir. Bu kayıplar için bir fikir vermek üzere,ilaveten cetvel 2.1 hazırlanmıştır. Bu cetvelde vana ve ventillerin kayıpları tam açık duruma karşılık gelmektedir.

Basma borusunda ; 4 dirsek, 1 sürgülü vana ve 1 çek-valf bulunduğuna göre :

K_d — Dirsek kayıp katsayısı (=0,3)

$$\underline{\underline{K_d = 4 \cdot 0,3 = 1,2}}$$

K_v — Vana kayıp katsayısı

$$\underline{\underline{K_v = 0,38}}$$

K_c — Çek-valf kayıp katsayısı

$$\underline{\underline{K_c = 3}}$$

değerleri seçilerek (şekil 2.4) ,

$$K = K_d + K_v + K_c$$

$$K = 1,2 + 0,38 + 3$$

$$K = 4,58$$

bulunur.

V_b — Basma borusundaki akışkan hızı

Borularda akışkan hızlarının seçimi :

- **Dubbel'e** göre [L.21];

V [m/sn] hız değerleri Cetvel 2.2 den alınabilir.

Su için ;	
* Pompanın emme borusunda	0,5 ... 1 ... 2
Pompanın basma (basınç) borusunda	1,5 ... 2 ... 4
Konut borularında	1,5 ... 2,5
Su dağıtım şebekelerinde (su isale hatları).....	1,5 ... 3,5
Su türbinlerinde.....	2 ... 4 ... 8

Cetvel 2.2 - Akışkan hızları V [m/sn] için, tavsiye edilen değerler [L.21]

**Emme borusundaki akışkan hızını sınırlayan en önemli faktör kavitasyon dur.*

- **KSB** ye göre [L.4];

Emme borusu ve giriş borusundaki max. hız 3m/sn yi geçmemesi gerekir. Tavsiye edilen hız 1 ... 2 m/sn dir.

- **Pumpen'e** göre [L.5] ,

Su için V[m/sn] hız değerleri (TGL 27-2600) ;

Emme borusunda : 0,7 ... 1,5

Basma borusunda : 1 ... 3

olup daha geniş bilgi Cetvel 2.3 de verilmiştir.

İlk yaklaşıklıkla,

$$\underline{V_b=2,5 \text{ m/sn}}$$

seçilebilir

D_b — Basma borusu çapı;

V_b hız değeri bulunduktan sonra,

$$Q = \frac{\pi \cdot D_b^2}{4} V_b \quad \begin{array}{c|c|c} Q & D_b & V_b \\ \hline \text{m}^3/\text{san.} & \text{m.} & \text{m/sn.} \end{array} \quad (2/3)$$

süreklilik denklemi yardımıyla, D_b basma borusu çapı kolayca bulunur. Boru çapları norm olarak imal edilip satışa sunulduğu için bulunan çap, en yakın norm çapı olarak seçilmelidir. (*Norm boru çapları ve flanş ölçüleri, cetvel 2.4, 2.5 ve 2.6 da verilmiştir*).

D_b çapı norm boru çapı olarak seçildikten sonra, V_b hızını bu yeni değere göre tekrar hesaplamak gerekir.

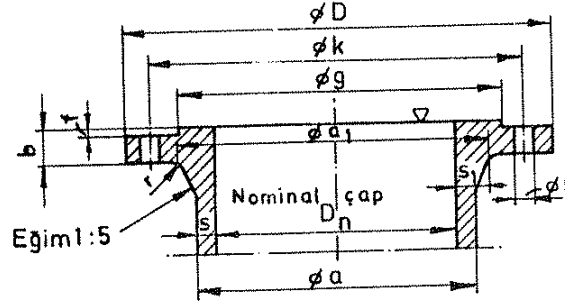
$$0,090 = \frac{\pi \cdot D_b^2}{4} \cdot 2,5$$

$$D_b = 0,214 \text{ m}$$

Su akış hızları

• İçme ve kullanma suyu isale hatlarında	3 m/sn ye kadar
• İçme ve kullanma suyu ana borularında	2 m/sn ye kadar
• İçme ve kullanma suyu lokal (<i>yerel</i>) şebekelerde	0,6 ... 0,7
• Soğutma (<i>soğuk</i>) suyu emme borularında	0,7 ... 1,5
• Soğutma (<i>soğuk</i>) suyu basma (<i>basınç</i>) borularında	1 ... 3
• Besleme suyu giriş borularında	0,5 ... 1
• Besleme suyu basma (<i>basınç</i>) borularında	1,5 ... 2,5
• Kondense suyu emme borularında (<i>hava taşımaz-hava cebi yok</i>)	0,5 ... 1
• Kondense suyu basma (<i>basınç</i>) borularında	1,5 ... 3
• Kaynar ve sıcak su isale hatlarında	1 ... 2,5
• Kaynar ve sıcak su lokal (<i>yerel</i>) şebekelerde	0,8 ... 2
• Su türbini borularında (<i>uzun ve düz</i>)	1 ... 3
• Su türbini borularında (<i>küçük çaplı dik</i>)	2 ... 4
• Su türbini borularında (<i>büyük çaplı dik</i>)	3 ... 7
• Basınçlı su borularında (<i>100xW den daha büyük boyutta</i>) ..	15 m/sn.ye kadar
• Basınçlı su borularında (<i>100xNW den daha küçük boyutta</i>) ...	20 ... 30
• Maden ocağı suyu basınç borularında	1 ... 1,5
• Cüruf yıkama borularında (<i>emme tarafı</i>)	0,5 ... 1
• Cüruf yıkama borularında (<i>basma tarafı</i>)	1,7 ... 2,5
• Çamur pompalarında	1 ... 2
• Kömür çamurunda (<i>300 ... 700 kg/cm² ye kadar</i>)	1 ... 1,5
• Akıcı kimyasal mahsullerde	3 ... 5

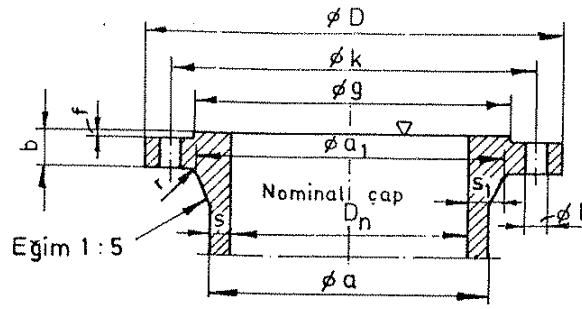
Cetvel 2.3-TGL27-26000'e göre akışkan hızları [L.5]



Ölçüler (mm.) olarak verilmiştir

Nominal çap	Boru		Flanş			Civata			Flanşın dayanma yüzü		Flanşın arka yüzeyi		
	Dış çap	Et kalınlığı	Dış çap	Kalınlık	Delik dairesi çapı	Delik sayısı	Civata dişi	Delik çapı	Fatura çapı	Fatura yüksek liği	Çap	Kalınlık	Eğrilik yarı çapı
D_n	a	s	D	b	k			l	g	f	a_1	s_1	r
10	22	6	75	12	50	4	M10	11,5	35	2	26	8	3
15	25	6	80	12	55	4	M10	11,5	40	2	29	8	3
20	33	6,5	90	14	65	4	M10	11,5	50	2	38	9	4
25	39	7	100	14	75	4	M10	11,5	60	2	47	11	4
32	46	7	120	16	90	4	M12	14	70	2	56	12	4
40	55	7,5	130	16	100	4	M12	14	80	3	64	12	4
50	65	7,5	140	16	110	4	M12	14	90	3	74	12	4
65	86	8	160	16	130	4	M12	14	110	3	94	12	4
80	97	8,5	190	18	150	4	M16	18	128	3	108	14	5
100	118	9	210	18	170	4	M16	18	148	3	128	14	5
125	144	9,5	240	20	200	8	M16	18	178	3	155	15	5
150	170	10	265	20	225	8	M16	18	202	3	180	15	5
200	222	11	320	22	280	8	M16	18	258	3	234	17	6
250	274	12	375	24	335	12	M16	18	312	3	286	18	6
300	326	13	440	24	395	12	M20	23	365	4	336	18	6
350	378	14	490	26	445	12	M20	23	415	4	390	20	8
400	428	14	540	28	495	16	M20	23	465	4	442	21	8
500	532	16	645	30	600	20	M20	23	570	4	546	23	8
600	634	17	755	30	705	20	M24	27	670	5	646	23	8

Cetvel 2.4-DIN 2530'a göre 2,5 kg/cm² (25 m.S.S) işletme basıncına kadar
PIK DÖKÜM FLANŞ ÖLÇÜLERİ [L.2]



Ölçüler (mm.) olarak verilmiştir

Nominal çap	Boru		Flanş			Civata			Flanşın dayanma vüzu		Flanşın arka yüzeyi		
	Dış çap	Et kalınlığı	Dış çap	Kalınlık	Delik dairesi	Delik	Civata	Delik çapı	Fatura çapı	Fatura yüksek	Çap	Kalınlık	Eğrilik yarı
D_n	a	s	D	b	k			l	g	f	a_1	s_1	r
10	22	6	75	12	50	4	M10	11,5	35	2	26	8	3
15	25	6	80	12	55	4	M10	11,5	40	2	29	8	3
20	33	6,5	90	14	65	4	M10	11,5	50	2	38	9	4
25	39	7	100	14	75	4	M10	11,5	60	2	47	11	4
32	46	7	120	16	90	4	M12	14	70	2	56	12	4
40	55	7,5	130	16	100	4	M12	14	80	3	64	12	4
50	65	7,5	140	16	110	4	M12	14	90	3	74	12	4
65	86	8	160	16	130	4	M12	14	110	3	94	12	4
80	97	8,5	190	18	150	4	M16	18	128	3	108	14	5
100	118	9	210	18	170	4	M16	18	148	3	128	14	5
125	144	9,5	240	20	200	8	M16	18	178	3	155	15	5
150	170	10	265	20	225	8	M16	18	202	3	180	15	5
200	222	11	320	22	280	8	M16	18	258	3	234	17	6
250	274	12	375	24	335	12	M16	18	312	3	286	18	6
300	326	13	440	24	395	12	M20	23	365	4	336	18	6
350	378	14	490	26	445	12	M20	23	415	4	390	20	8
400	428	14	540	28	495	16	M20	23	465	4	442	21	8
500	532	16	645	30	600	20	M20	23	570	4	546	23	8
600	634	17	755	30	705	20	M24	27	670	5	646	23	8
700	736	18	860	32	810	24	M24	27	775	5	748	24	10
800	838	19	975	34	920	24	M27	30	880	5	852	26	10

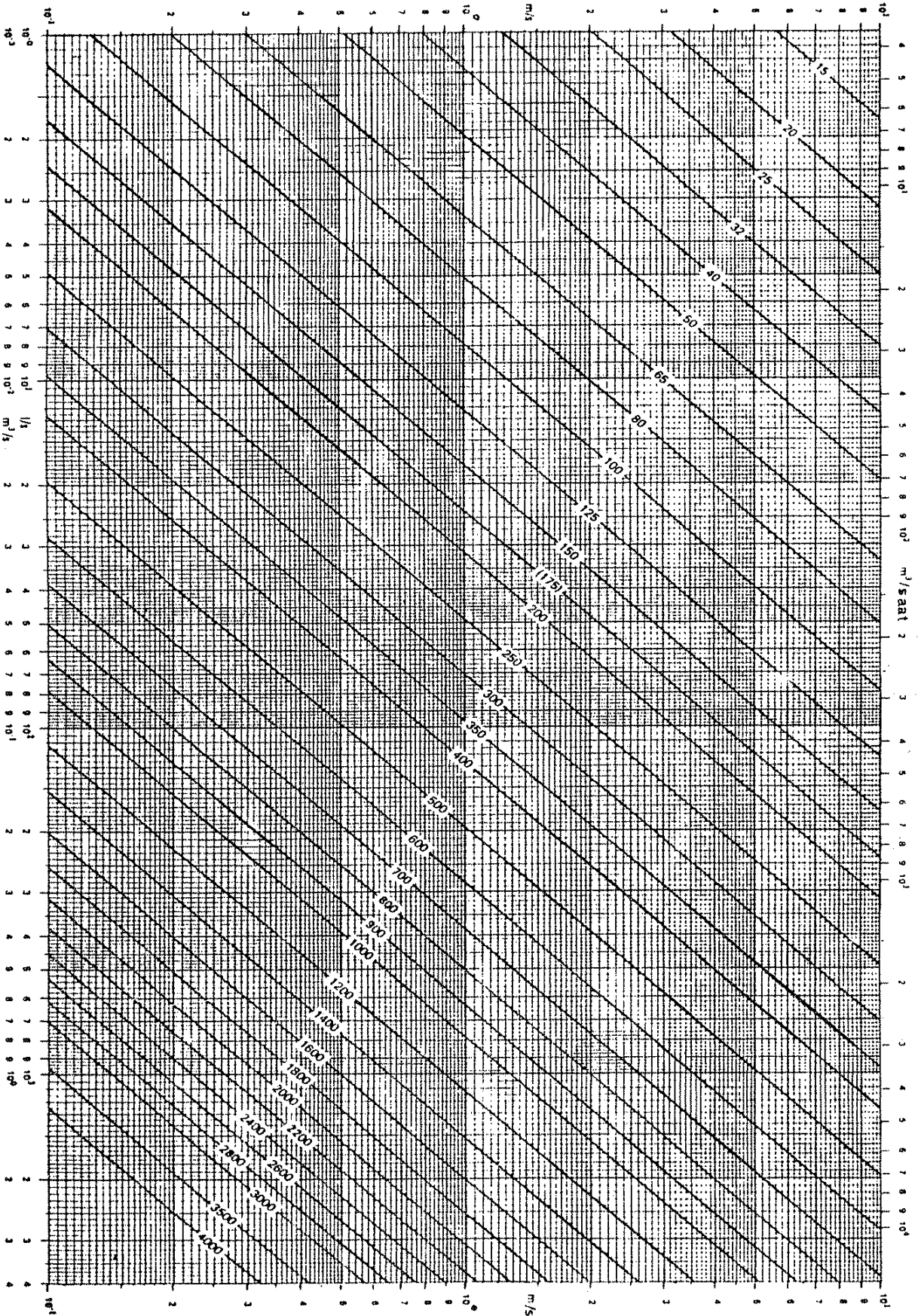
Cetvel 2.5-DIN 2531'e göre 6 kg/cm² (60 m.S.S) işletme basıncına kadar
PIK DÖKÜM FLANŞ ÖLÇÜLERİ [L.2].

Şekil 2.5- Debi ve nominal boru çapının bir fonksiyonu olarak akışkan hızı
V'nin hesaplanması için grafik [L.4].

$$\text{ÖRNEK: } \left. \begin{array}{l} Q = 90 \text{ lt / sn.} = 324 \text{ m}^3 / \text{saat} \\ D = \phi 200 \text{ mm.} \end{array} \right\} V = 2,865 \text{ m/sn.}$$

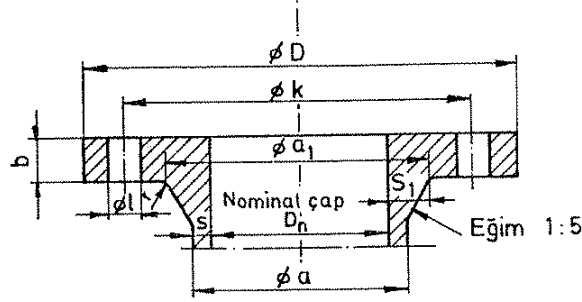
Akışkan hızı V (m/sn.) →

Debi Q (m^3 / saat) →



Debi Q (lit/sn. ; m^3 /sn.) →

Akışkan hızı V (m/sn.) →



Ölçüler (mm.) olarak verilmiştir

Nominal çap	Boru		Flanş			Civata			Flanşın arka yüzeyi		
	Dış çap	Et kalınlığı	Dış çap	Kalınlık	Delik dairesi çapı	Delik sayısı	Civata dişi	Delik çapı	Çap	Kalınlık	Eğrilik yarı çapı
D_n	a	s	D	b	k			ℓ	a_1	s_1	r
10	22	6	90	14	60	4	M12	14	30	10	4
15	25	6	95	14	65	4	M12	14	35	11	4
20	33	6,5	105	16	75	4	M12	14	42	11	4
25	39	7	115	16	85	4	M12	14	49	12	4
32	46	7	140	16	100	4	M16	18	56	12	4
40	55	7,5	150	16	110	4	M16	18	64	12	4
50	65	7,5	165	18	125	4	M16	18	78	14	5
65	86	8	185	18	145	4	M16	18	98	14	5
80	97	8,5	200	20	160	8	M16	18	110	15	5
100	119	9,5	220	20	180	8	M16	18	130	15	5
125	145	10	250	22	210	8	M16	18	159	17	6
150	172	11	285	22	240	8	M20	23	184	17	6
(175)	199	12	315	24	270	8	M20	23	211	18	6
200	224	12	340	24	295	12	M20	23	236	18	6
250	278	14	405	26	355	12	M24	27	290	20	8
300	330	15	460	28	410	12	M24	27	342	21	8
350	382	16	520	30	470	16	M24	27	396	23	8
400	436	18	580	32	525	16	M27	30	448	24	10
500	542	21	715	36	650	20	M30	33	554	27	10

Cetvel 2.6-DIN 2543'e göre 16 kg/cm² (160 m.S.S) işletme basıncına kadar ÇELİK DÖKÜM FLANŞ ÖLÇÜLERİ [L.2].

En yakın norm çapı $\phi 200$ mm olduğundan (cetvel 2.4,2.5 ve 2.6)

$$\underline{D_b = \phi 200 \text{ mm.}}$$

seçilmelidir. Bu çapa göre çıkış hızı tekrar hesaplanırsa,

$$V_b = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_b^2} = \frac{4 \cdot 0,090}{\pi \cdot 0,2^2}$$

$$\underline{V_b = 2,865 \text{ m/sn}}$$

bulunur.(Akışkan hızı,debi ve nominal boru çapına göre şekil 2,5 deki diyagramdan da alınabilir).

L_b — Basma borusu uzunluğu

$$\underline{L_b = 160 \text{ m}} \quad (\text{Şekil 2.3})$$

λ — Sürekli yük (Üniversal) kayıp katsayısı

λ ; Şekil 2.6 dan alınabilir veya aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir.

Boru içindeki akış laminer veya türbülanslı olabilir. Hidrodinamikten bilindiği üzere Reynolds sayısının kritik Reynolds sayısından ($Re_k=2320$) küçük değerlerinde akış laminer ve daha büyük değerlerinde de akış türbülanslı olmaktadır.

• **Pumpen'e göre [L.5];**

$Re = 10^4 \dots 5 \cdot 10^5$ değerleri için :

$$\lambda = 0,0061 + \frac{0,55}{\sqrt[3]{Re}} \quad (2.4)$$

ifadesi geçerlidir.

Re — Reynolds sayısı

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \frac{V}{\text{m/sn.}} \quad \left| \quad \frac{D}{\text{m}} \quad \right| \quad \frac{\nu}{\text{m}^2/\text{sn.}} \quad (2.5)$$

V — Boru içindeki akışkan hızı
D — Nominal boru çapı
v — Kinematik viskozite

$$\underline{v = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn}} \text{ (20 } ^\circ\text{C deki su için)}$$

• **KSB** ye göre [L.4];

Üniversal kayıp katsayısı λ , içi pürüzsüz (*çok düzgün*) olan yeni çelik çekme borularda;

1- Boru içinde laminer akış hali ($Re < 2320$):

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2/6)$$

eşitliği kullanılır.

2- Boru içinde türbülanslı akış hali ($Re > 2320$):

"ECK" tarafından verilen ;

$$\lambda = \frac{0,309}{\left(\log \frac{Re}{7}\right)^2} \quad (2/7)$$

ifadesinden faydalanılır.

3- $2320 < Re < 10^8$ aralığında:

Sapmalar %1 den daha azdır.

Şekil 2.6 incelendiğinde, laminer akışta pürüzlülüğün hiç tesiri olmadığı görülür. Buna karşılık türbülanslı akışta cidar pürüzlülüğü rol oynamakta ve pürüzlülük arttıkça yük kayıpları artmaktadır.

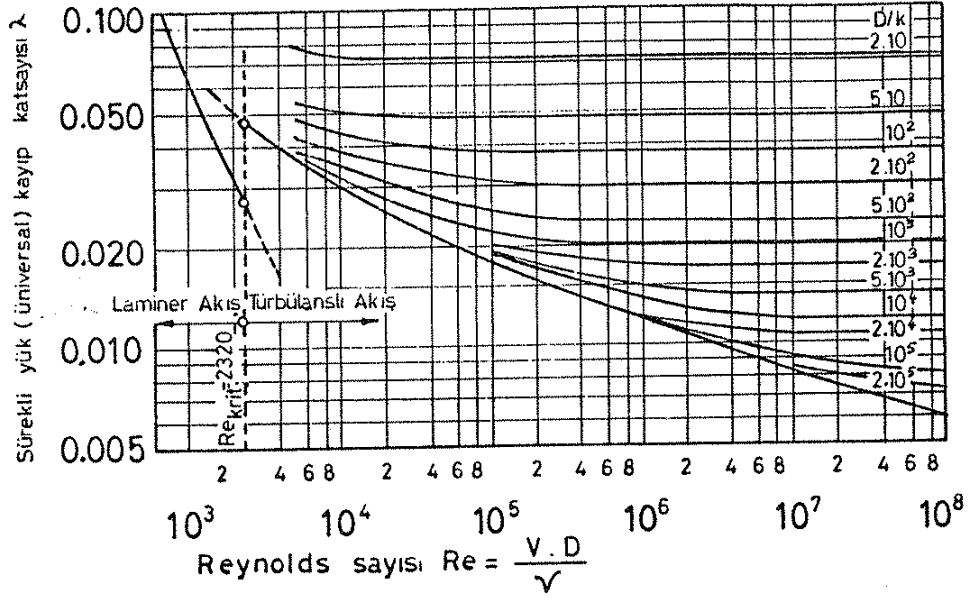
$$\varepsilon = \frac{k}{D} - \text{Relatif (izafi) pürüzlülük} \quad (2/8)$$

olmak üzere "MOODY" denklemi;

$$\lambda = 0,0055 + \frac{0,15}{\sqrt[3]{\frac{D}{k}}} \quad (2/9)$$

ile üniversal kayıp katsayısı λ ile hesaplanabilir.

k - Mutlak pürüzlülük veya ortalama pürüz yüksekliği (cetvel 2.7)



Şekil 2.6- Re sayısı ve D/k parametresine bağlı olarak üniversal kayıp katsayısı λ [L.4].

Malzeme	Boru iç cidar durumu	k [mm]
Dökme demir boru	Yeni, kullanıma (piyasaya) uygun	0,25 ... 0,5
	Biraz paslanmış	1,0 ... 1,5
	Kabuklanmış (kışırlanmış)	1,5 ... 5
Yeni, dikişsiz çelik boru, haddelenmiş veya çekilmiş	Zar gibi ince hadde tabakası bulunan	0,02 ... 0,06
	Aşınmış	0,03 ... 0,04
	Daralan kesitli borularda	0,1 'e kadar
Yeni, düz dikişli çelik boru	Zar gibi ince halde tabakası bulunan hadde	0,04 ... 0,1
Yeni, çelik boru kaplanmış (örtülü)	Metal püskürtme ile kaplanmış	0,08 ... 0,09
	Galvanizli (çinkolanmış)	0,07 ... 0,1
	Piyasaya uygun (ticari) galvanizlenmiş	0,1 ... 0,16
	Bitümlenmiş	~0,05
	Çimento kaplı	~0,18
	Galvanizli	~0,008

Cetvel 2.7-Cidar pürüzlülüğü için kabul edilebilir (tavsiye edilen) k değerleri [L.21]

λ nın belirlenmesi :

- Reynolds sayısı ;

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (\text{Eşitlik 2 / 5})$$

$$Re = \frac{2,865 \cdot 0,2}{1,01 \cdot 10^{-6}}$$

$$\underline{\underline{Re = 5,67 \cdot 10^5}}$$

$Re (= 5,67 \cdot 10^5) > Re_k (= 2320)$ dolayısıyla akış türbülanslıdır.

- $\lambda = 0,0061 + \frac{0,55}{\sqrt[3]{Re}} \quad (\text{Eşitlik 2 / 4})$

($Re = 10^4 \dots 5 \cdot 10^5$ için geçerli olan bu ifadeyi kullanabiliriz çünkü $5,67 \cdot 10^5$ değeri $5 \cdot 10^5$ değerine çok yakın)

$$\lambda = 0,0061 + \frac{0,55}{\sqrt[3]{5,67 \cdot 10^5}}$$

$$\underline{\underline{\lambda = 0,0127}}$$

- $\lambda = \frac{0,309}{\left(\log \frac{Re}{7}\right)^2} \quad (\text{Eşitlik 2 / 7})$

$$\lambda = \frac{0,309}{\left(\log \frac{5,67 \cdot 10^5}{7}\right)^2}$$

$$\underline{\underline{\lambda = 0,0128}}$$

- $$\lambda = 0,0055 + \frac{0,15}{\sqrt[3]{\frac{D}{k}}} \quad (\text{Eşitlik 2 / 9})$$

Mutlak pürüzlülük;

$k=0,06$ (cetvel 2.7 ; yeni çelik çekme boru)

$$\lambda = 0,0055 + \frac{0,15}{\sqrt[3]{\frac{200}{0,06}}}$$

$$\underline{\underline{\lambda = 0,015}}$$

veya,

$$\left. \begin{array}{l} R_e = 5,67 \cdot 10^5 \\ \frac{D}{k} = \frac{200}{0,06} \cong 3,10^3 \end{array} \right\} \underline{\underline{\lambda = 0,017}} \quad (\text{Şekil 2.6})$$

$$\underline{\underline{\lambda = 0,015}} \quad (\text{Kabul})$$

Basma borusundaki kayıplar,

$$H_{kb} = K \cdot \frac{V_b^2}{2 \cdot g} + \lambda \cdot \frac{L_b}{D_b} \cdot \frac{V_b^2}{2 \cdot g} \quad (\text{Eşitlik 2 / 2})$$

$$H_{kb} = 4,58 \cdot \frac{(2,865)^2}{2 \cdot 9,81} + 0,015 \cdot \frac{160}{0,200} \cdot \frac{(2,865)^2}{2 \cdot 9,81} = 1,91 + 5$$

$$\underline{\underline{H_{kb} \cong 7 \text{ m S.S}}}$$

Not: Düz borularda 100 m'deki sürekli yük kayıpları için, pratik olarak (şekil 2.7'deki) diyagram kullanılabilir. Yük kaybı H_k ,

$$H_k = \zeta \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2/10)$$

formülüne göre hesaplanır.

- ζ — Kayıp katsayısı
 V — Akışkan hızı [m/sn]
 g — Yer çekimi ivmesi (=9,81 m/sn²)

Şekil 2.7 deki değerler;20°C de temiz su ve eşit kinematik viskoziteli sıvılar,boru hattının tam dolu olduğu varsayımı,içi bitüm kaplı ve yeni dökme demir borular için geçerlidir. Bu değerler, boru cinsi değiştiğinde aşağıdaki katsayılar ile çarpılmalıdır.

- 0,8 :Yeni çelik çekme borular için,
1,7 :Daralan kesitli borular için,
1.25 :Eski,pürüzlü çelik borular için.

Şimdi, basma borusundaki sürekli yük kaybını şekil 2.7 ye göre hesaplayalım.

$$\left. \begin{array}{l} D_n = \phi 200 \text{ mm} \\ Q = 324 \text{ m}^3 / \text{ saat} \\ V = 2,865 \text{ m/ sn} \end{array} \right\} \underline{\underline{H_k = 4 \text{ m/100m}}}$$

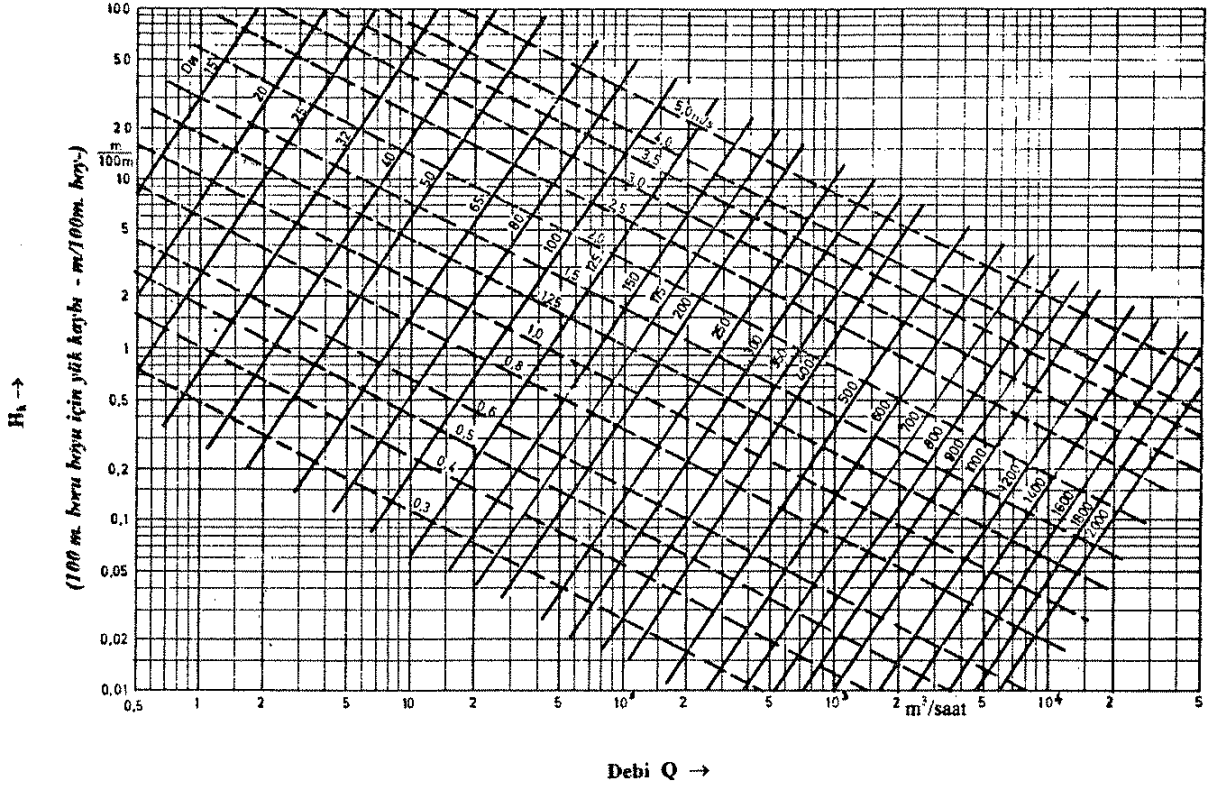
Basma borusu uzunluğu; $L_b = 160 \text{ m}$
Boru cinsi; Yeni çelik çekme boru (Katsayı 0,8)

Şu halde,

$$H_k = 4 \cdot \frac{160}{100} \cdot 0,8$$

$$\underline{\underline{H_k \cong 5,12 \text{ m.S.S}}}$$

bulunur.(Eşitlik 2/2 ye göre bu değer 5 m.S.S olarak hesaplanmıştı)



Şekil 2.7-20°C su için,düz borularda (dökme demir ve yeni) yük kaybı diyagramı [L.4].

V — Borularda ki su hızı (0,3 ... 5 m/sn)

Q — Debi (0,5 ... 50000 $m^3/saat$)

D_n — Nominal boru çapı (15 ... 2000 mm)

H_k — 100 m. boru boyu için yük kaybı ($m/100m$ boy)

H_{ke} - Emme Kayıpları

Yersel (*lokal*) ve sürekli kayıpları ayrı ayrı gösterirsek, toplam emme kayıpları,

$$H_{ke} = K \cdot \frac{V_e^2}{2 \cdot g} + \lambda \cdot \frac{L_e}{D_e} \cdot \frac{V_e^2}{2 \cdot g} \quad \begin{array}{c|c|c|c} H_{ke} & V_e & L_e & D_e \\ \hline \text{m.S.S.} & \text{m/sn.} & \text{m.} & \text{m.} \end{array} \quad (2/11)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

K-lokal kayıp katsayılarının toplamı (*Emme borusu üzerindeki, boru bağlantı elemanlarının ve armatürlerinin kayıp katsayıları şekil 2.4 ten seçilebilir veya Cetvel 2.1 den alınabilir*).

Emme süzgeci göz önüne alınırsa, süzgeç kayıp katsayısı olarak,

$$\underline{\underline{K_s = 6}} \quad (\text{Şekil 2.4})$$

alınabilir.

V_e - Emme Borusundaki Akışkan Hızı

$$\underline{\underline{V_e \cong V_b = 2,865 \text{ m/ sn.}}}$$

L_e – Emme borusu uzunluğu

D_e – Emme borusu çapı

Emiş, pompa ile motor arasında bulunan emme odasından yapılır. Dolayısıyla emme borusu yoktur.

Emme Kaybı,

$$H_{ke} = K \frac{V_e^2}{2g} = 6 \cdot \frac{(2,865)^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$\underline{\underline{H_{ke} = 2,51 \text{ m.S.S}}}$$

Toplam kayıplar belirlendikten sonra,

$$H_m = H_g + (H_{kb} + H_{ke}) \quad (\text{Eşitlik 2 / 1})$$

bağıntısı ile,

$$H_m = 131 + 7 + 2,51 = 140,51$$

$$\underline{\underline{H_m \cong 141 \text{ m.S.S}}}$$

bulunur.

Devir sayısı n;

Dalgıç elektro-pompa motorlarının devir sayıları genellikle 3000 d/dak civarında olup,mümkün olan en yüksek devir sayısını kullanmak daima avantajlıdır. Bu avantaj; daha küçük bir döndürme momenti ile yetinilebilmesi ve daha düşük devirli ve aynı güçte bir motora göre daha küçük olan bir motorun yapılabilmesidir. Boyutların ufaltılması ise maliyetin azaltılması bakımından çoğunlukla arzu edilen bir husustur. Anma devir sayısı 3000 d/dak ve,

Seçilen devir sayısı (*nominal yükteki nominal devir sayısı*),

$$\underline{\underline{n = 2935 \text{ d / dak.}}}$$

dır.

Pompanın ana karakteristik büyüklükleri;

$$Q = 90 \text{ lt / sn} = 324 \text{ m}^3 / \text{ saat}$$

$$H_m = 141 \text{ mSS}$$

$$n = 2935 \text{ d / d}$$

olarak belirlendi. Artık konu: "Devir sayısı n=2935 d/dak olan elektrik motoruna direkt akuple çalışacak ve 141 m. toplam manometrik yüksekliğe saniyede 90 lt. su basabilecek bir **MAZ** dalgıç elektro-pompanın projelendirilmesi ve imalatının yapılması" dır. Su,temiz olup,ortam sıcaklığıındadır.

3- POMPANIN TEMEL BÜYÜKLÜKLERİNİN HESABI

Pompanın ana boyutlarını hesaplamadan önce,pompayı tanımak ve tipini saptamak için ÖZGÜL HIZI,çevirici gücü (*MOTOR GÜCÜ*) ve pompanın çekeceği *gücü (MİL GÜCÜ)* hesaplamak gerekir.

3.1- Pompa tipinin saptanması (Özgül Hız n_s):

Bir pompanın n_s özgül hızı, o pompaya benzer olan ve aynı cins (*tür*) akışkanla, 1 m manometrik basma yüksekliğinde çalışıp en iyi verimle milinden 1 BG. güç çeken pompanın dakikadaki devir sayısı olup aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir:

$$n_q = n_{sq} = n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_m^{3/4}} \quad \begin{array}{c|c|c|c} n_q & Q & H_m & n \\ \hline \text{d/dak.} & \text{m}^3/\text{sn} & \text{m.S.S} & \text{d/dak} \end{array} \quad (3/1)$$

n — Nominal devir sayısı

Q — Debi (*nominal devir sayısında*)

H_m — Manometrik basma yüksekliği (*Nominal devir sayısında*)

Bazı literatürlerde özgül hız,

$$n_s = \sqrt{\frac{\rho}{75} \cdot \frac{g}{9,81}} \cdot n_q \quad (3/2)$$

Şeklinde verilir. Pompa, yoğunluğu $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ olan su basıyorsa $g=9,81 \text{ m/sn}^2$ ile;

$$n_s = 3,65 \cdot n_q = 3,65 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_m^{3/4}} \quad \begin{array}{c|c|c|c} n_s & n & Q & H_m \\ \hline \text{d/dak.} & \text{d/dak.} & \text{m}^3/\text{sn} & \text{m.S.S} \end{array} \quad (3/3)$$

olur.

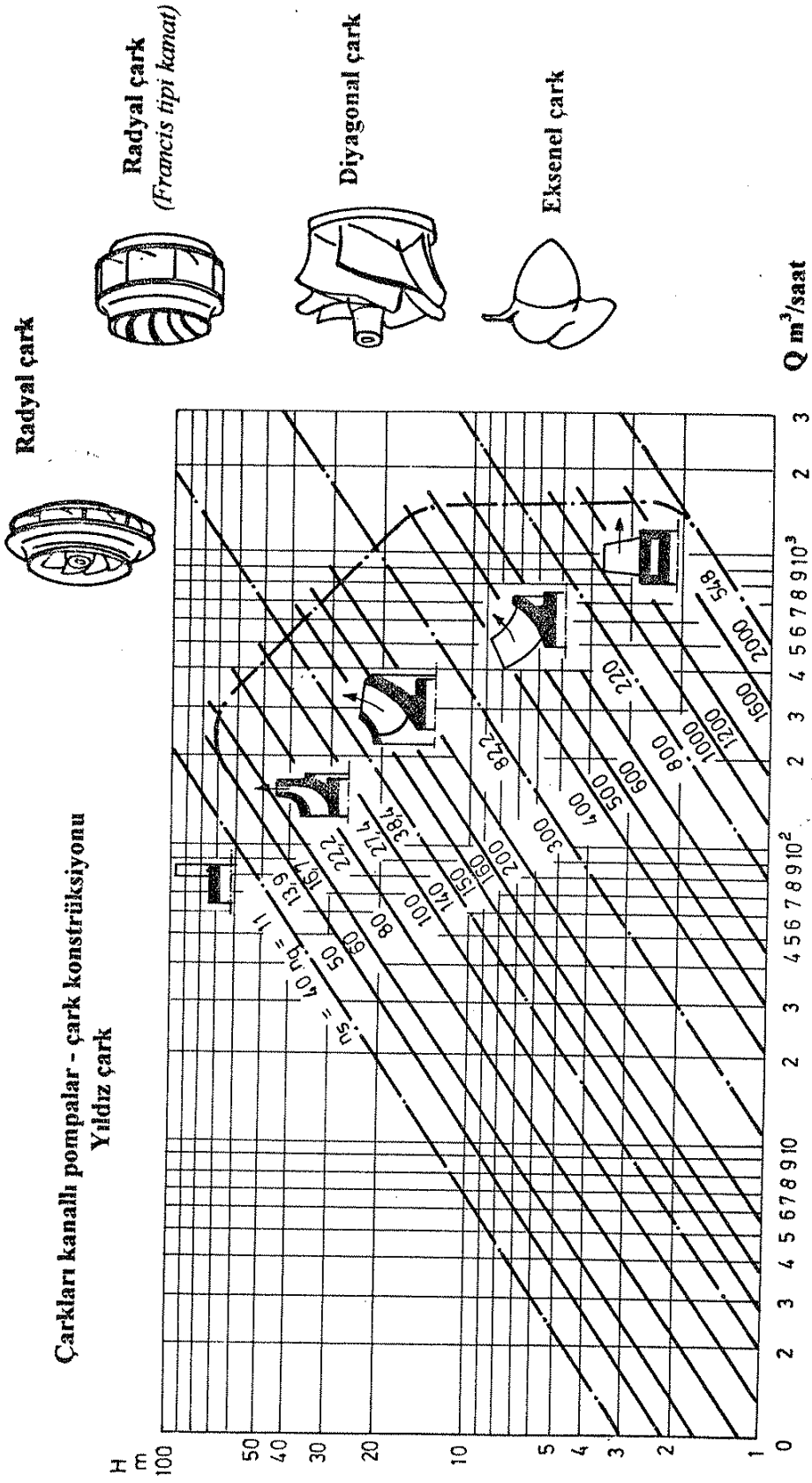
Özgül hıza göre pompa tipleri Cetvel 3.1 ve Şekil 3.1 de gösterilmiştir.

Özgül Hız;


$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_m^{3/4}} \quad (\text{Eşitlik 3 / 3})$$

$$n_s = 3,65 \cdot 2935 \cdot \frac{(0,090)^{1/2}}{(141)^{3/4}}$$

$$\underline{\underline{n_s = 78,54 \text{ d / dak}}}$$



Şekil 3.1 - Özgül hızla göre çark konstrüksiyonları ve dolayısıyla pompa tipleri [L.5].

Çark tipi	Çark formu	Kullanma alanı	Özgül devir sayısı
Radyal çark (Düşük hızlı)		Düşük devir sayısı Küçük debi Büyük basma yüksekliği	$n_q \cong 11 \dots 38$ $(n_s \cong 40 \dots 140)$
Francis-çark (orta hızlı)		Orta devir sayısı Orta debi Orta basma yüksekliği	$n_q \cong 38 \dots 82$ $(n_s \cong 140 \dots 300)$
Diyagonal Çark* (Yüksek hızlı)		Yüksek devir sayısı Büyük debi Küçük basma yüksekliği	$n_q \cong 82 \dots 164$ $(n_s \cong 300 \dots 600)$
Eksenel çark** (Çok yüksek hızlı)		Çok yüksek devir sayısı Çok büyük debi Çok küçük basma yüksekliği	$n_q \cong 100 \dots 500$ $(n_s \cong 365 \dots 1800)$

Cetvel 3.1-Çeşitli çarkların,ölgül hızları ve kullanım alanları [L.5].

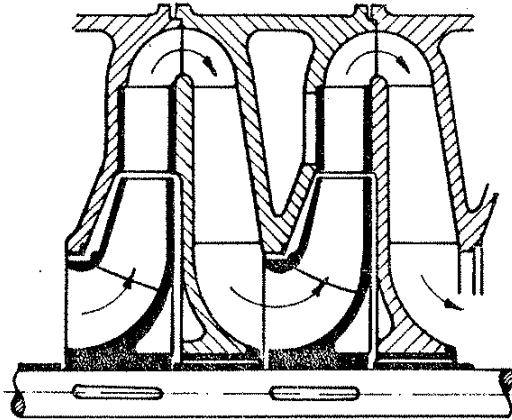
* Vida şeklinde

** Pervane şeklinde

Hesaplanan ölgül hız değeri ($=78,54 \text{ d/dak}$),Cetvel 3.2 de verilen sınır ölgül hız değerinden ($=80 \text{ d/dak}$) küçük çıkmışsa pompanın kademeli yapılması uygun olur (Şekil 3.2).

Pompa devir sayısı n [d/dak]	Sınır ölgül hız n_s [d/dak]
1500	33
3000	80

Cetvel 3.2-Sınır ölgül hız değerleri [L.2].



Şekil 3.2-Kademeli pompa şeması

i , Kademe sayısı olmak üzere kademeli pompada ; her bir kademe $H_{m1} = H_m/i$ kadar manometrik yükseklik sağlar ve çark başına özgül hız,

$$n_{S1} = n_S \cdot (i)^{3/4} \quad (3/4)$$

$(i)^{3/4}$ kadar büyütülmüş olur.

Kaya BAYSAL hocam'a göre [L.2], "Pompanın kademeli yapılmasına karar verilirse ;kademe sayısı ,zorunlu kalınmadıkça 3 ten az alınmamalıdır. Çünkü 2 kademeli pompada 1.nci çarkın giriş şartları, 2.nci çarkın ise çıkış şartları iyi olmaz ve bu çarklar birbirini kötü yönde etkiler. Aradaki bir üçüncü çark ise,söz konusu kötü şartları iyileştirici yönde etkiler"

Biz de bu tavsiyeye uyduk.

2.nci kademe için çark başına özgül hız;

$$n_{S1} = 3,65 \cdot 2935 \cdot \frac{(0,090)^{1/2}}{(141/2)^{3/4}} \cong 133d / dak.$$

3 kademe için çark başına özgül hız :

$$n_{S1} = n_S \cdot (i)^{3/4} = 78,54(3)^{3/4} = 179 d / dak.$$

4 kademe için çark başına özgül hız :

$$n_{S1} = n_S \cdot (i)^{3/4} = 78,54(4)^{3/4} = 222,15 d / dak.$$

özgül hız değerleri, şekil 3.3 deki diyagram yardımıyla da bulunabilir.

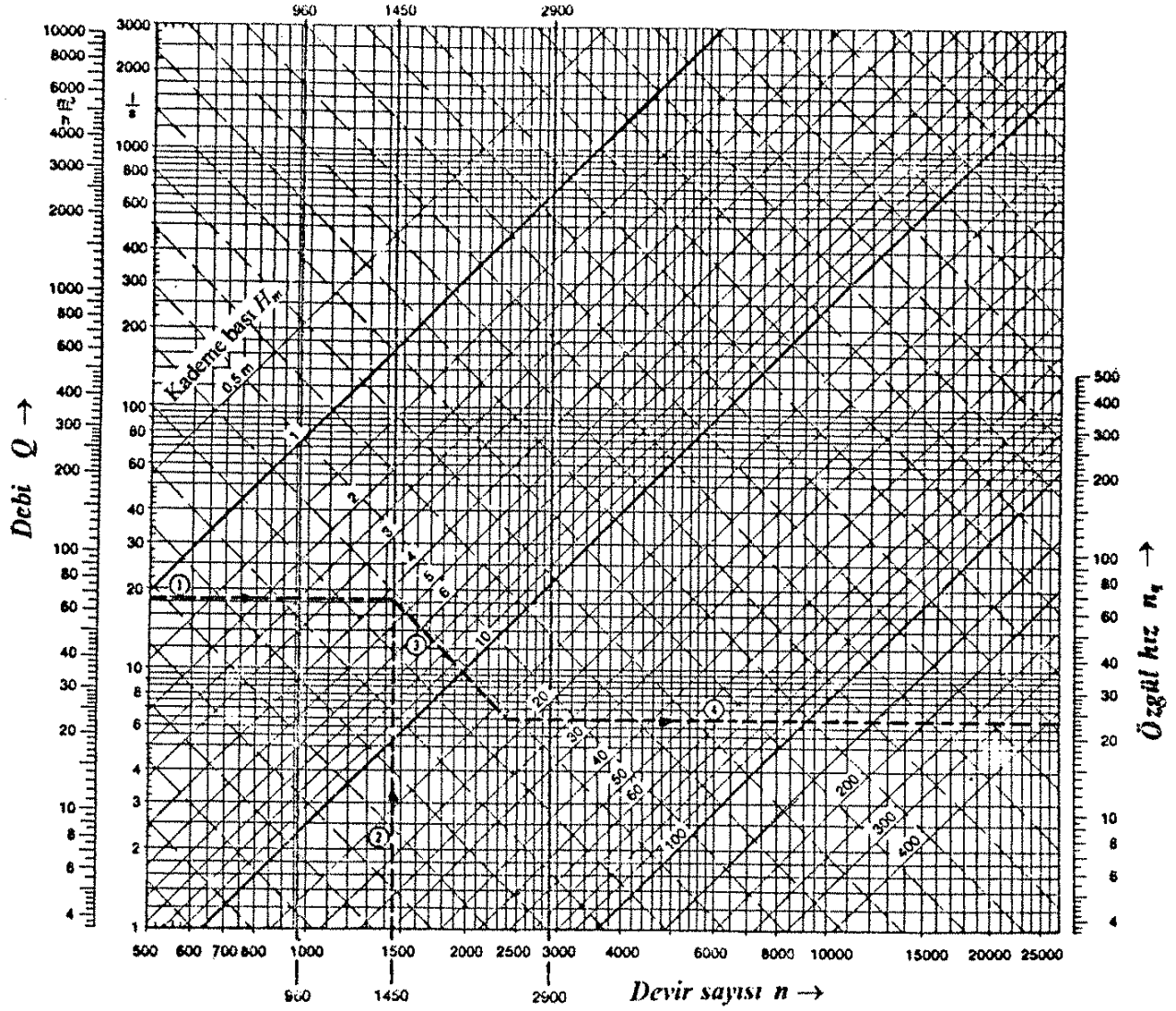
Şimdi pompanın kavitasyonsuz çalışabilmesi için şekil 3.4 te verilen emme derinliğine göre müsaade edilebilecek n_S özgül hızını bulalım.

Pompanın kavitasyonsuz çalışabilmesi için ;

$$\sigma_{mevcut} > \sigma_{kritik} \quad (3/5)$$

olmalıdır.

$$\sigma_{mevcut} - \text{Tesisata ait mevcut THOMA kavıtasyon faktörü}$$



Şekil 3.3- n_s özgül hız diyagramı [L.4].

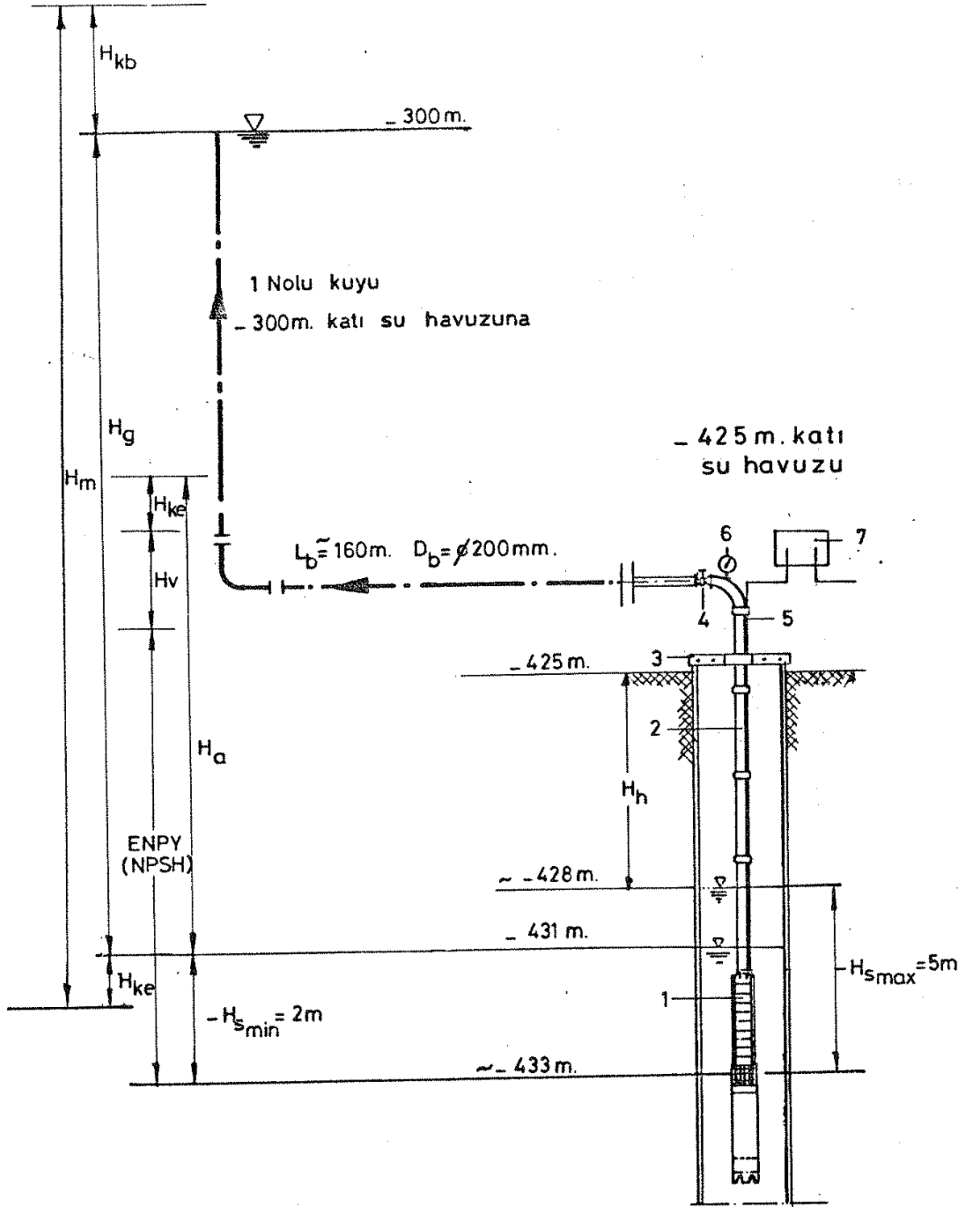
Örnek:

$$Q = 66 \text{ m}^3/\text{saat} = 18,3 \text{ lt/sn}$$

$$n = 1450 \text{ d/dak}$$

$$H_{m1} = 17,5 \text{ m.}$$

$$n_q = 23 \text{ d/dak bulunur.}$$



Şekil 3.4 - Pompa tesisatında ENPY (Emmedeki Net Pozitif Yük) değerinin belirlenmesi.

$$\sigma_{mevcut} = \frac{H_a - H_S - H_V - H_{ke}}{H_M} \quad (3/6)$$

H_a - Pompanın bulunduğu kottaki atmosfer basıncı (*Mutlak atmosferik basınç*)

Hava basıncının yükselti ile değişimi (*izoterm halde*) bulunmak istenirse $T=T_0=273 \text{ }^\circ\text{K}$ (*sıcaklık yükseklikle değişmiyor*) için ,

$P_0=10330 \text{ kg/m}^2$ (*Deniz seviyesindeki hava basıncı*) ve $\gamma_0=1,293 \text{ kg/m}^3$ (*Havanın normal şartlardaki yoğunluğu*) değerleri,

$$P = P_0 \cdot e^{-\frac{\gamma_0}{P_0} \cdot Z} \quad \text{de yerine konursa} \quad (3/7)$$

$$\frac{\gamma_0}{P_0} \cong \frac{1}{8000} \quad \text{olduğundan}$$

$$\underline{\underline{P = P_0 \cdot e^{-\frac{z}{8000}}}} \quad \text{bulunur [L.19]} \quad \begin{array}{c|c|c} P & P_0 & z \\ \hline \text{m.S.S} & \text{m.S.S} & \text{m} \end{array} \quad (3/8)$$

$$P = 10,33 \cdot e^{-\frac{(-431)}{8000}}$$

$$\underline{\underline{H_a = P = 10,9 \text{ m.S.S}}}$$

H_S - Pompanın emme derinliği

$$\left. \begin{array}{l} \underline{\underline{H_{S\min} = -2 \text{ m}}} \\ \underline{\underline{H_{S\max} = -5 \text{ m}}} \end{array} \right\} . \text{ Pompa karşı basınç lı (Başka bir deyişle negatif emme yüksekliğinde)}$$

H_v - Suyun o sıcaklıktaki buharlaşma basıncı (Cetvel 3.3)

Sıcaklık t [°C]	Suyun buharlaşma basıncı H_v [m.S.S]
0	0,062
5	0,089
10	0,125
12	0,143
14	0,163
15	0,174
18	0,210
20	0,238
22	0,269
25	0,323
30	0,433

Cetvel 3.3 - Suyun buharlaşma basıncının sıcaklıkla değişimi

Su sıcaklığı 20°C alınır ;

$$\underline{H_v = 0,238 \text{ m.S.S}} \quad (\text{Cetvel 3.3})$$

H_{ke} - Emmedeki toplam kayıplar

$$\underline{H_{ke} = 2,51 \text{ m.S.S}} \quad (\text{Hesaplandı}).$$

σ_{kritik} - Pompaya ait kritik THOMA kavitasyon faktörü

σ_{kr} (Kritik THOMA faktörü) pompanın yapısal özelliklerine bağlı olmakla beraber şekil 3.5 de verilen diyagramda görüldüğü gibi n_s özgül hızına büyük ölçüde bağlıdır. n_s 'e bağlı olarak elde edilen σ_{kr} değerine 1,05 veya 1,1 katsayısı ile çarparak büyütmede fayda vardır. Kavitasyon emniyeti bakımından,

$$\sigma_{mev} = 1,1 \cdot \sigma_{kr} \quad (3/9)$$

olmalıdır. Bu durumda σ_{kr} değeri,

$$1,1 \cdot H_m \cdot \sigma_{kr} = H_\alpha - H_S - H_v - H_{ke} \quad (3/10)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir.

Ayrıca, deneysel sonuçlara da dayanarak araştırmacılar;

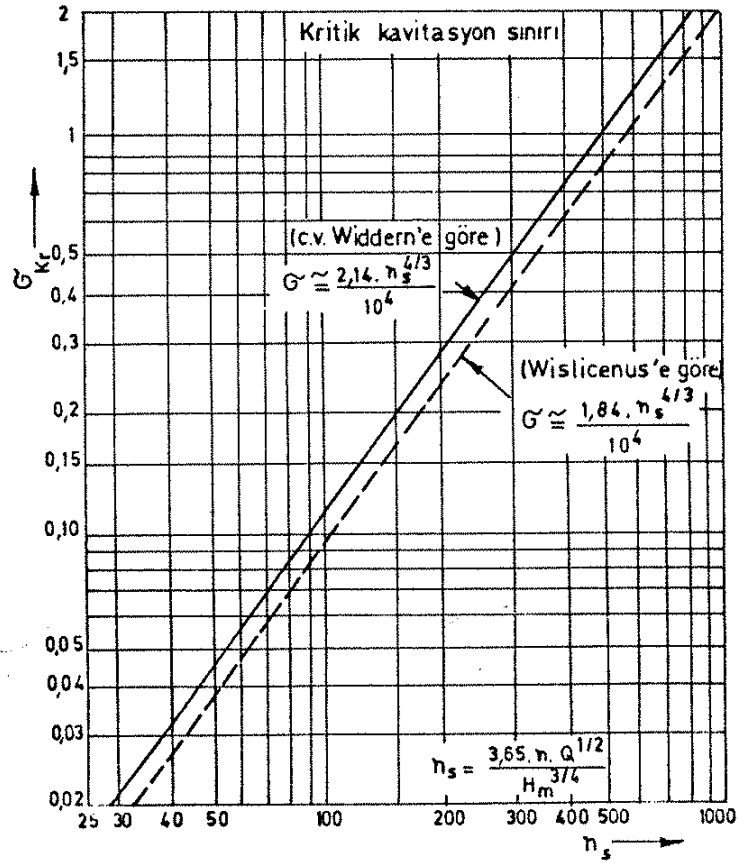
- C.V. Widdern,

$$\sigma_{kr} \cong \frac{2,14 \cdot n_s^{4/3}}{10^4} \quad (3/11)$$

- Wislicenus,

$$\sigma_{kr} \cong \frac{1,84 \cdot n_s^{4/3}}{10^4} \quad (3/12)$$

yukarıdaki formülleri kritik kavitasyon faktörü olarak önermektedirler.



Şekil 3.5 - Santrifüj pompalarda kavitasyon faktörünün özgül hız ile değişimi [L.2].

σ_{kr} değerini (3/10) eşitliğine göre hesaplayalım.

- 3 kademeli pompa için :

$$1,1 \cdot \left(\frac{141}{3} \right) \cdot \sigma_{kr} = 10,9 + 2 - 0,238 - 2,51$$

$$\underline{\underline{\sigma_{kr} = 0,196}}$$

- 4 Kademeli pompa için :

$$1,1 \cdot \left(\frac{141}{4} \right) \cdot \sigma_{kr} = 10,9 + 2 - 0,238 - 2,51$$

$$\underline{\underline{\sigma_{kr} = 0,262}}$$

bulunur.

Wislicenus formülüne (Eşitlik3/12) göre n_s değerleri;

- 3 Kademe için, çark başına müsaade edilen (*sınır*) özgül hız:

$$\sigma_{kr} = 0,196 = \frac{1,84 \cdot n_{s1}^{3/4}}{10^4}$$

$$\underline{\underline{n_{s1} = 186,45 \text{ } d / d}} \quad (> 179 \text{ } d / d)$$

- 4 Kademe için, çark başına müsaade edilen (*sınır*) özgül hız:

$$\sigma_{kr} = 0,262 = \frac{1,84 \cdot n_{s1}^{3/4}}{10^4}$$

$$\underline{\underline{n_{s1} = 231,8 \text{ } d / d}} \quad (> 222,15 \text{ } d / d)$$

Yine, Kaya BAYSAL hocama göre [L.2] ;

- Biraz pahalı bir çözüm olmakla beraber, kanatlar arasındaki kanal yeteri kadar geniş olmak şartı ile, kanadın kaldırma yüzeyini artırmak ve giriş koşullarını düzeltmek amacıyla kanatların dönük (sapık) yapılması uygun olur. Bu tip

kanatta,kanadın giriş kenarı boyunca giriş açıları değişeceğinden kanatlar bükülür (*Francis tipi kanat*).

- Tam santrifüj olmakla beraber,yüksek özgül hızlı ($n_s=150 \dots 200 \text{ d/dak}$) pompalarda,kanatların dönük yapılması zorunluluğu vardır. Bu tavsiyeye de uyduk. Şu halde ;"Projelendirilecek pompada Francis tipi çarklar (*Francis çarkları*) kullanılacak (*Cetvel 3.1,Şekil 3.1*),pompa kademe sayısı 4 seçilerek,Francis-çark boyutları kademe başına özgül hız $n_s=222,15 \text{ d/dak}$ değerine göre saptanacaktır".

Not:Emmedeki Net pozitif yükün (ENPY) bulunması :

Pompaların,kavitasyon olayına karşı duyarlılığı incelenirken, emmedeki net pozitif yük (ENPY) karakteristik büyüklüğünün ele alınması gereklidir. Verilmiş bir pompa ve tesisatı için mevcut ve geçerli ENPY değeri,

$$(ENPY)_{mevcut} = H_a - H_{S_{max}} - H_V - H_{ke} \quad (3/13)$$

bağıntısından bulunabilir. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi,pompa tesisatı için geçerli THOMA faktörü biliniyorsa,mevcut olan emmedeki net pozitif yük,

$$(ENPY)_{mevcut} = \sigma_p \cdot H_m \quad (3/14)$$

şeklinde belirlenebilir.

Kavitasyon olayının zararlı etkilerinden kaçınmak için,tesisata ait σ_p faktörünün,pompaya ait σ_{kr} (*kritik Thoma faktörü*) değerinden büyük olması gereklidir. Bir başka deyişle,

$$(ENPY)_{pompa} = \sigma_{kr} \cdot H_m \quad (3/15)$$

olarak tanımlanırsa,

$$(ENPY)_{mevcut} > (ENPY)_{pompa} \quad (3/16)$$

olmalıdır. $(ENPY)_{pompa}$ değerine,emmedeki gerekli net pozitif yük denir.

Emmedeki net pozitif yükün en az ne kadar olması gerektiği ise;

- Pozitif emme yüksekliğinde :

$$(ENPY)_{mevcut} = H_a - H_{S_{max}} - H_V - H_{ke} \quad (\text{Eşitlik 3/13})$$

- Negatif emme yüksekliğinde (*Pompa karşı basınçlı, Şekil 3.4*):

$$(ENPY)_{mevcut} = H_a + H_{S\min} - H_V - H_{ke} \quad (3/17)$$

bağıntılarından bulunabilir.

$n_s=222,15$ d/dak değerine göre kavitasyon kontrolünü yapalım.

$$(ENPY)_{mevcut} = H_a + H_{S\min} - H_V - H_{ke} \quad (\text{Eşitlik 3 / 17})$$

$$(ENPY)_{mevcut} = 10,9 + 2 - 0,238 - 2,51$$

$$\underline{\underline{(ENPY)_{mevcut} = 10,152 \text{ m.S.S}}}$$

$$(ENPY)_{pompa} = \sigma_{kr} \cdot H_{ml} \quad (\text{Eşitlik 3 / 15})$$

$$(ENPY)_{pompa} = \frac{1,84 \cdot n_s^{4/3}}{10^4} \cdot H_{ml} = \frac{1,84 \cdot (222,15)^{4/3}}{10^4} \cdot \frac{141}{4}$$

$$\underline{\underline{(ENPY)_{pompa} = 8,73 \text{ m.S.S}}}$$

$$(ENPY)_{mevcut} > (ENPY)_{pompa}$$

dolayısıyla, pompa kavitasyonsuz çalışır.

Pompanın kavitasyonsuz çalışabileceği minimum emme derinliği de hesaplanabilir.

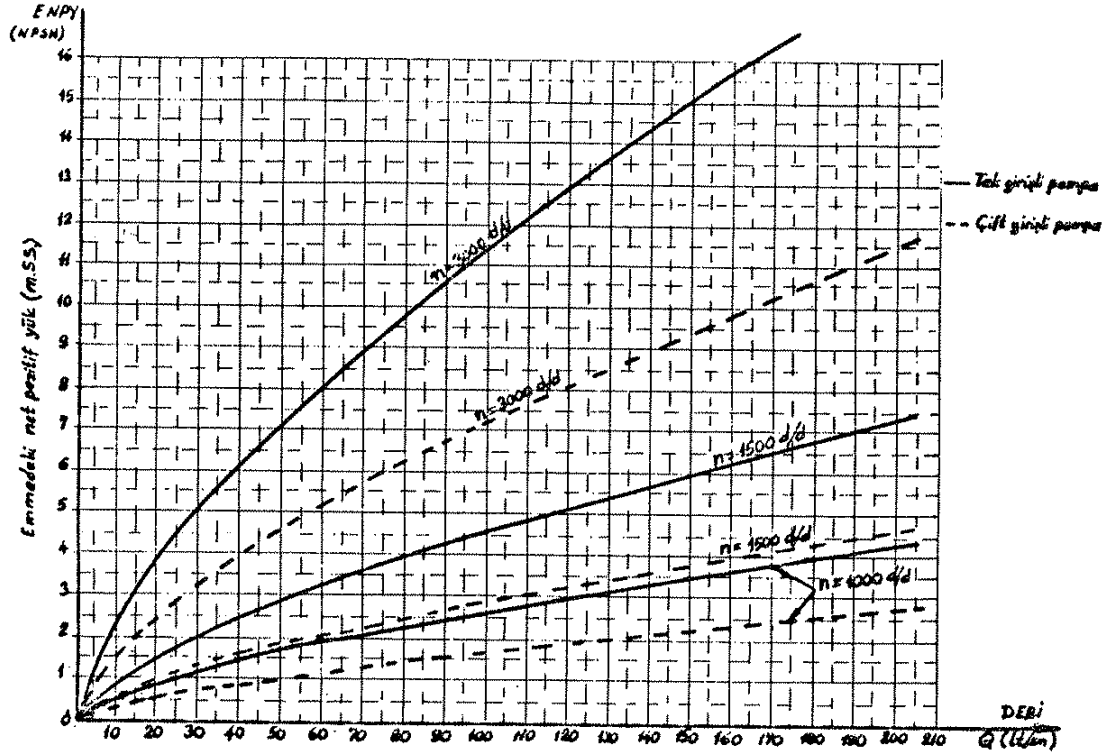
$$1,1 \cdot \sigma_{kr} \cdot H_{ml} = H_a + H_{S\min} - H_V - H_{ke} \quad (\text{Pompa karşı basınçlı})$$

$$1,1 \cdot 8,73 = 10,9 + H_{S\min} - 0,238 - 2,51$$

$$\underline{\underline{H_{S\min} = 1,45 \text{ m.S.S}}}$$

DeneySEL sonuçlara dayanarak ampirik formüller yardımıyla emmedeki net pozitif yük (*ENPY*) değerleri, devir sayısı ve debiye bağılı olarak eğriler halinde

DeneySEL sonuçlara dayanarak ampirik formüller yardımıyla emmedeki net pozitif yük (ENPY) değerleri,devir sayısı ve debiye bağlı olarak eğriler halinde gösterilebilir (Şekil 3.6).Bu eğriler yardımıyla,devir sayısı belli bir pompanın bağlı bulunduğu tesisat ve çalışma koşulları belirlenerek,emmedeki net pozitif yükün en az ne kadar olması gerektiği ve dolayısıyla emebileceği maksimum (veya minimum) emme derinliği $H_{s,max}$ (veya $H_{s,min}$) saptanabilir.



Şekil 3.6-ENPY değerlerinin debi ve devir sayısına göre değişimi [L.2].

(ENPY)_{mevcut} hesabı için; basılan sıvı su ise,pratikte aşağıdaki basite indirgenmiş yaklaşık formüller kullanılabilir.

- Emme yüksekliği olan çalışma durumunda (Pompa sıvı seviyesinin üzerinde);

$$(ENPY)_{mevcut} \cong 10 - H_{s,max} - H_{ke} \quad (3/18)$$

- Emme de basınç olan çalışma durumunda (Pompa sıvı seviyesinin altında);

$$(ENPY)_{mevcut} \cong 10 + H_{s,min} - H_{ke} \quad (3/19)$$

Pompanın miline uygulanması gereken güce, pompanın efektif (*etkin*) gücü, ya da mil gücü denir. Bu güç,

$$N_e = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_g} \quad \frac{N_e}{\text{B.G}} \quad \left| \begin{array}{c} \gamma \\ \text{kg/m}^3 \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{c} Q \\ \text{m}^3/\text{sn} \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{c} H_m \\ \text{m.S.S} \end{array} \right| \quad (3/20)$$

bağıntısından hesaplanır.

γ — Basılan sıvının özgül ağırlığı (*Su için: $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$*)
 η_g — Genel (*toplam*) verim

Pompa genel (*toplam*) verimi; Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 den ,debi ile özgül hıza bağlı olarak seçilebilir veya aşağıdaki eşitlikten bulunabilir.

$$\eta_g = \eta_k \cdot \eta_h \cdot \eta_m \quad (3/21)$$

$$\eta_g \cong 0,4 \dots 0,9 \quad (3/22)$$

η_k — **Kaçak verim** (*Hacimsal verim*)

Eksen etrafında dönen çark ile pompanın sabit duran gövdesi arasındaki boşluklardan, çark üzerindeki dengeleme deliklerinden, varsa dengeleme diskinden, salmastralardan, hidrolik contalardan kaçan, böylece çarkın içindeki enerji alışverişine katılmayan sıvının (*akışkanın*) toplam debisi q (*kaçak debisi*) ve pompanın debisi Q olmak üzere kaçak verim,

$$\eta_k = 1 - \frac{q}{Q} \quad (3/23)$$

şeklinde tarif edilir.

$$\eta_k \cong 0,88 \dots 0,98 \quad (3/24)$$

η_h — **Hidrolik** (*manometrik*) verim

Pompanın içinde akan akışkanın, sürekli yük kaybı, lokal (*yemel*) kayıp, çarpma kaybı gibi, akışla ilgili toplam enerji kayıplarını gözönüne almak amacıyla hidrolik verim tanımı yapılır.

$$\eta_h \cong 0,7 \dots 0,95 \quad (3/25)$$

$$\eta_h \approx 0,7 \dots 0,95$$

(3/25)

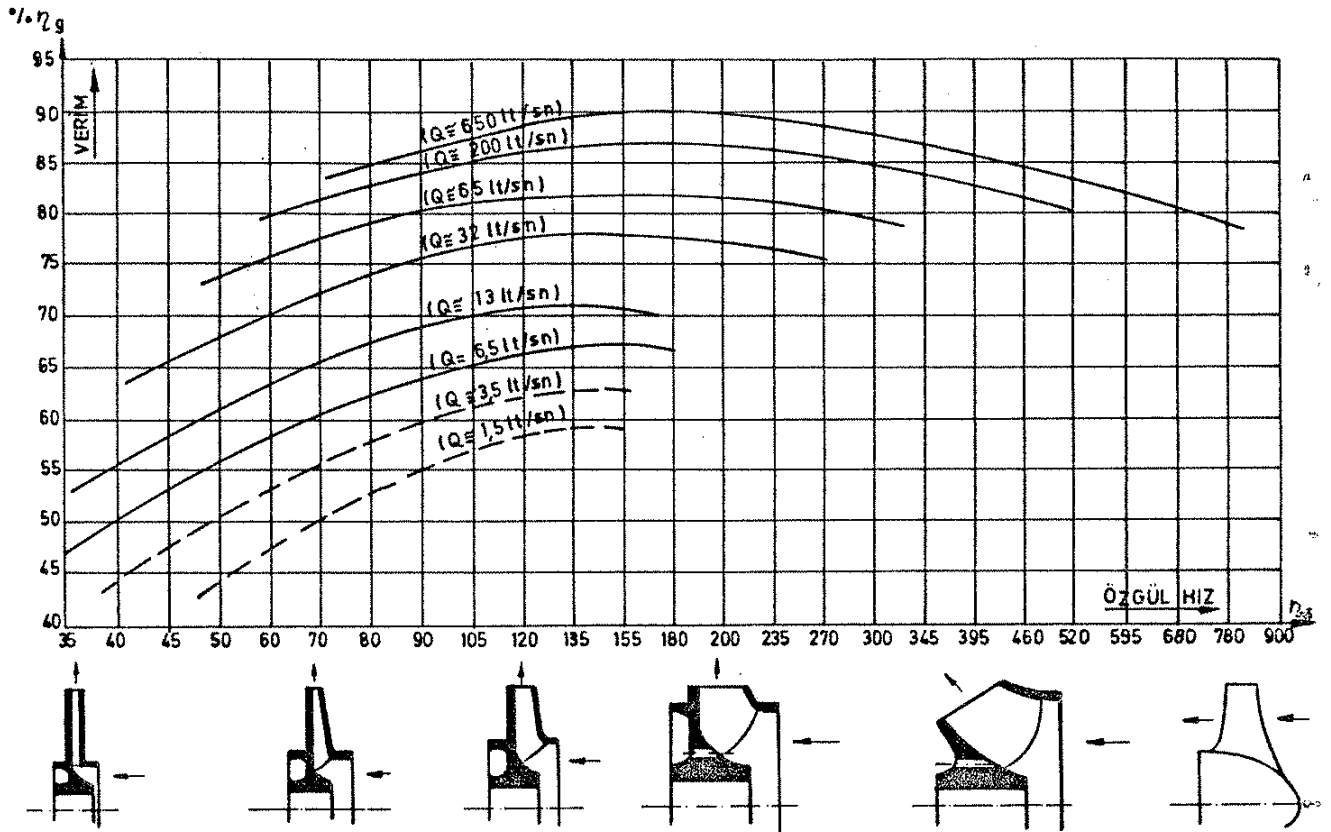
Ayrıca, A.J. Stepanoff yaptığı deneylerle n_s ile η_h arasında, aşağıdaki tabloda verilen değerleri saptamıştır (cetvel 3.4).

n_s [d/d]	36	57	114	174	231	288	348	400
% η_h	75	86	92	93	94	95	95,5	96

Cetvel 3.4- η_h hidrolik verim değerlerinin n_s ile değişimi [L.11].

η_m — Mekanik verim

Pompanın yataklarında, salmastra kutusunda, çark diskinin dış yüzeylerinde, dengeleme diskinde, kısaca akım kanallarındaki dışında sürtünme yoluyla kaybolan enerji miktarının göz önüne almak için mekanik verim tanımı yapılır.



Şekil 3.7-Pompa genel veriminin özgül hız ve debiye göre değişim eğrileri [L.2].

- İmalatına ve işçiliğine daha çok dikkat edilmiş olan ve genellikle çarkı bronzdan yapılmış pompalar için verilmiştir.
- Ekonomik nedenlerle daha ucuz ve basit olan, genellikle çarkı da dökme demirden yapılmış pompalar için kullanılmalıdır.

Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 deki diyagramlardan faydalanarak genel verim;

$$\left. \begin{array}{l} n_s = 222,15 \text{ d / d} \\ Q = 90 \text{ lit / san} \end{array} \right\} \underline{\underline{\eta_g = 0,82}}$$

veya,

$$\left. \begin{array}{l} n_s = 222,15 \text{ d / d} \\ \eta_{normal} \text{ eğrisi} \end{array} \right\} \underline{\underline{\eta_{normal} = 0,82}}$$

bulunur.

Diyagramdan bulunan bu değerleri %5 oranında azaltarak (*genellikle emniyet payı olarak*) güç hesabı yapmakta fayda vardır. Şu halde genel (*toplam*) verim ;

$$\begin{aligned} \eta_g &= 0,82 - 0,05 \cdot 0,82 \\ \underline{\underline{\eta_g}} &= 0,78 \end{aligned}$$

olur.

Pompa mil gücü ,

$$N_e = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{75 \cdot \eta_g} \quad (\text{Eşitlik 3 / 20})$$

$$N_e = \frac{1000 \cdot 0,09 \cdot 141}{75 \cdot 0,78}$$

$$\underline{\underline{N_e = 217 \text{ B.G.}}}$$

3.3 - Pompayı Çeviren (Tahrik Eden) Motorun Gücü :

Motor gücü, pompanın hesaplanan mil gücü değeri bir α emniyet katsayısı ile çarpılarak bulunur. Emniyet katsayısı , mil gücü büyüklüğüne bağlı olarak Cetvel 3.5 ten seçilebilir.

Ne < 5 B.G	$\alpha = 1,1 \dots 1,3$
5 < Ne < 25 B.G	$\alpha = 1,1 \dots 1,2$
Ne > 25 B.G	$\alpha = 1,05 \dots 1,1$

Cetvel 3.5- Motor gücü için, emniyet katsayısı α değerleri [L.2]

$$N_m = \alpha \cdot N_e \quad (3/27)$$

Emniyet katsayısı $\alpha=1,1$ (Cetvel 3.5) alınarak, elektrik motorunun gücü ,

$$N_m = 1,1 \cdot 217 \cong 239 \text{ B.G} \cong 176 \text{ kW}$$

$$N_m = 185 \text{ kW}$$

seçilmiştir. (Güç seçiminde herhangi bir standarda bakılmamıştır çünkü, motor ıslak rotorlu özel imalattır).

3.4 - Pompa Mil Çapının Hesabı :

Mil çapı d_m , aşağıdaki bağıntı ile elde edilir :

$$d_m = C \cdot \sqrt[3]{\frac{N_e}{n}} \quad \begin{array}{c|c|c} d_m & N_e & n \\ \text{cm.} & \text{B.G} & \text{d/dak.} \end{array} \quad (3/28)$$

C-seçilen mil malzemesinin, burulma emniyet gerilmesine (τ_{em}) karşılık gelen katsayı (Cetvel 3.6).

τ_{em} [daN/cm ²]	100	120	150	210	300	400	500
C							
P [kW]	16,9	16,0	14,8	13,2	11,8	10,7	9,9
P [B.G]	15,3	14,4	13,4	12,0	10,6	9,7	9,0

Cetvel 3.6 - C katsayısı [L.3].

Seçilen mil malzemesi ;

$$\dagger \underline{\underline{\zeta 4140 (42 C_r M_o4)}}$$

$$\sigma_K = 95 \dots 110 \text{ daN/mm}^2$$

σ_K - Kopma mukavemeti

† Şekil 3.8 - L. Walter'e göre, çark büyüklüklerinin n_s ile değişimi ve tespiti [L.5].

C_{i2} — Çıkış teğetsel hız bileşeni

σ_1 — Girişte kanat daralması ($\sigma_1 = S_1 / \sin \beta_1$)

σ_2 — Çıkışta kanat daralması ($\sigma_2 = S_2 / \sin \beta_2$)

S_1 — Çark girişinde kanat kalınlığı

S_2 — Çark çıkışında kanat kalınlığı

β_1 — Kanat giriş açısı

β_2 — Kanat çıkış açısı

H_o — Sıfır basma yüksekliği (Nominal devir sayısı ve sıfır debideki basma yüksekliği)

Burulma emniyet gerilmesi τ_{em} için maksimum değer, mil malzemesine bağlı olarak seçilir :

$$\sigma_K > 50 \text{ daN/mm}^2 \text{ olan \u00e7eliklerde : } \tau_{em} = 600 \dots 1000 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_K < 50 \text{ daN/mm}^2 \text{ olan \u00e7eliklerde : } \tau_{em} = 400 \dots 800 \text{ daN/cm}^2$$

$\tau_{em} = 300 \text{ daN/cm}^2$ (\u00c7ok d\u00fc\u015fik de\u011fer) alınırsa, $C=10,6$ (Cetvel 3.6) katsayısı ile;

$$d_m = C \cdot \sqrt[3]{\frac{Ne}{n}} \quad (\text{E\u015fitlik 3 / 28})$$

$$d_m = 10,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{217}{2935}} = 4,44 \text{ cm}$$

$$\underline{\underline{d_m = \phi 45 \text{ mm}}}$$

alınabilir.

G\u00f6bek \u00e7apı :

Mil \u00e7apı hesaplandıktan sonra, \u00f6n g\u00f6be\u011fin yeteri kadar k\u00fc\u00e7\u00fck yapılması ve suyun giri\u015f alanını kapatmaması gere\u011fi d\u00fc\u015f\u00fcnmelidir. B\u00f6ylece d\u00f6ner \u00e7arka giren suyun yeterinden fazla kısılmaması sa\u011flanır. Genellikle \u00f6n g\u00f6bek \u00e7apı a\u015fa\u011fıdaki form\u00fclle saptanır.

$$d_{g\u00f6n} = (1,3 \dots 1,4) \cdot d_m \quad (3/29)$$

$$d_{g\u00f6n} = (1,3 \dots 1,4) \cdot 45 = 58 \dots 63 \text{ mm}$$

$$d_{g\u00f6n} = \phi 58 \text{ mm}$$

Arka g\u00f6bek ise biraz daha kalın yapılarak, a\u00e7ılacak kama yuvası ile zayıflayan kısım daha mukavemetli olarak bırakılır. Arka g\u00f6bek \u00e7apı a\u015fa\u011fıdaki yakla\u015fik form\u00fclle tespit edilir.

$$d_{garka} = (1,35 \dots 1,50) \cdot d_m \quad (3/30)$$

$$d_{garka} = (1,35 \dots 1,50) \cdot 45 = 60 \dots 67 \text{ mm}$$

$$d_{garka} = \phi 60 \text{ mm}$$

Prof. Dr. Aziz ERGİN hocama göre [L.14]; göbek çapının mümkün olduğunca küçük seçmek faydalıdır.

$$d_g = d_m + (2 \dots 6) \text{ mm} \quad (3/31)$$

şeklinde bir değer düşünülebilir.

$$d_g = 45 + (2 \dots 6) \text{ mm}$$

$$d_g = \phi 47 \dots \phi 51 \text{ mm}$$

Göbek çapları ;

$$\underline{\underline{d_{gön} = \phi 55 \text{ mm}}}$$

$$\underline{\underline{d_{arka} = \phi 58 \text{ mm}}}$$

olarak seçildi.

4 - ÇARKIN BOYUTLANDIRILMASI

4.1. Çark çıkış çapı D_2 :

- Pumpen'e göre [L.5].

Çark çıkış çapı D_2 , yaklaşık olarak

$$D_2 = \frac{0,123 \cdot n_s + K}{n} \sqrt{H_m} \cdot 10^3 \quad \begin{array}{c|c|c} D_2 & n_s & n \\ \text{mm} & \text{d/dak} & \text{d/dak} \end{array} \quad (4/1)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanır.

K - Pompa tipi faktörü (Cetvel 4.1)

Pompa tipi	n_q [d/dak]	n_s [d/dak]	K
Salyangozlu	14 ... 110	50 ... 400	74
Difüzörlü	14 ... 41	50 ... 150	71
Yarı eksenel	41 ... 165	150 ... 600	75
Eksenel	165 ... 550	600 ... 2000	80 ... 100

Cetvel 4.1- Çarkın, yaklaşık olarak hesabı için gerekli olan K - faktörü değerleri [L.5].

K = 71 alınarak,

$$D_2 = \frac{0,123 \cdot 222,15 + 71}{2935} \cdot \sqrt{\frac{141}{4}} \cdot 10^3$$

$$\underline{\underline{D_2 \cong \phi 199 \text{ mm}}}$$

bulunur.

• **ψ Basınç katsayısı tanımına göre;**

U_2 çıkış çevresel hızın (*teğetsel hız veya sürüklenme hızı*) saptanmasında ψ basınç katsayısı tanımı kullanılır.

$$\psi = 2 \cdot g \cdot \frac{H_m}{U_2^2} \quad \begin{array}{c|c|c} g & H_m & U_2 \\ \hline =9,81 \text{ m/sn}^2 & \text{m.S.S} & \text{m/sn} \end{array} \quad (4/2)$$

• ψ basınç katsayısı pompanın özgül hızı ile değişir (*Şekil 3.8*). Ayrıca, her n_s değeri için tavsiye edilen ψ değerlerinin alt ve üst sınırları *şekil 4.1* de gösterilmiştir. Prof. Dr. Hasan Fehmi Yazıcı hocama göre [L.12] ; Yeterince deneyimi olmayanların alt sınıra yakın değerler seçmeleri daha uygun olur.

Özgül hız bilindiğine göre *şekil 3.8* veya *şekil 4.1* deki grafikler yardımıyla ψ ve dolayısıyla istenilen H_m manometrik yüksekliğin sağlanabilmesi için gerekli U_2 teğetsel hızı bulunur.

U_2 bulunduktan sonra,

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} \quad \begin{array}{c|c|c} U_2 & D_2 & n \\ \hline \text{m/sn} & \text{m} & \text{d/dak} \end{array} \quad (4/3)$$

bağıntısı ile D_2 çapı hesaplanır.

$$\left. \begin{array}{l} n_s = 222,15 \text{ d / dak.} \\ \psi \text{ eğrisi} \end{array} \right\} \underline{\underline{\psi = 0,81}} \quad (\text{Şekil 3.8})$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{2gH_m}{\psi}} \quad (\text{Eşitlik 4 / 2})$$

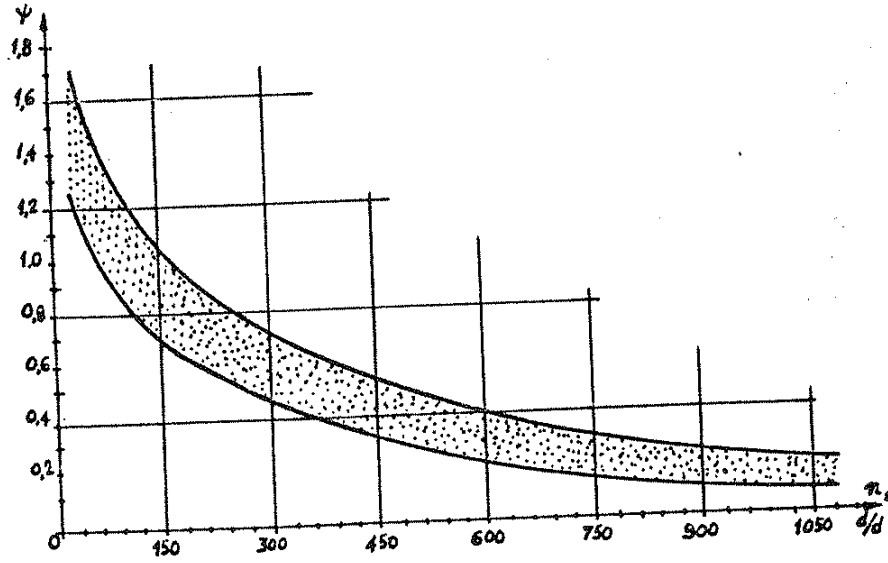
$$U_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot \frac{141}{4}}{0,81}}$$

$$\underline{\underline{U_2 = 29,22 \text{ m / sn}}}$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot n} \quad (\text{Eşitlik 4 / 3})$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 29,22}{\pi \cdot 2935} = 0,190 \text{ m.}$$

$$\underline{\underline{D_2 = \phi 190 \text{ mm.}}}$$



Şekil 4.1- ψ basınç katsayısının n_s özgül hızı göre değişimi [L.12].

$$n_s = 222,15 \text{ d / dak için, } \left. \begin{array}{l} \psi_{üst\ sınır} = 0,85 \\ \psi_{alt\ sınır} \cong 0,60 \end{array} \right\} \underline{\underline{\psi = 0,78}} \quad (\text{Şekil 4.1})$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot \frac{141}{4}}{0,78}} \cong 29,78 \text{ m / sn.}$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 29,78}{\pi \cdot 2935} \cong 0,194 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{D_2 = \phi 194 \text{ mm}}}$$

- **k_d debi katsayısı tanımına göre;**

Bir pompanın debisi aynı zamanda aşağıdaki,

$$k_d = \frac{Q}{U_2 \cdot D_2^2} \quad \frac{Q}{\text{m}^3/\text{sn.}} \quad \left| \quad \frac{U_2}{\text{m}/\text{sn.}} \quad \right| \quad \frac{D_2}{\text{m}} \quad (4/4)$$

katsayı ile karakterize edilebilir.

Genel verim bakımından en uygun çarklar, k_d debi katsayısı santrifüj çarklar halinde;

$$k_d = 0,05 \dots 0,10 \quad (4/5)$$

arasında olan çarklardır. Şimdi,

$$\sigma_{kr} = \frac{1,84 \cdot n^{4/3}}{10^4} \quad (\text{Eşitlik 3/12})$$

bağıntısını ψ ve k_d katsayısına bağlı olarak yazalım.

$$\sigma_{kr} = \frac{1,84}{10^4} \left[3,65 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_m^{3/4}} \right]^{4/3} = 10,34 \cdot 10^{-4} \cdot n^{4/3} \cdot \frac{Q^{2/3}}{H_m}$$

$$H_m = \frac{\psi \cdot U_2^2}{2 \cdot g} = \frac{\psi \cdot U_2^2}{2 \cdot 9,81} = 5 \cdot 10^{-2} \cdot \psi \cdot U_2^2$$

$$\sigma_{kr} = 10,34 \cdot 10^{-4} \cdot n^{4/3} \cdot \frac{(k_d \cdot U_2 \cdot D_2^2)^{2/3}}{5 \cdot 10^{-2} \cdot \psi \cdot U_2^2} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot n^{4/3} \cdot \frac{k_d^{2/3} \cdot U_2^{2/3} \cdot D_2^{4/3}}{\psi \cdot U_2^2}$$

$$\sigma_{kr} = \frac{k_d^{2/3}}{\psi} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot D_2} \right)^{4/3} \cdot U_2^{2/3} \cdot U_2^{-2} \cdot D_2^{4/3}$$

$$\sigma_{kr} = \frac{k_d^{2/3}}{\psi} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{60}{\pi} \right)^{4/3} \cdot \underbrace{U_2^{2/3} \cdot U_2^{-2} \cdot U_2^{4/3}}_1 \cdot \underbrace{D_2^{4/3} \cdot D_2^{4/3}}_1$$

$$\underline{\underline{\sigma_{kr} = 1,02 \cdot \frac{k_d^{2/3}}{\psi}}} \quad (4/6)$$

bağıntısı bulunur.

$$(ENPY)_{pompa} = \sigma_{kr} \cdot H_m \quad (Eşitlik 3/15)$$

$$(ENPY)_{pompa} = \frac{1,84 \cdot n_s^{3/4}}{10^4} \cdot H_{ml} = 8,73 \text{ m.S.S} \quad (\text{Hesaplandı})$$

$$\sigma_{kr} = \frac{8,73}{141/4}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{kr} = 0,247}}$$

Bu değer (4/6) eşitliğinde yerine konursa,

$$0,247 = 1,02 \cdot \frac{k_d^{2/3}}{\psi}$$

$$\frac{\sqrt[3]{k_d^2}}{\psi} = 0,242 \quad \Rightarrow \quad k_d = (0,242 \cdot \psi)^{3/2} \quad (4/7)$$

elde edilir.

k_d değeri ile, istenilen Q debisinin sağlanabilmesi için gerekli D_2 çapı bulunur. D_2 çapını hesaplayalım, ancak karşımıza:

I• - n_s özgül hızına (=222,15 d/dak) göre,

$$\psi = 0,60 \dots 0,85 \quad (\text{Şekil 4.1})$$

2•- Verimin iyi olması için,

$$k_d = 0,05 \dots 0,10 \quad (\text{Eşitlik 4/5})$$

3•- Pompanın devir sayısı,

$$n = 2935 \text{ d/dak.}$$

gibi üç sınır değeri çıkar.

Hesabı önce, ψ nin 0,85 ve 0,60 sınır değeri için yapalım:

a) $\psi = 0,85$ için;

$$\bullet \quad k_d = (0,242 \cdot \psi)^{3/2} = (0,242 \cdot 0,85)^{3/2} \quad (\text{Eşitlik 4 / 7})$$

$$k_d = 0,09$$

$$\bullet \quad U_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H_m}{\psi}} \quad (\text{Eşitlik 4 / 2})$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (141 / 4)}{0,85}}$$

$$U_2 = 28,525 \text{ m/ sn}$$

$$\bullet \quad D_2 = \sqrt{\frac{Q}{U_2 \cdot k_d}} \quad (\text{Eşitlik 4 / 4})$$

$$D_2 = \sqrt{\frac{0,090}{28,525 \cdot 0,090}} = 0,187$$

$$D_2 = \phi 187 \text{ mm}$$

$$\bullet \quad n = \frac{60 \cdot U_2}{\pi \cdot D_2} \quad (\text{Eşitlik 4 / 3})$$

$$n = \frac{60 \cdot 28,525}{\pi \cdot 0,187}$$

$$n = 2913 \text{ d / dak}$$

b) $\psi = 0,60$ için;

- $k_d = (0,242 \cdot 0,60)^{3/2} = 0,055$
- $U_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (141 / 4)}{0,60}} = 33,95 \text{ m / sn.}$
- $D_2 = \sqrt{\frac{0,090}{33,95 \cdot 0,055}} = 0,219 \text{ m} = \phi 219 \text{ mm}$
- $n = \frac{60 \cdot 33,95}{\pi \cdot 0,219} = 2960 \text{ d / dak.}$

devir sayısına yakın bir değer ($n=2935 \text{ d/dak}$) bulamadık öyleyse, hesaba devam edelim.

c) $\psi_{\text{ort.}} = 0,78$ için;

- $k_d = (0,242 \cdot 0,78)^{3/2} = 0,08$
- $U_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (141 / 4)}{0,78}} = 29,78 \text{ m / sn.}$
- $D_2 = \sqrt{\frac{0,090}{29,78 \cdot 0,08}} = 0,194 \text{ m} = \phi 194 \text{ mm}$
- $n = \frac{60 \cdot 29,78}{\pi \cdot 0,194} = 2932 \text{ d / dak.}$

$n = 2932 \text{ d/dak.}$, nominal devir sayısına ($=2935 \text{ d/dak}$) çok yakın.

D_2 için bulunan değerler :

$$D_2 = \phi 199 \text{ mm} \quad (\text{Pumpen' e göre})$$

$$\left. \begin{array}{l} D_2 = \phi 190 \text{ mm} \\ D_2 = \phi 194 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (\psi \text{ tanımına göre})$$

$$D_2 = \phi 194 \text{ mm} \quad (k_d \text{ tanımına göre})$$

En avantajlı çözüm için, k_d tanımına göre yapılan hesapta karşımıza çıkan sınırlara mümkün olduğu kadar yaklaşan değerleri seçmek uygun olur. Bu değerler de;

İstenilen H_m manometrik yüksekliğin sağlanabilmesi için,

$$\underline{\underline{\psi = 0,78}}$$

İstenilen Q debisinin sağlanabilmesi için,

$$\underline{\underline{k_d = 0,08}}$$

dir.

$\psi = 0,78$ ve $k_d = 0,08$ katsayılarına karşılık gelen D_2 çark çıkış çapı,

$$\underline{\underline{D_2 = \phi 194 \text{ mm}}}$$

ve D_2 çark çapı yardımıyla U_2 çıkış çevresel hızı,

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} \quad (\text{Eşitlik 4 / 3})$$

$$U_2 = \frac{\pi \cdot 0,194 \cdot 2935}{60}$$

$$\underline{\underline{U_2 = 29,81 \text{ m/ sn.}}}$$

bulunur.

4.2 - Çark giriş ağzı çapı D_o :

- Kovats'a göre [L.1] ;

Çark giriş ağzı çapı D_o , radyal çarklar (*Radyal çarklı santrifüj pompalar*) için ,

$$D_o \cong \sqrt{25 \cdot \left(\frac{Q_t}{n}\right)^{2/3} + D_m^2} \quad \frac{D_o}{\text{m}} \mid \frac{Q_t}{\text{m}^3/\text{sn.}} \mid \frac{n}{\text{d/dak.}} \mid \frac{D_m}{\text{m}} \quad (4/8)$$

veya boyutsuz değerlerle,

$$\frac{D_o}{D_2} = 1,86 \cdot K_d^{1/3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_m}{D_o}\right)^2}} \quad (4/9)$$

bağıntıları yardımıyla bulunur.

Q_t — Toplam debi

Q_t , kaçaklar göz önüne alınarak çarkın içinden geçen toplam debiyi tanımlar. η_k kaçak verim değeri seçilerek,

$$Q_t = \frac{Q}{\eta_k} \quad (4/10)$$

bulunabilir.

İlk yaklaşıklıkla toplam debi değeri için,

$$Q_t = (1,05 \dots 1,1) \cdot Q \quad (4/11)$$

alınabilir.

$$\eta_k = 0,88 \dots 0,98 \quad (\text{Eşitlik 3 / 24})$$

$$\underline{\underline{\eta_k = 0,95}} \quad \text{seç ilirse}$$

$$Q_t = \frac{90}{0,95} \cong (1,05) \cdot 90$$

$$\underline{\underline{Q_t = 94,5 \text{ lt / sn.} = 0,0945 \text{ m}^3 / \text{sn.}}}$$

D_m — Göbek çapı (= $d_{gön.}$)

$$D_o = \sqrt{25 \cdot \left(\frac{Q_t}{n}\right)^{2/3} + D_m^2} \quad (\text{Eşitlik 4 / 8})$$

$$D_o = \sqrt{25 \cdot \left(\frac{0,0945}{2935}\right)^{2/3} + (0,055)^2} = \phi 0,168 \text{ m}$$

$$D_o = \phi 168 \text{ mm}$$

veya, boyutsuz karakteristik sayı k_d ile,

$$\frac{D_o}{D_2} = 1,86 \cdot k_d^{1/3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{D_m}{D_o}\right)^2}} \quad (\text{Eşitlik 4 / 9})$$

$$\frac{D_o}{194} = 1,86 \cdot (0,08)^{1/3} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{55}{D_o}\right)^2}}$$

$$D_o = 155,48 \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{55}{D_o}\right)^2}}$$

$$D_o^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{55}{D_o}\right)^2\right] = (155,48)^2 = 24174$$

$$D_o^2 - 55^2 = 24174$$

$$\underline{\underline{D_o = \phi 165 \text{ mm}}}$$

• **Pumpen'e göre [L.5] ;**

Şekil 3.8 deki diyagramdan $n_s = 222,15$ d/dak. ya göre

$$\frac{D_2}{D_e (= D_o)} = 1,41$$

değeri alınırsa D_o .

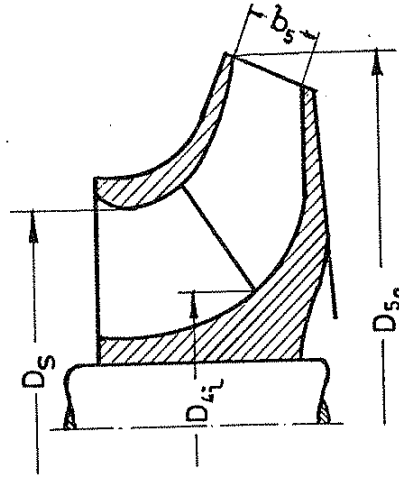
$$D_o = \frac{194}{1,41}$$

$$D_o \cong \phi 138 \text{ mm.}$$

olarak bulunur.

- Dubbel'e göre [L.21].

Santrifüj pompalarda, çarkın (Şekil 4.2) boyutlandırılması ile ilgili bazı konstrüktif boyut oranlarının n_q özgül hıza göre değerleri Cetvel 4.2 de verilmiştir.



Şekil 4.2-Çark radyal kesiti [L.21].

n_q	D_s/D_{5a}	b_s/D_{5a}	D_{4i}/D_{5a}	
10	0,28	0,02	0,20	Radyal çıkışlı kanat
50	0,65	0,11	0,39	
100	0,84	0,18	0,50	Eğik çıkışlı kanat
>150	1,0	0,30-0,20	0,4-0,6	Eksenel pompalar

Cetvel 4.2- Şekil 4.2 de verilen çarka ait geometrik boyut oranlarının, çark başına özgül hız n_q ya göre değerleri [L.21].

n_q özgül hıza ,

$$n_s = 3,65 \cdot n_q \quad (\text{Eşitlik 3 / 3})$$

$$n_q = \frac{222,15}{3,65}$$

$$\underline{\underline{n_q = 60,86 \text{ d / dak.}}}$$

bağlı olarak Cetvel 4.2 den,

$$\frac{D_s (= D_o)}{D_{s,d} (= D_2)} = 0,745$$

alınırsa $D_s (= D_o)$,

$$D_o = 0,745 \cdot 194$$

$$D_o \cong \phi 145 \text{ mm}$$

bulunur.

Hesaplanan D_o çapları : 168 - 165 - 138 - 145 mm.

Şekil 4.2 de verilen çark formuna benzer bir konstrüksiyon düşünüldüğünden, bu form'a uygun düşen D_o çapı,

$$\underline{\underline{D_o = \phi 145 \text{ mm}}}$$

dir.

4.3 - Çark giriş ortalama çapı D_I :

D_{1d} — Kanat giriş dış çapı

D_{1i} — Kanat giriş iç çapı

olmak üzere deneysel sonuçlara dayanarak ve basit olarak şu şekilde saptanabilir :

$$D_{1d} = D_o + (3 \dots 4) \text{ mm} \quad (4/12)$$

alınarak,

$$D_I = \frac{D_{1i} + D_{1d}}{2} \quad (4/13)$$

olduğundan

$$D_{1i} = 2 \cdot D_1 - D_{1d} \quad (4/14)$$

bulunur.

- **Kovats'a göre [L.1] ;**

Büyük özgül hızlı çarklar için kanat giriş kenarlarını eksene paralel yapmak imkanı olmadığı takdirde bunlara göbeğe doğru eğiklik verilir. Bu takdirde kanatların girişinde çeşitli ipçikler için D_1 başka başka değerler alır. D_1/D_2 oranı, küçük özgül hızlar için 0,3 ... 0,5 ve nispeten büyük özgül hızlar için 0,6 ... 0,7 civarındadır.

$$D_1/D_2 = 0,60 \quad \text{için} \quad D_1 = 0,60 \cdot 194 = \phi 116,4 \text{ mm.}$$

$$, \\ D_1/D_2 = 0,65 \quad \text{için} \quad D_1 = 0,65 \cdot 194 = \phi 126,1 \text{ mm.}$$

$$, \\ D_1/D_2 = 0,70 \quad \text{için} \quad D_1 = 0,70 \cdot 194 = \phi 135,8 \text{ mm.}$$

,

- **Dubbel'e göre [L.21] ;**

Cetvel 4.2 den $n_q = 60,86$ d/dak için ,

$$\frac{D_{4i}(= D_{1i})}{D_{5d}(= D_2)} = 0,40$$

değeri alınırsa D_{1i} ,

$$D_{1i} = 0,40 \cdot D_2 = 0,40 \cdot 194$$

$$\underline{\underline{D_{1i} \cong \phi 77 \text{ mm}}}$$

olarak bulunur.

$$D_{1d} = D_o + (3 \dots 4) \text{ mm} \quad (\text{Eşitlik 4 / 12})$$

$$D_{1d} = 145 + 3$$

$$\underline{\underline{D_{1d} = \phi 148 \text{ mm}}}$$

ve

$$D_1 = \frac{D_{1i} + D_{1d}}{2} \quad (\text{Eşitlik 4 / 13})$$

$$D_1 = \frac{77 + 148}{2}$$

$$D_1 = \phi 112,5 \text{ mm}$$

hesaplanır.

$$\text{Seçilen : } \underline{\underline{D_1 = \phi 110 \text{ mm}}}$$

(Konstrüksiyonda zorluk çıkarsa D_1 değeri tekrar kontrol edilecektir).

Dolayısıyla,

$$\underline{\underline{D_{1d} = \phi 148 \text{ mm}}}$$

ve

$$D_{1i} = 2 \cdot D_1 - D_{1d} \quad (\text{Eşitlik 4 / 14})$$

$$D_{1i} = 2 \cdot 110 - 148$$

$$\underline{\underline{D_{1i} = \phi 72 \text{ mm}}}$$

elde edilir.

4.4 - Çark giriş genişliği b_1 :

Kanat sayısı ve kanat giriş kalınlığı henüz belirlenmemiş olduğu için b_1 giriş genişliği önce yaklaşık olarak hesaplanır ve daha sonra daralma (*yer tutma - yer doldurma*) katsayısının gerçek değeri bulunduktan sonra b_1 genişliğinin gerçek değeri bulunur. λ_1 daralma katsayısı ilk yaklaşıklıkla 0,6 ... 0,7 arasında seçilmek suretiyle süreklilik denkleminde,

$$Q_t = \pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot \lambda_1 \cdot c_{m1} \quad (4/15)$$

$$b_1 = \frac{Q_t}{\pi \cdot D_1 \cdot \lambda_1 \cdot c_{m1}} \quad (4/16)$$

Q_t	D_1	b_1	c_{m1}
m ³ /sn	m	m	m/sn

bulunur. ($\pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot \lambda_1$ - Girişte suya geçit veren alandır).

Q_t — Toplam debi (Eşitlik 4/10 ,4/11)
 D_1 — Çark giriş ortalama çapı (Eşitlik 4/13)
 c_m — Giriş meridyen hızı veya meridyen giriş hızı.
₁

$$c_{m1} = (1,05 \dots 1,1) \cdot c_o \quad (4/17)$$

olarak hesaplanabilir.

c_o — Çark giriş ağzındaki hız

$$c_o = \frac{4 \cdot Q_t}{\pi \cdot (D_o^2 - d_g^2)} \quad \frac{c_o}{m/sn} \quad \frac{Q_t}{m^3/sn} \quad \frac{D_o}{m} \quad \frac{d_g}{m} \quad (4/18)$$

veya **Kovats**'a göre [L.1] boyutsuz olarak ;

$$V_o = c_o = \frac{4 \cdot Q_t}{\pi \cdot (D_o^2 - D_m^2)} = \frac{4 \cdot Q_t}{\pi \cdot D_o^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{D_m}{D_o} \right)^2 \right]}$$

$$Q_t = (1,05 \dots 1,1) \cdot Q \quad (Eşitlik 4 / 11)$$

$$Q_t = Q / \eta_k \quad (Eşitlik 4 / 10)$$

$$k_d = \frac{Q}{U_2 \cdot D_2^2} \quad (Eşitlik 4 / 4)$$

eşitlikleri yerine konursa,

$$V_o = \frac{4 \cdot (1,05 \dots 1,1) \cdot Q}{\pi \cdot D_o^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{D_m}{D_o} \right)^2 \right]} = \frac{4 \cdot (1,05 \dots 1,1) \cdot k_d \cdot U_2 \cdot D_2^2}{\pi \cdot D_o^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{D_m}{D_o} \right)^2 \right]}$$

$$\left. \begin{aligned}
V_o = c_o &= \frac{4 \cdot (1,05 \dots 1,1) \cdot k_d \cdot U_2}{\pi \cdot \left(\frac{D_o}{D_2}\right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{D_m}{D_o}\right)^2\right]} \\
V_o = c_o &= \frac{4 \cdot k_d}{\pi \cdot \left(\frac{D_o}{D_2}\right)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{D_m}{D_o}\right)^2\right] \cdot \eta_k} \cdot U_2
\end{aligned} \right\} \frac{V_o}{\text{m/sn}} \mid \frac{U_2}{\text{m/sn}} \quad (4/19)$$

bağıntıları elde edilir.

- D_o — Çark giriş ağızı çapı (*Bölüm 4.2*)
- d_g — Göbek çapı ($=D_m$), (*Bölüm 3.4*)
- η_k — Kaçak verim (*Eşitlik 3/24*)
- D_2 — Çark çıkış çapı (*Bölüm 4.1*)
- U_2 — Çıkış çevresel hızı (*Eşitlik 4/3*)

Ahmet Turan GÖKELİM 'e göre [L.11] ,

Döner çarka giren c_o hızına (*Eksenel yönde, yani pompa miline paralel olarak, döner çarka girdiği için*), eksenel hız adı verilebilir.

Eksenel c_o hızı genellikle santrifüj pompalarda belirli sınırlar arasında alınır.

$$c_o = 1,5 \dots 6 \text{ m/sn.} \quad (4/20)$$

ancak emme tarafında vakum olmazsa (*emme borusu yük altında çalışıyorsa*) $c_o \cong 12 \text{ m/sn.}$ 'e kadar alabilir. c_o hızının ne kadar alınacağı kesinlikle kestirilemez. Bu nedenle c_o hızı yerine c_{m1} meridyen hızı ile çok kez hesap yapılır.

$$c_o \cong (0,8 \dots 1,0) \cdot c_{m1} \quad (4/21)$$

olarak saptanabilir.

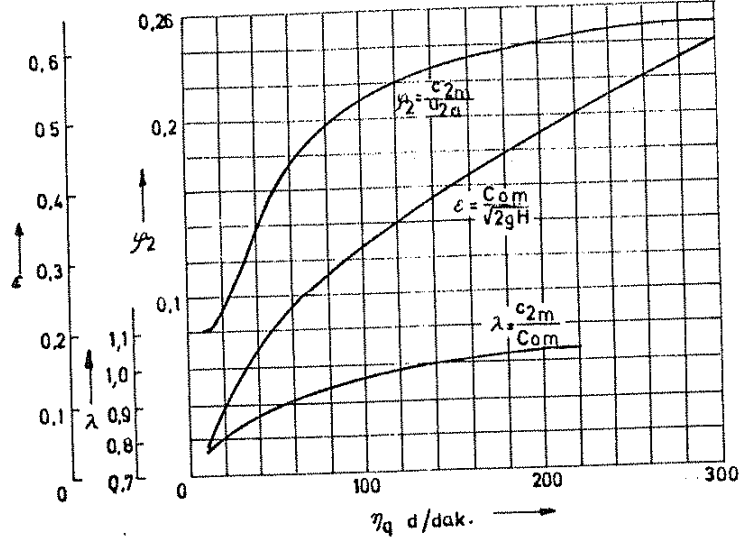
Pumpen' e göre [L.5] ;

Giriş meridyen hızı c_{om} ,

$$\varepsilon = \frac{c_{om}}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H_m}} \quad \frac{c_{om}}{\text{m/sn.}} \mid \frac{H_m}{\text{m.S.S}} \quad (4/22)$$

olarak tarif edilir (*Şekil 4.3*).

ε — Giriş meridyen hız katsayısı (Giriş meridyen hızının tespiti için karakteristik sayı Pfleiderer'e göre radyal çarklarda ; $\varepsilon = 0,1 \dots 0,3$ dir).



Şekil 4.3 - φ_2, λ ve ε karakteristik sayılarının n_q özgül hıza göre değişimi [L.5] .

φ_2 — Debi büyüklüğünün değerlendirilmesi için tanıtım sayısı ($\varphi_2 = c_{2m} / U_{2\alpha} = \lambda \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\psi}$) ; debi faktörü.

λ — Çıkış meridyen hızının tespiti için karakteristik sayı (Çıkış daralma faktörü $\lambda < 0,75$ altında olmamalı)

$c_o = V_o$ ve c_{m1} hızlarını hesaplayalım.

$$c_o = \frac{4 \cdot Q_t}{\pi \cdot (D_o^2 - d_g^2)} \quad (\text{Eşitlik 4 / 18})$$

$$c_o = \frac{4 \cdot 0,0945}{\pi \cdot (0,145^2 - 0,055^2)}$$

$$\underline{\underline{c_o = 6,68 \text{ m / sn.}}}$$

Kanatların giriş kenarlarının kalınlığı dolayısı ile akışkanın giriş kesiti küçüleceğinden c_{m1} hızı bir miktar büyüyecektir. Büyütme katsayısı 1,05 ile 1,1 arasında alınarak ilk yaklaşıklıkla c_{m1} hızı,

$$c_{m1} = (1,05 \dots 1,1) \cdot c_o \quad (\text{Eşitlik 4 / 17})$$

$$c_{m1} = 1,05 \cdot 6,68$$

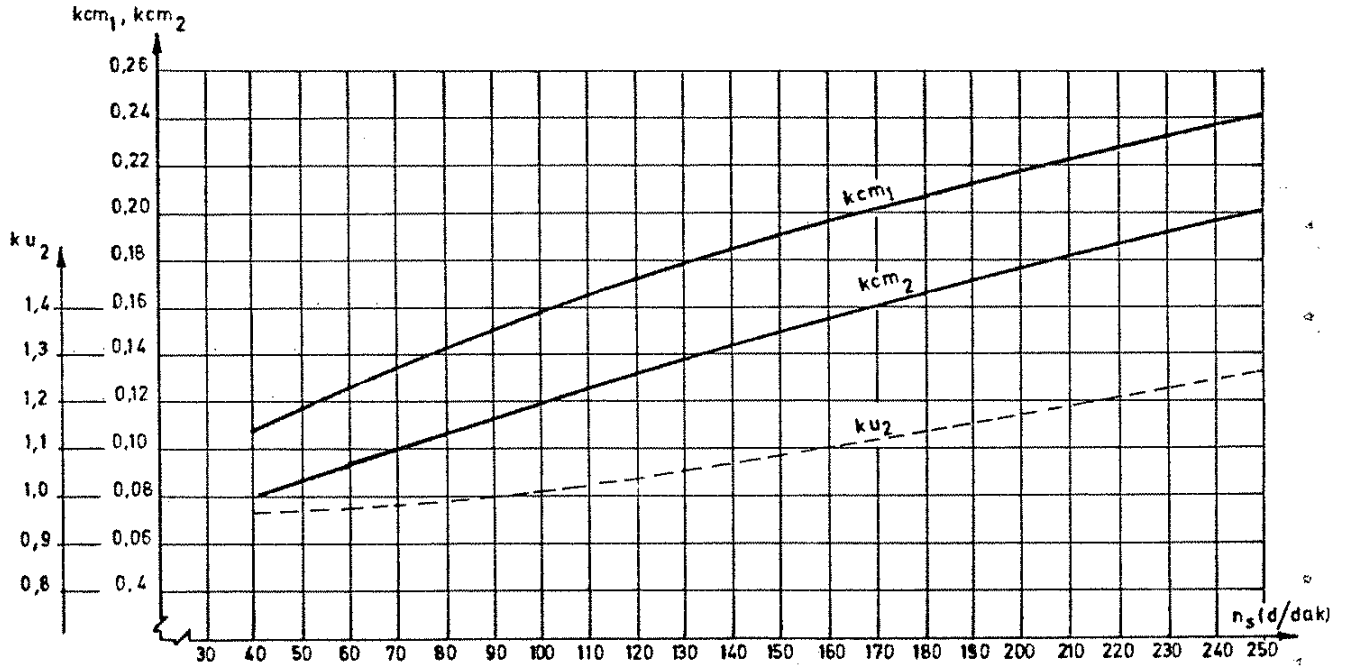
$$\underline{\underline{c_{m1} \cong 7 \text{ m / sn.}}}$$

bulunur. Bulunan bu değer Şekil 4.4 deki diyagramdan, özgül hız yardımıyla saptanacak olan hız katsayısı yardımıyla kontrol edilebilir. Hız katsayısı ile c_{m1} arasında,

$$c_{m1} = k_{Cm1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_m} \quad \frac{c_{m1}}{\text{m/sn.}} \quad \left| \frac{g}{9,81 \text{ m/sn}^2} \right| \quad \left| \frac{H_m}{\text{m.S.S}} \right| \quad (4/23)$$

bağıntısının olduğu bilinmektedir. (A.J.STEPANOFF formülü).

k_{Cm1} — Hız katsayısı



Şekil 4.4 - Hız katsayılarının özgül hıza göre değişimi [L.2].

$$n_s = 222,15 \text{ d / dak için,}$$

$$k_{Cm1} = 0,23 \quad (\text{Şekil 4.4})$$

$$c_{m1} = 0,23 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 141 / 4}$$

$$\underline{\underline{c_{m1} \cong 6 \text{ m / sn.}}}$$

$$n_q = 60,86 \text{ d / dak} \quad \text{için,}$$

$$\varepsilon = 0,23 \quad (\text{Şekil 4.3})$$

$$c_{om} = \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_m} \quad (\text{Eşitlik 4 / 22})$$

$$c_{om} = 0,23 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 141 / 4}$$

$$\underline{\underline{c_{ml} = c_{om} \cong 6 \text{ m / sn.}}}$$

bulunur.

b_1 çark giriş genişliğini hesaplayalım.

Kanat kalınlığı ve kanat sayısı henüz belirlenmemiş olduğu için λ_1 değeri ilk yaklaşıklıkla 0,7 olarak seçilirse, süreklilik denklemi yardımıyla b_1 değerinin yaklaşık değeri bulunabilir.

$$b_1 = \frac{Q_t}{\pi \cdot D_1 \cdot \lambda_1 \cdot c_{ml}} \quad (\text{Eşitlik 4 / 16})$$

- $c_{ml} \cong 7 \text{ m/sn. için;}$

$$b_1 = \frac{0,0945}{\pi \cdot 0,110 \cdot 0,7 \cdot 7} = 0,055 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{b_1 = 55 \text{ mm}}}$$

- $c_{ml} \cong 6 \text{ m/sn. için;}$

$$b_1 = \frac{0,0945}{\pi \cdot 0,110 \cdot 0,7 \cdot 6} = 0,065 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{b_1 = 65 \text{ mm}}}$$

bulunur.

Pumpen de [L.5] ise çark genişliği b_1 ,

$$b_1 = \frac{\dot{V}'}{\pi \cdot D_{lm} \cdot c_{om}} = \frac{Q_t}{\pi \cdot D_1 \cdot c_o} \quad \begin{array}{c|c|c|c} b_1 & Q_t & D_1 & c_o \\ \hline \text{m} & \text{m}^3/\text{sn.} & \text{m.} & \text{m/sn.} \end{array} \quad (4/24)$$

formülü ile verilmiştir. Bu formülde giriş hızı c_o (ki ,aynı zamanda bu noktada meridyen hızdır),

$$c_{om} = c_o \quad (\text{Eşitlik 4/18})$$

alınmıştır.

$$b_1 = \frac{0,0945}{\pi \cdot 0,110 \cdot 6,68} = 0,04 \text{ m}$$

$$b_1 \cong 40 \text{ mm}$$

bulunur.

$$\text{Seçilen : } \underline{\underline{b_1 = 40 \text{ mm}}}$$

Bu değer ;kanat sayısı ,kanat kalınlığı ve giriş kanat açısı hesaplandıktan sonra kontrol edilecektir.

4.5 - Çark çıkış genişliği b_2 :

Süreklilik denklemi çark çıkışı için uygulanırsa,

$$\left. \begin{aligned} Q_t &= \pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot \lambda_2 \cdot c_{m2} \\ b_2 &= \frac{Q_t}{\pi \cdot D_2 \cdot \lambda_2 \cdot c_{m2}} \end{aligned} \right\} \begin{array}{c|c|c|c} \frac{Q_t}{\text{m}^3/\text{sn.}} & \frac{D_2}{\text{m.}} & \frac{b_2}{\text{m.}} & \frac{c_{m2}}{\text{m/sn.}} \end{array} \quad (4/25)$$

bağıntıları elde edilir.

Q_t — Toplam debi (Eşitlik 4/10, 4/11)

D_2 — Çark çıkış çapı (Bölüm 4.1)

λ_2 — Çıkış kanat daralma katsayısı

Pompa büyüklüğüne bağlı olarak,

$$\lambda_2 = 0,75 \dots 0,98 \quad (4/26)$$

arasında değerler alır.(Kanat sayısı, kanat kalınlığı ve çıkış kanat açısı hesaplandıktan sonra λ_2 daralma katsayısının gerçek değeri bulunur).

c_{m2} — Çıkış meridyen hızı

İlk yaklaşıklıkla, c_{m2} çıkış meridyen hızı c_{m1} 'e eşit veya biraz küçük alınabilir. Uygun yol ; Şekil 4.4 de verilen diyagram yardımıyla kc_{m2} hız katsayısını özgül hız değerlerine göre bulmak ve bilinen

$$c_{m2} = kc_{m2} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_m} \quad \frac{c_{m2}}{\text{m/sn.}} \quad \Bigg| \quad \frac{H_m}{\text{m.S.S}} \quad (4/27)$$

bağıntısından faydalanarak c_{m2} hızını hesaplamaktır [L.2].

Şekil 4.4 den $n_s = 222,15 \text{ d/dak.}$ ya göre $kc_{m2} = 0,19$ değeri alınırsa c_{m2} hızı,

$$c_{m2} = 0,19 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 141 / 4}$$

$$\underline{\underline{c_{m2} \cong 5 \text{ m/ sn}}}$$

olarak bulunur.

b_2 ; çıkış genişliğinin hesabı :

• **Dubbel'e göre [L.21] ;**

$n_q = 60,86 \text{ d/dak.}$ için cetvel 4.2 den,

$$\frac{b_5 (= b_2)}{D_{5a} (= D_2)} = 0,14$$

alınırsa,

$$b_2 = 0,14 \cdot 194 = 27,16 \text{ mm}$$

$$\underline{\underline{b_2 \cong 28 \text{ mm}}}$$

bulunur.

• **Pumpen'e göre [L.5] ;**

$n_s = 222,15 \text{ d/dak.}$ için Şekil 3.8 den,

$$\frac{b_2}{D_2} (\text{Difüzörlü}) = 0,19$$

alınırsa,

$$b_2 = 0,19 \cdot 194 = 36,86 \text{ mm.}$$

$$\underline{\underline{b_2 \cong 37 \text{ mm.}}}$$

elde edilir.

• **Hasan Fehmi YAZICI** YA göre [L.12] ;

b_2 kanat genişliği pompanın özgül hızına bağlıdır. Genel bir fikir edinmek için,

$n_q = 20 \dots 100$ d/dak olmak üzere ;

$$\frac{b_2}{D_2} \cong 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot n_q \quad (4/28)$$

bağıntısı gözönüne alınabilir.

$$\frac{b_2}{194} \cong 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 60,86$$

$$b_2 \cong 29 \text{ mm.}$$

b_2 ,imalat kolaylığı bakımından 28 mm. alınmalıdır.

Düşünülen konstrüksiyon Şekil 4.2 deki gibi,dolayısıyla seçilen b_2 genişliği,

$$\underline{\underline{b_2 \cong 28 \text{ mm.}}}$$

dir.

Bu değer, λ_2 daralma katsayısı hesaplandıktan sonra kontrol edilecektir.

4.6 - Çark kanat sayısı z :

Çarkta bulunması gerekli kanat sayısı tam olarak hesaplanamadığı için,pratikte çoğu zaman yaklaşık,deneysel metotlar uygulanmaktadır. Bunlar arasındaki aşağıdaki bağıntı önemli bir yer tutar [L.12] ;

$$z = 2 \cdot k \cdot (r_m / \ell') \cdot \text{Sin} \beta_m \quad (4/29)$$

ℓ' — Çarkın meridyen kesitinde $(a_1 - a_2)$ orta akışkan ipçığının (akım çizgisinin) uzunluğu (Şekil 4.5).

r_m — $(a_1 - a_2)$ orta akışkan ipçığının (akım çizgisinin) G geometrik ağırlık merkezinin dönme eksenine uzaklığı (Şekil 4.5).

$$r_m = \frac{D_{(a)2} + D_1}{4} \quad (4/30)$$

Kovats'ca [L.1] göre ; Santrifüj çarkları halinde kanat sayısı 5 ile 8 arasındaadır. Farklı bazı hallerde 2 veya 3'e iner veya 64 yüksek basınçlı büyük çarklar için 10 ile 15'e çıkar.

$$r_m = \frac{D_{(a)2} + D_1}{4} \quad (4/30)$$

$D_{(a)2}$ — $(a_1 - a_2)$ ipçığıne ait çark çıkış çapı

D_1 — Çark giriş ortalama çapı

β_m — Ortalama kanat eğim açısı veya ortalama kanat açısı. $(a_1 - a_2)$ boyunca ölçülen kanat açılarının ortalama değeri

Santrifüj pompalarda ilk yaklaşıklıkla,

$$\beta_m \cong \frac{(\beta_{1k} + \beta_{2k})}{2} \quad (4/31)$$

alınabilir.

β_{1k} — Kanat giriş açısı

β_{2k} — Kanat çıkış açısı

k — Kanat sayısı
faktörü

Temiz su için,

$$k = 5 \dots 6,5 \quad (4/32)$$

seçilebilir.

$D_{(a)2}$, β_{1k} ve β_{2k} ayrıca $(a_1 - a_2)$ ipçığının ℓ' uzunluğu henüz belirlenmemiş olduğu için, bu aşamada (4/29) eşitliğinin kullanılması mümkün değildir. Ancak bilinen ;"Temiz su halinde Francis tipi çarkların çark kanat sayısının genellikle,

$$z = 5 \dots 9 \quad (4/33)$$

olduğudur".

O halde seçilen çark kanat sayısı ,

$$\underline{\underline{z=7}}$$

dir.

Bu değer;belirsiz büyüklükler (r_m, ℓ' ve β_m) belirlendikten sonra kontrol edilecektir.

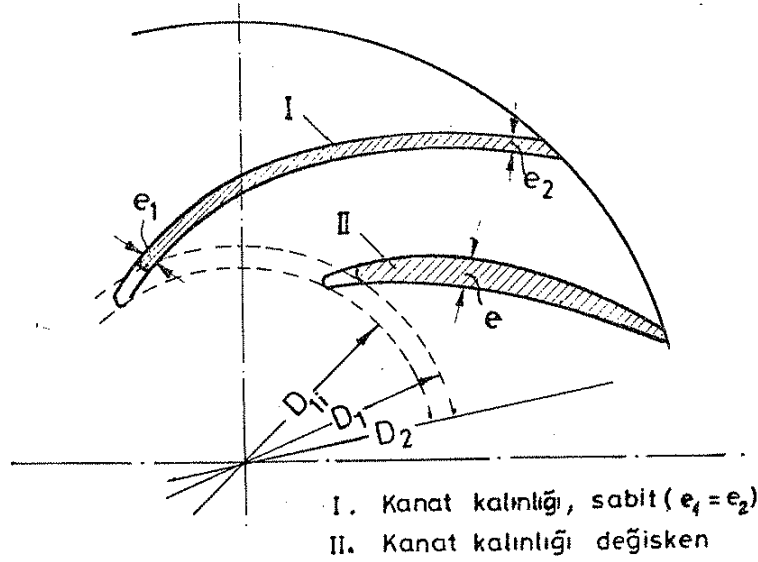
4.7 - Çark kanat kalınlığı e :

Kanat kalınlığı e_2 ,çark malzemesine bağlı olarak ;

- Dökme demir çark için : 4 ... 8 mm.
- Dökme çelik,Bronz,Hafif alaşımlı çark için 3 ... 6 mm.

alınabilir.(Şekil 4.6)

İmalat kolaylığı bakımından, girişteki e_1 kanat kalınlığı e_2 çıkış kalınlığına eşit olabilir. Bazı hallerde, özellikle açık çarklarda kanat kalınlığı kanat boyunca değişken seçilir ve kanada aerodinamik bir profil formu verilir. (Şekil 4.7)



Şekil 4.7-Çark kanat kalınlığı ve kanat giriş kenarının durumu.

β_{1k} kanat giriş açısının küçük değerlerinde $e_1' = \frac{e_1}{\sin \beta_{1k}}$ bağıntısından görüldüğü gibi e_1' çok büyük hatta e_1 kanat kalınlığının 3-4 misli çıkabilir ve dolayısı ile λ_1 daralma katsayısı küçülür. λ_1' in küçülmesi akışkanın giriş kesitinin daralması ve gereksiz çarpma kayıplarına yol açması demektir. Bu nedenle λ_1' in büyütülmesi olanakları aranmalıdır. En uygun ve pratik yol kanat giriş kenarının yuvarlatılmasıdır. (Şekil 4.7)

Seçilen:

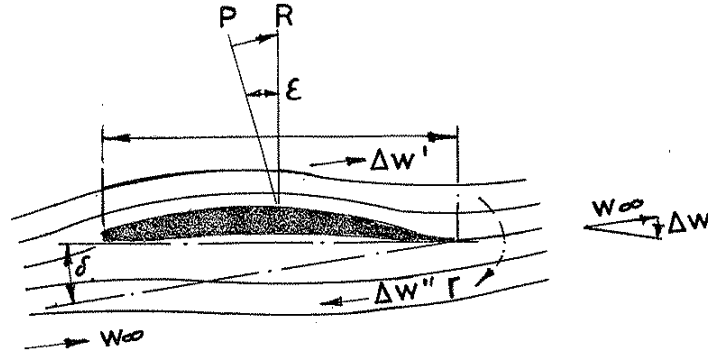
Çark malzemesi : G-CuSn10
Çark kanat kalınlığı : $e = 3 \text{ mm}$. (Kanat boyunca sabit)

4.8- Pompanın Çark Radyal Kesidi Taslağının Çizim ;

Francis çarkı (Francis tipi çark) kullanılacağına ve Şekil 4.2 de verilen çark formuna benzer bir konstrüksiyon düşünüldüğüne göre önce ; (d_1-d_2) , (i_1-i_2) cidar iççiklerine ve orta noktaların meydana getirdiği (a_1-a_2) orta akışkan iççığıne ait çark çıkış çaplarını hesaplayalım.

Francis tipi çark için ipçikler birbirinden tamamen farklıdır ve aynı şekilde bu ipçikler boyunca hızlar farkeder ; ve bu yüzden her biri ayrı ayrı hesaplanmalıdır.

Şimdi, W_∞ izafi hızına sahip bir akış içinde bir kanat gözönüne alalım ve kanat etrafındaki hareketi düşünelim. W_∞ doğrultusuna dik P gibi bir kuvvet kanada tesir eder ki, bu kuvvete kaldırma kuvveti denir. (Şekil 4.8)



Şekil 4.8 - Bir kanat etrafındaki hareket.

- ϵ — Kayma açısı ($\text{tg } \epsilon = R/P$)
- R — Direnç kuvveti (W_∞ doğrultusunda)
- δ — Hücum açısı (Kanatın izafi hız ile yaptığı açı)
- Γ — Sirkülasyon
- $\Delta W'$ — İzafi hızlar farkı (Artan)
- $\Delta W''$ — İzafi hızlar farkı (Azalan)
- ΔV — Mutlak hızlar farkı

Kayma açısı ne kadar küçük ise kanat o kadar verimlidir. Zira az bir dirençle büyük bir kaldırma temin ediliyor demektir.

Şekil 4.5 de de görüleceği gibi ; iç kısımda bulunan (i) ipçigi, dış ipçiğe (d) oranla çok daha küçük bir kaldırma kuvveti verir (i ipçiğinde : $W_\infty = 0,457 \cdot U_2$, $\beta_\infty = 21,45^\circ$; d ipçiğinde : $W_\infty = 0,686 \cdot U_2$, $\beta_\infty = 14,1^\circ$, Bu değerler, Sayfa 91 ve 109 da hesaplandı).

Kaldırma kuvvetleri arasındaki dengesizliği azaltmak için, (i) ipçiğine ait çark çıkış çapı $D_{(i)2}$ küçültülebilir.

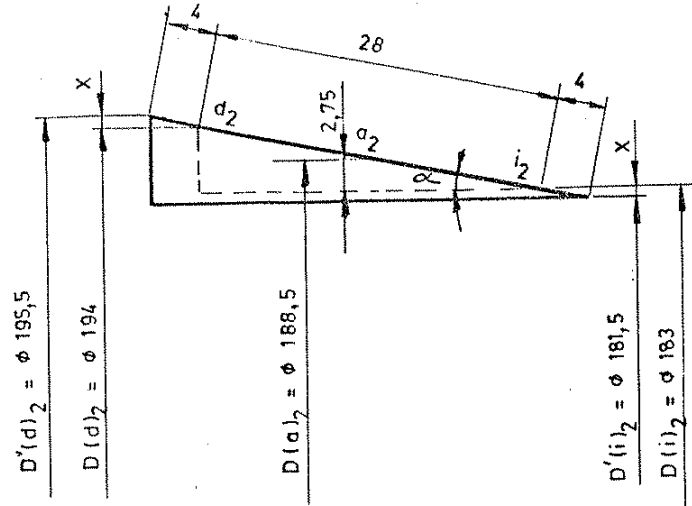
$$D_{(i)2} = 0,94 \cdot D_{(d)2}$$

olarak;

$$D_{(i)2} = 0,94 \cdot 194$$

$$\underline{\underline{D_{(i)2} = \phi 183 \text{ mm.}}}$$

bulunur.



Şekil 4.9 -(d),(a) ve (i) ipçiklerinin çark çıkış çapları

Dış (üst) kapak ve iç (alt) kapakların çark çıkış çaplarına karşılık gelen kalınlıkları eşit ve 4 mm. (3...6 mm.) alınırsa Şekil 4.9 dan ;

$$\text{Sin}\alpha = \frac{194 - 183}{28} = 0,19643$$

$$\alpha = 11,33^\circ$$

$$x = 4 \cdot \text{Sin}\alpha = 4 \cdot 0,19643$$

$$x = 0,7857$$

$$D'_{(d)2} = D_{(d)2} + 2 \cdot x = 194 + 2 \cdot 0,7857$$

$$\underline{\underline{D'_{(d)2} = \phi 195,5 \text{ mm.}}}$$

$$D'_{(i)2} = D_{(i)2} - 2 \cdot x = 183 - 2 \cdot 0,7857$$

$$\underline{\underline{D'_{(i)2} = \phi 181,5 \text{ mm.}}}$$

$$D_{(a)2} = D_{(i)2} + 2 \cdot 2,75 = 183 + 5,5$$

$$\underline{\underline{D_{(a)2} = \phi 188,5 \text{ mm.}}}$$

bulunur.

Çark çıkış çapları hesaplandığına göre artık, çark radyal kesitinin çizimi için aşağıdaki sıra izlenebilir (Şekil 4.5):

- ◆ Önce çark eksenini ve daha sonra bu eksene paralel çizgiler halinde d_m mil çapı, $d_{gön}$ ön göbek çapı, D_1 ortalama giriş çapı ve $D_{(d)2}$, $D_{(a)2}$, $D_{(i)2}$ çark çıkış çapları yardımıyla çap sınırları çizilir.
- ◆ D_1 çapı yardımıyla eksene paralel olarak çizilen doğru üzerinde herhangi bir a_1 noktası alınır ve b_1 çaplı daire çizilir.
- ◆ $D_{(a)2}$ çapı yardımıyla eksene paralel olarak çizilen doğru üzerinde bir çok tekrar denemeden sonra a_2 noktası geçici olarak alınır. a_2 den itibaren $\frac{b_2}{2}$ genişliği kadar alınarak d_2 ve i_2 noktaları bulunur.
- ◆ d_2 den itibaren bir pistole yardımı ile b_1 çaplı daireye teğet olmak ve alt sınırı D_0 çaplı sınır doğrusuna kadar uzanan $(a_1.a_2)$ eğrisine benzer bir eğri çizilir. D_{1d} çaplı doğrunun bu eğriyi kestiği d_1 noktası bulunur.
- ◆ i_2 den itibaren aynı işlem $d_{gön}$ çaplı sınır doğrusuna kadar yapılır. D_{1i} çaplı doğru yardımıyla i_1 noktası bulunur.
- ◆ d_1 , a_1 , i_1 noktaları birleştirilerek kanat giriş kenarı elde edilir.
- ◆ Gerekli kapak kalınlıkları verilerek ve resim tamamlanarak çarkın radyal kesitinin taslağı çizilmiş olur.

Özellikle çarkın karşı görünüşü ve kanat çizimleri de tamamlandıktan sonra kanatlar arasındaki kanal genişlikleri kontrol edilerek ve özellikle çarkın girişinden çıkışına kadar meridyen hızların lineerliğini sağlayacak şekilde alt ve üst kapak konumları düzeltilecek ve bu suretle çark radyal kesit resmine son şekil verilmiş olacaktır.

5- DÖNÜK (SAPIK) KANATLI ÇARK KANADI ÇİZİMİ

Yüksek özgül hızlı pompalarda, kanatların dönük (*sapık*) yapılması ve çark kanadının nokta nokta metoduna göre çizilmesi en uygun yoldur. Çark $V_m (=C_m)$ meridyen hızı sabit kalacak şekilde kısmi pompalara ayrılır ve her ipçik için hız üçgenleri diyagramı çizilerek β kanat açıları saptanır. Genellikle, çok büyük pompalar hariç tutulursa, üst ve alt kapakların kanatlarla ara kesitleri ile kesiti ikiye bölecek tarzda çizilecek orta ipçik için işlemleri tekrarlamak yeterlidir. (Şekil 6.1)

(a_1-a_2) orta akışkan ipçigini düşünelim ve bu orta akışkan ipçigine ait giriş ve çıkış meridyen hızları yeniden **Kovats**'a göre ($L.1$) hesaplayalım.

Kanatların girişinde meydana gelebilecek daralmayı gözönüne alırsak, giriş meridyen hızı;

$$V_{ml} = \frac{Q_t \cdot (t_1 + \tau_1)}{\pi \cdot D_1 \cdot b_1 \cdot t_1} \quad \begin{array}{c|c|c|c|c|c} V_{ml} & Q_t & D_1 & b_1 & t_1 & \tau_1 \\ \hline \text{m/sn.} & \text{m}^3/\text{sn.} & \text{m.} & \text{m.} & \text{mm.} & \text{mm.} \end{array} \quad (5/1)$$

veya boyutsuz olarak,

$$V_{ml} = \frac{k_d \cdot D_2}{\pi \cdot b_1 \cdot \frac{D_1}{D_2}} \left(\frac{t_1 + \tau_1}{t_1} \right) \cdot U_2 \quad \frac{V_{ml}}{\text{m/sn.}} \quad \left| \quad \frac{U_2}{\text{m/sn.}} \right. \quad (5/2)$$

bağıntıları ile bulunabilir.

t_1 — Adým veya hatve (D_1 çaplı daire üzerinde)

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{z} \quad (5/3)$$

$$t_1 = \frac{\pi \cdot 110}{7}$$

$$\underline{\underline{t_1 \cong 49,368}}$$

τ_1 — Çark kanat kalınlığı (*Girip*)

$$\underline{\underline{\tau_1 = e = 3 \text{ mm.}}}$$

Santrifüj çarklarda,

$$\frac{t_1 + \tau_1}{t_1} = 1,08 \dots 1,5 \quad (5/4)$$

arasında değir.

$\frac{t_1}{t_1 + \tau_1}$ — Geçip kesitindeki azalma oranı

U_2 — Çýkýp çevresel hızı

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} \quad (\text{Eğitlik 4/3})$$

$$U_2 = \frac{\pi \cdot 0,1885 \cdot 2935}{60}$$

$$\underline{\underline{U_2 = 28,9 \text{ m/sn.}}}$$

$$V_{m1} = \frac{0,08 \cdot 188,5}{\pi \cdot 40 \cdot \frac{110}{188,5}} \cdot \left(\frac{49,368 + 3}{49,368} \right) \cdot 28,9 = 6,2 \text{ m / sn.}$$

$$\underline{\underline{V_{m1} \cong 6 \text{ m / sn.}}}$$

(Aynı değer, daha önce eşitlik 4/23'e göre de bulunmuştu. Sayfa:60)

Çarktan çıkışta V_{m2} meridyen hızı hemen hemen V_{m1} 'e eşit olabilir. Fakat genel olarak, bu hızı düşürmek avantaj sağlayabilir ve böylece kanatlara daha uygun bir form verilebilir. (Süreklilik denklemi nedeniyle b_2 çark çıkış genişliğinin söz konusu V_{m2} hızını gerçekleyecek şekilde hesaplanması zorunluğunu gözden uzak tutulmamalıdır).

Çıkış meridyen hızı ;

$$V_{m2} = \frac{Q_t \cdot (t_2 + \tau_2)}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot t_2} \quad \begin{array}{c|c|c|c|c|c} V_{m2} & Q_t & t_2 & \tau_2 & D_2 & b_2 \\ \hline \text{m/sn.} & \text{m}^3/\text{sn.} & \text{mm.} & \text{mm.} & \text{m.} & \text{m.} \end{array} \quad (5/5)$$

veya boyutsuz olarak,

$$V_{m2} = \frac{k_d \cdot D_2}{\pi \cdot b_2} \cdot \left(\frac{t_2 + \tau_2}{t_2} \right) \cdot U_2 \quad \begin{array}{c|c} V_{m2} & U_2 \\ \hline \text{m/sn.} & \text{m/sn.} \end{array} \quad (5/6)$$

bağıntıları ile hesaplanabilir.

t_2 — Adým veya hatve ($D_2 = D_{(a)2}$ çaplı daire üzerinde)

$$t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{z} \quad (5/7)$$

$$t_2 = \frac{\pi \cdot 188,5}{7}$$

$$\underline{\underline{t_2 \cong 84,6 \text{ mm.}}}$$

τ_2 — Çark kanat kalınlığı (Çýkýb)

$$\underline{\underline{\tau_1 = \tau_2 = e = 3 \text{ mm.}}}$$

Santrifüj çarklarda,

$$\frac{t_2 + \tau_2}{t_2} = 1,02 \dots 1,04 \quad (5/8)$$

arasında değir.

$\frac{t_2}{t_2 + \tau_2}$ oraný giriřteki orandan daima büyüktür.

$$V_{m2} = \frac{0,08 \cdot 188,5}{\pi \cdot 28} \cdot \left(\frac{84,6 + 3}{84,6} \right) \cdot 28,9 = 5,1 \text{ m / sn.}$$

$$\underline{\underline{V_{m2} \cong 5 \text{ m / sn.}}}$$

(Aynı değer, daha önce eşitlik 4/27 ye göre de bulunmuştu. Sayfa :63)

($a_1 - a_2$) orta akışkan ipçiğine ait giriş ve çıkış meridyen hızlarının ortalama değerleri hesaplandığına göre artık, hız üçgenlerinin çizimi yapılabilir.

5.1- ($d_1 - d_2$) akışkan ipçiğine ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi (şekil 5.1):

— Çıkış çevresel (*Teğetsel*) hızı ;

$$U_{od} = U_2 = \frac{\pi \cdot D_{od} \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} \quad (\text{Eşitlik 4 / 3})$$

$$U_{od} = U_2 = \frac{\pi \cdot 0,194 \cdot 2935}{60}$$

$$\underline{\underline{U_{od} = U_2 = 29,81 \text{ m / sn.}}}$$

— Giriş çevresel hızı ;

$$U_{d1} = U_1 = \frac{D_{d1d}}{D_{od}} \cdot U_{od} = \frac{D_1}{D_2} \cdot U_2$$

$$U_{d1} = U_1 = \frac{148}{194} \cdot U_2$$

$$U_{d1} = U_1 = 0,763 \cdot U_2 = 0,763 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{d1} = U_1 = 22,745 \text{ m/sn.}}}$$

— Giriş meridyen hızı ;

$$V_{md1} = V_{m1} = 6 \text{ m/sn.}$$

$$V_{md1} = V_{m1} = \frac{V_{m1}}{U_2} \cdot U_2 = \frac{6}{29,81} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{md1} = V_{m1} = 0,2 \cdot U_2}}$$

— Çıkış meridyen hızı ;

$$V_{(mo)d} = V_{m2} = 5 \text{ m/sn.}$$

$$V_{(mo)d} = V_{m2} = \frac{V_{m2}}{U_2} \cdot U_2 = \frac{5}{29,81} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(mo)d} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2}}$$

— Çıkış teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(uo)d} = V_{u2} = \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h} \cdot U_{od} = \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h} \cdot U_2 \quad (5/9)$$

η_h — Hidrolik verim

$$\underline{\underline{\eta_h = 0,90}} \quad (Eşitlik 3 / 25; Cetvel 3.4)$$

$$V_{(uo)d} = V_{u2} = \frac{0,78}{2 \cdot 0,90} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(uo)d} = V_{u2} = 0,433 \cdot U_2}}$$

— Akışkana ait $\beta_{d1d} = \beta_1$ giriş açısı ;

Optimum çalışma noktasında ön dönmesiz giriş olduğu kabul edilerek ($\alpha_1=90^\circ, V_{(ud1)d}=0$ ve $V_1=V_{m1}$),

a_1 — Giriş hız üçgeninde , $W_1=W_{d1d}$ izafi hızın bileşenleri olan çevresel hız U_1 ile mutlak hız V_1 arasındaki açı.

$V_{(ud1)d}$ — Giriş teğetsel hız bileşeni.

$$tg\beta_{d1d} = tg\beta_1 = \frac{V_{md1}}{U_{d1}} = \frac{V_{m1}}{U_1} \quad (5/10)$$

$$tg\beta_{d1d} = tg\beta_1 = \frac{0,2 \cdot U_2}{0,763 \cdot U_2} = 0,2621$$

$$\underline{\underline{\beta_{d1d} = \beta_1 = 14,7^\circ = 14^\circ 42'}}$$

— Akışkana ait $\beta_{od} = \beta_2$ çıkış açısı veya akışkana ait çarktan çıkış açısı ;

$$tg\beta_{od} = tg\beta_2 = \frac{V_{(mo)d}}{U_{od} - V_{(uo)d}} = \frac{V_{m2}}{U_2 - V_{u2}} \quad (5/11)$$

$$tg\beta_{od} = tg\beta_2 = \frac{0,167 \cdot U_2}{U_2 - 0,433 \cdot U_2} = \frac{0,167}{1 - 0,433} = 0,2945$$

$$\underline{\underline{\beta_{od} = \beta_2 = 16,41^\circ = 16^\circ 24' 36''}}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{md1} = V_{m1} = 0,2 \cdot U_2 \\ V_{(mo)d} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 \\ V_{(uo)d} = V_{u2} = 0,433 \cdot U_2 \\ U_{od} = U_2 \end{array} \right\} \text{Hesaplanan bu değerler, giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi için yeterlidir. (Şekil 5.1)}$$

Çizim için aşağıdaki sıra izlenebilir (Şekil 5.1) :

I• - Çaplar, çarkın ekstenel kesiti ölçüğünde olmak üzere, düşey olarak taşınmıştır. U hızları, D çaplarına dik ve bunların sağ tarafına doğru

grafikte gösterilen ölçekle çizilmiştir (*Çaplar için ölçek: 2/1 ; hızlar için ölçek: 200 mm $\rightarrow U_2=29,81$ m/sn.*). Her yatay doğrunun, U_2 nin uç noktasını çarkın O merkezine bağlayan doğru ile D düşey çapı arasında kalan parçası, gözönüne alınan çapa karşılık gelen U çapını verir.

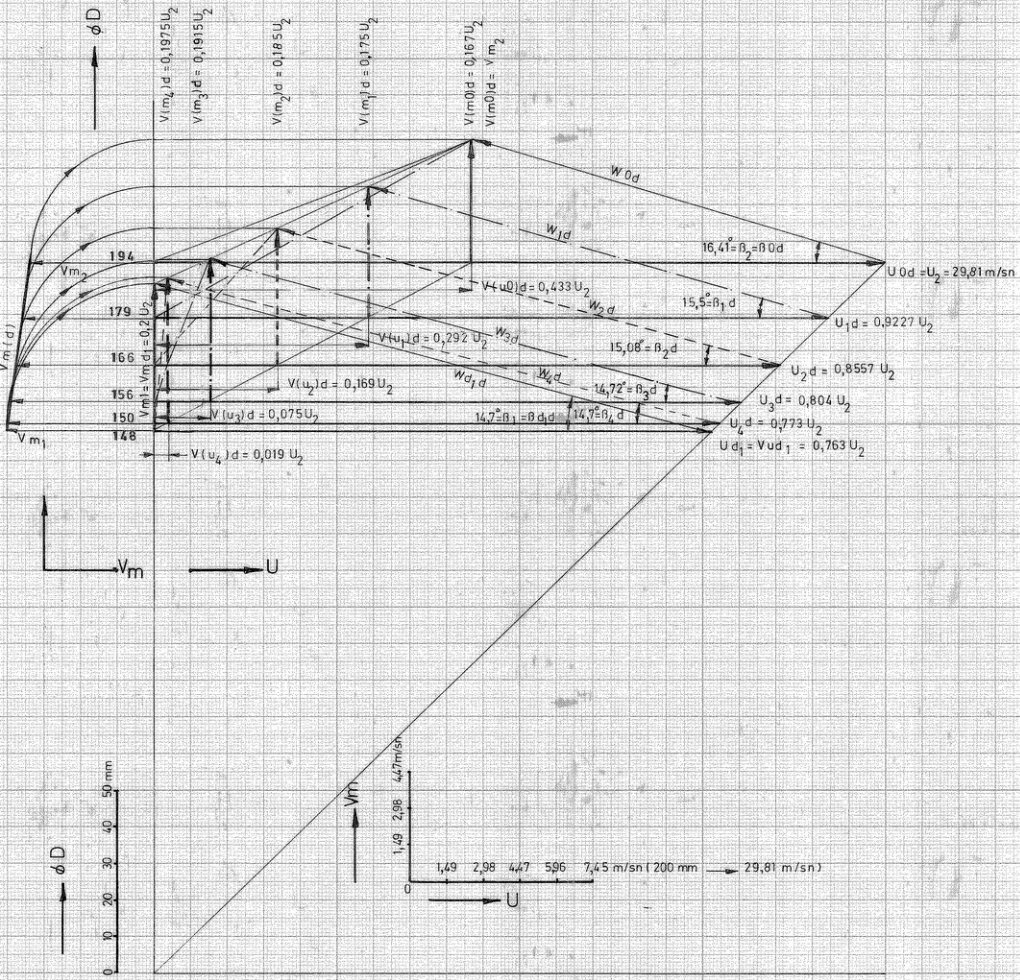
V_m hızları, değişik çapların sol tarafında ve yatay olarak çizilmiştir.

- 2• - Meridyen kesit halinde çarkın her ipçiği üzerinde L_m 'e eşit (10 mm) mesafeler taşınarak 1,2,3,vs. ... noktaları işaretlenmiş (*Şekil 6.1*) ve bu çeşitli noktalara karşılık gelen yarıçaplar (*Cetvel 5.1*) hızlar grafiğine taşınmıştır. Bu noktalardan herbirine ait U teğetsel hızı çizimden kolayca çıkarılabilir. Aynı şekilde, soldaki $V_{m(d)}$ eğrisi ile düşey D çapı arasındaki her mesafe de seçilen çaptaki noktaların meridyen hızını temsil etmektedir.

Akışkan İpçiği	$L_m (=10 \text{ mm})$ 'e eşit noktalara karşılık gelen çaplar										
	0	1	2	3	4	d_1	5	a_1	6	7	i_1
$d_1 - d_2$	194	179	166	156	150	148	-	-	-	-	-
$a_1 - a_2$	188,5	172	156	142	129	-	117	110	-	-	-
$i_1 - i_2$	183	165	148	132	116	-	102	-	88	76	72

Cetvel 5.1 - (d), (a) ve (i) ipçikleri üzerinde $L_m (=10 \text{ mm.})$ 'e eşit noktalara karşılık gelen çaplar.

- 3• - V_{m1} hızı düşey üzerine yatırılırsa ve V_{m1} in uç noktası U_1 in ucu ile birleştirilirse, hipotenüsü $W_{d1d}=W_1$ (*giriş izafi hızı*) olan giriş hız üçgeni elde edilir.
- 4• - V_{m2} hızı düşey üzerine yatırılırsa ve V_{m2} nin uç noktasından U_2 ye bir paralel çizilirse bu paralel, U_2 nin ucundan çizilen $\beta_2=16,41^\circ$ açısını bir noktada keser. Bu nokta $W_{od}=W_2$ (*Çıkış izafi hızı*) nin uç noktasıdır (*dolayısıyla V_{m2} nin*). W_2 nin uç noktası U_2 nin başlangıç ve uç noktası ile birleştirilirse çıkış hız üçgeni elde edilir (β_2 açısı yerine, $V_{(uo)d}=V_{u2}=0,433 \cdot U_2$ eşitliği de kullanılabilir).
- 5• - U teğetsel hızlarının ve V_m meridyen hızlarının, çark girişi ile çıkışı arasında lineer olarak değişeceği bilinmektedir. ($d_1 - d_2$) akışkan ipçiğine ait hızlar grafiğinde görüldüğü gibi (*Şekil 5.1*) giriş ve çıkış hız üçgenleri bilindiğine göre, çark meridyen kesiti boyunca U ve V_m hızlarının doğrusal değişimleri gözönünde tutularak, çizilen hız üçgenleri diyagramıyla herhangi r yarıçapına ait β açıları (*akışkana ait*) kolayca bulunur.



Şekil 5.1 - $(d_1 - d_2)$ akışkan ipğine ait giriş ve çıkış hız üçgenleri (Akışkana ait β açıları)

5.2 - ($d_1 - d_2$) akışkan ipçiğine ait büyüklüklerin nokta nokta (Şekil 6.1) hesabı (Şekil 5.1)

— (1) noktası, $D_{1d} = \phi 179$ mm.;

- Çevresel (teğetsel) hız ;

$$U_{1d} = \frac{D_{1d}}{D_{od}} \cdot U_{od} = \frac{179}{194} \cdot U_2$$

$$U_{1d} = 0,9227 \cdot U_2 = 0,9227 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{1d} = 27,5 \text{ m/sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(ul)d} = \frac{D_{1d} - D_{d1d}}{D_{od} - D_{d1d}} \cdot V_{(uo)d} = \frac{179 - 148}{194 - 148} \cdot 0,433 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(ul)d} = 0,292 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 59 \text{ mm} \rightarrow \frac{59}{200} \cdot U_2 = 0,295 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(ml)d} = 0,175 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 35 \text{ mm})$$

- β_{1d} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{1d} = \frac{V_{(ml)d}}{U_{1d} - V_{(ul)d}} = \frac{0,175 \cdot U_2}{0,9227 \cdot U_2 - 0,292 \cdot U_2} = 0,27747$$

$$\underline{\underline{\beta_{1d} = 15,5^\circ = 15^\circ 30'}}$$

— (2) noktası, $D_{2d} = \phi 166$ mm.;

- Çevresel (*teğetsel*) hız ;

$$U_{2d} = \frac{D_{2d}}{D_{od}} \cdot U_{od} = \frac{166}{194} \cdot U_2$$

$$U_{2d} = 0,8557 \cdot U_2 = 0,8557 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{2d} = 25,508 \text{ m/sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u2)d} = \frac{D_{2d} - D_{d1d}}{D_{od} - D_{d1d}} \cdot V_{(uo)d} = \frac{166 - 148}{194 - 148} \cdot 0,433 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u2)d} = 0,169 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 34 \text{ mm} \rightarrow 0,17 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m2)d} = 0,185 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 37 \text{ mm})$$

- β_{2d} açısı ;

$$\text{tg} \beta_{2d} = \frac{V_{(m2)d}}{U_{2d} - V_{(u2)d}} = \frac{0,185 \cdot U_2}{0,8557 \cdot U_2 - 0,169 \cdot U_2} = 0,2694$$

$$\underline{\underline{\beta_{2d} = 15,05^\circ = 15^\circ 04' 48''}}$$

— (3) noktası, $D_{3d} = \phi 156$ mm.;

- Çevresel (*teğetsel*) hız ;

$$U_{3d} = \frac{D_{3d}}{D_{od}} \cdot U_{od} = \frac{156}{194} \cdot U_2$$

$$U_{3d} = 0,804 \cdot U_2 = 0,804 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{3d} = 23,97 \text{ m/sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u3)d} = \frac{D_{3d} - D_{d1d}}{D_{od} - D_{d1d}} \cdot V_{(uo)d} = \frac{156 - 148}{194 - 148} \cdot 0,433 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u3)d} = 0,075 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 15,1 \text{ mm} \rightarrow 0,075 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m3)d} = 0,1915 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 38,5 \text{ mm})$$

- β_{3d} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{3d} = \frac{V_{(m3)d}}{U_{3d} - V_{(u3)d}} = \frac{0,1915 \cdot U_2}{0,804 \cdot U_2 - 0,075 \cdot U_2} = 0,262688$$

$$\underline{\underline{\beta_{3d} = 14,72^\circ = 14^\circ 43' 12''}}$$

— (4) noktası, $D_{4d} = \phi 150$ mm.;

- Çevresel (*teğetsel*) hız ;

$$U_{4d} = \frac{D_{4d}}{D_{od}} \cdot U_{od} = \frac{150}{194} \cdot U_2$$

$$U_{4d} = 0,773 \cdot U_2 = 0,773 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{4d} = 23,04 \text{ m/sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u^4)d} = \frac{D_{4d} - D_{d1d}}{D_{od} - D_{d1d}} \cdot V_{(u^0)d} = \frac{150 - 148}{194 - 148} \cdot 0,433 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u^4)d} = 0,019 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 4 \text{ mm} \rightarrow 0,02 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m^4)d} = 0,1975 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 39,5 \text{ mm})$$

- β_{4d} açısı ;

$$\text{tg} \beta_{4d} = \frac{V_{(m^4)d}}{U_{4d} - V_{(u^4)d}} = \frac{0,1975 \cdot U_2}{0,773 \cdot U_2 - 0,019 \cdot U_2} = 0,261936$$

$$\underline{\underline{\beta_{4d} = 14,7^\circ = 14^\circ 42'}}$$

5.3- (d_1-d_2) akışkan ipçığıne karşılık gelen; kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi (Şekil 5.2):

Önce hatırlatmalar yaparak,bilinmesi gerekli olan bazı büyüklükleri hesaplayalım.

V_{u2} — Çıkışta gerçek hızın teğetsel hız bileşeni

Akışkana ait gerçek hız üçgeninde,mutlak hızın teğetsel hız üzerindeki bileşeni olan V_{u2} teğetsel hız bileşeni,akışkanın çarkı terk ederken teğet doğrultusu ile yaptığı gerçek β_2 açısının ve dolayısıyla kanat çıkış açısı olan β_{2k} açısının saptanması için bilinmesi gerekli bir büyüklüktür. Bilindiği gibi V_{u2} ,

$$V_{u2} = \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h} \cdot U_2 \quad (\text{Eşitlik 5/9})$$

bağıntısından bulunur.

Kaskat kanat (*kanat kafesi*) halinde akışkana ait gerçek hız üçgeninde (Şekil 5.1) β_2 gerçek çıkış açısı, trigonometrik bağıntı ile kolayca hesaplanabilir.

$$\text{tg}\beta_2 = \frac{V_{m2}}{U_2 - V_{u2}} \quad (\text{Eşitlik 5/11})$$

Ancak, kaskat kanat dolayısıyla kanat açısı olan konstrüktif β_{2k} açısı, ΔV_u sapması (*kayması*) nedeniyle (Şekil 5.3),hesaplanan bu β_2 açısından daha büyük olmalıdır. Bir başka deyişle, akışkanın çarkı β_2 çıkış açısı ile terk etmesini istiyorsak, sapmada gözönüne alınarak, β_{2k} kanat çıkış açısını β_2 den daha büyük seçmek zorundayız. Şu halde kanada ait konstrüktif β_{2k} çıkış açısı, teorik çıkış hız üçgenindeki $\beta_{2\infty}$ 'a eşit alınmalıdır.

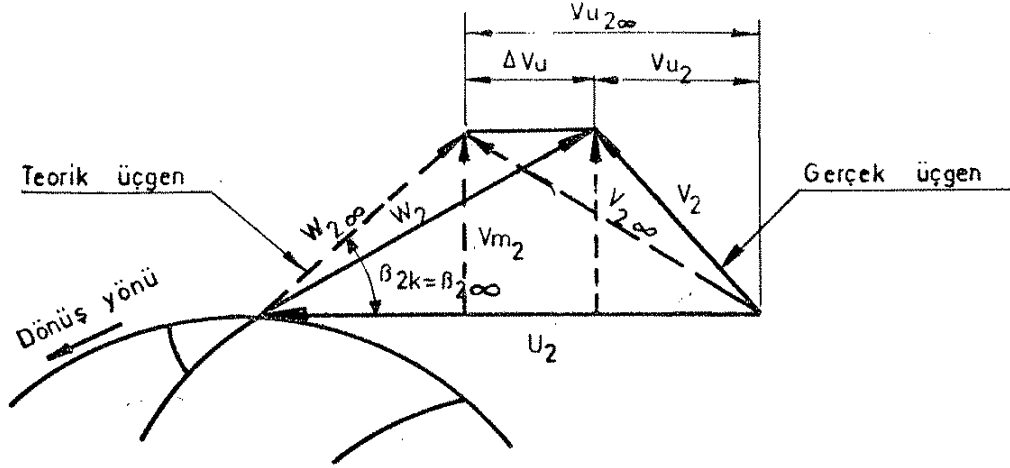
Çark çıkışındaki gerçek hızın,sonsuz kanat varsayımından elde edilen teorik hızdan farklı oluşu kaymayı doğuruyordu. Başka bir deyişle sonlu kanat halinde çarkın akışkana vereceği teğetsel hız,sonsuz kanat halinden daha az olmakta idi. En genel anlamda bu iki teğetsel hızın farkı kayma şeklinde ifade edilmektedir.

Bu farkı hesaplamak amacıyla çeşitli, “**Kayma faktörü**” tanımı yapılmış ve hesap metotları önerilmiştir.

A. Kovats metodu (*yöntemi*):

Bu yöntem;kanat çıkış açısının istenilen manometrik yüksekliği iyi bir verim şartı ile gerçekleştirecek şekilde tespit edilmesini önerir. Çarkın giriş ve çıkışında mevcut teğetsel bileşen farkı (*daha doğrusu hareket miktarı momenti değişimi*) herbiri bir aerodinamik kanat profili kabul edilebilen kanat etrafında yaratılan Γ sirkülasyonları (Şekil 5.4) sayesinde temin edilebileceğinden kanat

sirkülasyonları (Şekil 5.4) sayesinde temin edilebileceğinden kanat sayısı z ise, bu çarkın önünde ve arkasında kanat etrafındaki sirkülasyonların farkı,



Şekil 5.3-Çıkış hız üçgenleri.

- $V_{u2\infty}$ — Sonsuz kanat halindeki teğetsel hız bileşeni
(Sonsuz kanat hali için teğetsel hız bileşeni)
- ΔV_u — Kayma (Sapma)
- V_2 — Çıkış mutlak hız
- $V_{2\infty}$ — Sonsuz kanat için mutlak hız
- W_2 — Çıkış izafi hız
- $W_{2\infty}$ — Sonsuz kanat için izafi hız
- V_{m2} — Çıkış meridyen hızı
- U_2 — Çıkış teğetsel (çevresel) hızı
- β_{2k} — Kanat çıkış açısı

$$\Gamma = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_1}{z} \quad (5/12)$$

$$z \cdot \Gamma = \Gamma_2 - \Gamma_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot V_{u2} - 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot V_{u1} = \pi \cdot D_2 \cdot V_{u2} - \pi \cdot D_1 \cdot V_{u1} \quad (5/13)$$

şeklinde ifade edilir.

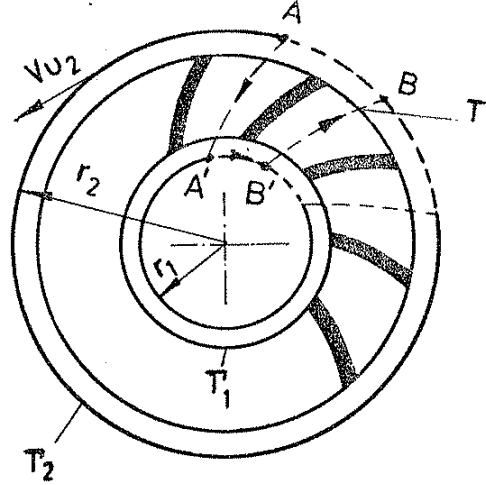
Eğer akışkan çarka ilk dönmesiz olarak giriyorsa (Genel olarak, çarka giren akışkanın teğetsel bileşeni olmadığından),

$$\Gamma_1 = 0 \quad (5/14)$$

olur ve dolayısıyla

$$\Gamma_2 = z \cdot \Gamma \quad (5/15)$$

halini alır.



Şekil 5.4-Bir çarkın kanatları arasında sirkülasyon [L.13]

Kutta-Joukowski teoremine göre; bir plak (*Düzlemsel bir levha*) etrafındaki sirkülasyon, hücum açısının ve hızın fonksiyonudur.

$$\Gamma = \pi \cdot W_{\infty} \cdot L \cdot \sin \delta_0 \quad (5/16)$$

- W_{∞} — İzole kanat halinde kanattan uzakta kanada göre izafi (*bağıl*) akışın hızı (*Şekil 4.8*)
 L — Bir çark kanadının iskelet eğrisinin uzunluğu
 δ_0 — Kanadın hücum açısı. Sıfır kaldırma doğrultusundan itibaren ölçülen hücum açısı veya kanat keseninin \vec{W}_{∞} ile yaptığı açı (*Şekil 4.8*)

Diğer taraftan, kanat etrafında sirkülasyonun sağlanması için profilin bir kaldırma yapması gerekir. P kaldırma kuvveti (*Şekil 4.8*),

$$P = \rho \cdot \Gamma \cdot W_{\infty} \cdot b \quad (5/17)$$

şeklinde belirlenebilir.

- ρ — Özgül kütle
 b — Kanat genişliği

Γ değeri (*Eşitlik 5/16*), (*5/17*) denkleminde yerine konursa,

$$P = \rho \cdot \pi \cdot W_{\infty} \cdot L \cdot \sin \delta_0 \cdot W_{\infty} \cdot b = \rho \cdot \pi \cdot W_{\infty}^2 \cdot L \cdot b \cdot \sin \delta_0 \quad (5/19)$$

$$\frac{P}{L \cdot b} = \frac{P}{S} = \rho \cdot \pi \cdot W_{\infty}^2 \cdot \sin \delta_0 \quad (5/19)$$

elde edilir.

$\frac{P}{S}$ — Özgül kaldırma

S — Kanat izdüşüm yüzeyi

Özgül kaldırma ; ξ_p kaldırma katsayısı ,

$$\xi_p = 2 \cdot \pi \cdot \text{Sin} \delta_o \quad (5/20)$$

tarifi ile aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$\frac{P}{S} = \xi_p \cdot \frac{\rho \cdot W_\infty^2}{2} = \xi_p \cdot \frac{W_\infty^2}{2 \cdot g} \cdot \gamma \quad (5/21)$$

γ — Akışkanın özgül ağırlığı

(5/20) ve (5/16) eşitliklerini yeniden ele alalım.

$$\xi_p = 2 \cdot \pi \cdot \text{Sin} \delta_o$$

$$\Gamma = \pi \cdot W_\infty \cdot L \cdot \text{Sin} \delta_o$$

Bu iki denklemden,

$$\Gamma = \xi_p \cdot \frac{W_\infty}{2} \cdot L \quad (5/22)$$

yazılır. Γ değeri (Eşitlik 5/13), (5/22) eşitliğinde yerine konursa,

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot V_{U2} - 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot V_{U1}}{z} = \xi_p \cdot \frac{W_\infty}{2} \cdot L$$
$$z \cdot L = 2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot (r_2 \cdot V_{U2} - r_1 \cdot V_{U1})}{\xi_p \cdot W_\infty} \quad (5/23)$$

bulunur.

$\xi_p = 2 \cdot \pi \cdot \text{Sin} \delta_o$ eşitliği teoriktir çünkü, (5/21) denklemi ancak sonsuz ince bir plak için doğrudur. Öyle ise, bir kaskadın ξ_p' 'si kanadın ξ_p sinden farklıdır. Kaskat etkisini ortaya koyabilmek ve izole kanat kaldırma formülünü kullanabilmek için düzeltme katsayısı (ξ_p' / ξ_p) ile,

$$z \cdot L = 2 \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot (V_{U2} \cdot r_2 - V_{U1} \cdot r_1)}{W_\infty \cdot \xi_p \cdot (\xi_p' / \xi_p)} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (V_{U2} \cdot D_2 - V_{U1} \cdot D_1)}{W_\infty \cdot \xi_p \cdot (\xi_p' / \xi_p)} \quad (5/24)$$

bağıntısı yazılabilir.

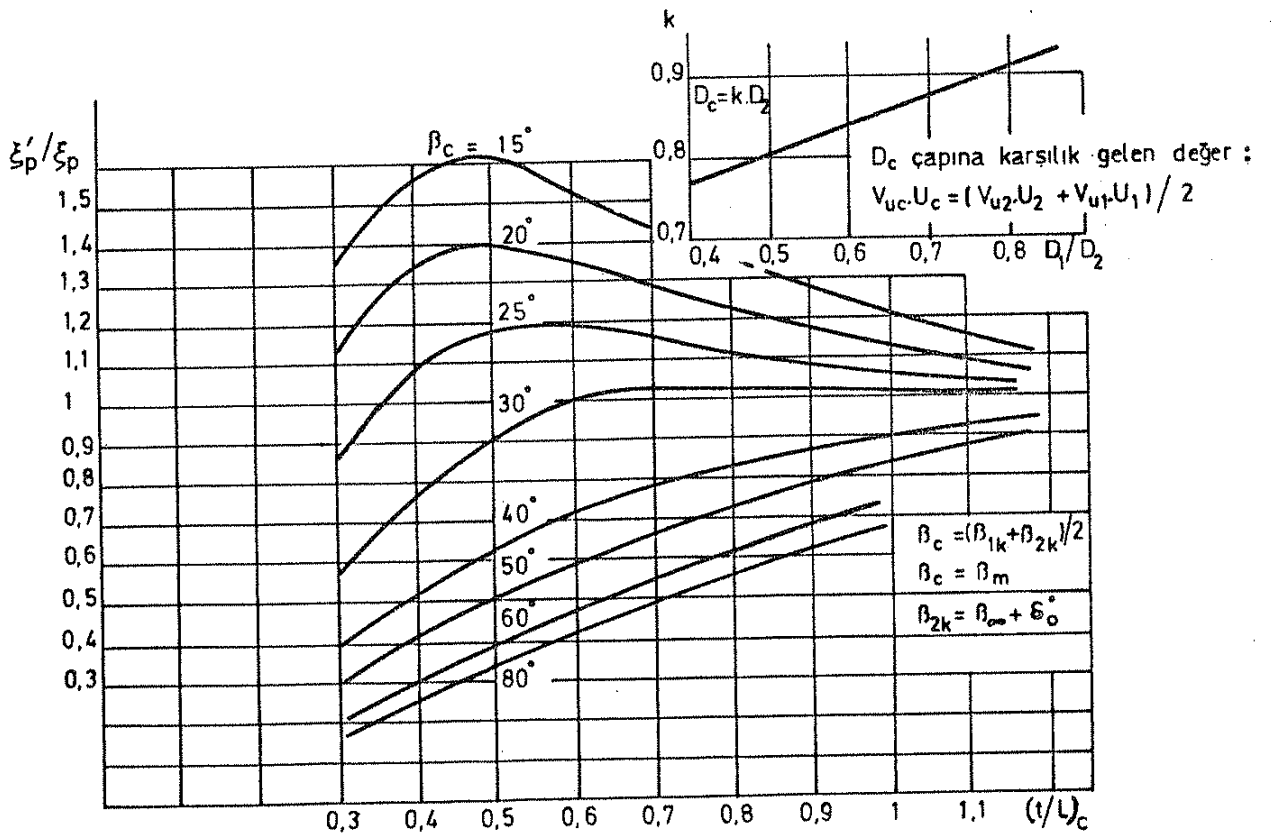
ξ_p' — Kaldırma katsayısı (*kaskat*) veya bir kanadın *kaskad* (*kaskad kafesi*) içinde bulunması halindeki kaldırma katsayısı.

ξ_p' / ξ_p — Dairesel kaskaddaki kaldırma katsayısı oranı (*Şekil 5.5*)

Bu bağlantı (5/24), belirli bir ξ_p kaldırma katsayısını gerçekleştirmek için gerekli kanat yüzeyini verir. Seçilen kaldırma katsayısının ayrılma yapmayacak mertebede olması gerekir. Genel olarak $\xi_{p \max}$ değeri, ψ nin orta değeri için,

$$\xi_{p \max} = 1 \dots 1,5 \quad (5/25)$$

alınır.



Şekil 5.5 - Hareketli bir dairesel kaskadda, kaldırma katsayısının değişimini gösteren diyagram [L.1].

Pompanın gerekli H_m manometrik yüksekliğini gerçekleyebilmesi ve hidrolik verimin de istenilen değere ulaşılabilmesi için çarkın; birim kanat genişliğine karşılık

genişliğine karşılık gelen bir optimum kanat yüzeyine haiz olması gerekir. Başka bir deyişle, hesaplanan z kanat sayısı ile L kanat uzunluğunun çarpımı olan $(z \cdot L)$ 'in bir minimum değeri vardır. Kaskat kanat etkisi de gözönüne alınarak, $b=1$ kabulüyle, toplam kanat yüzeyinin, optimum değerlere karşılık gelen,

$$(z \cdot L)_{\min} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (V_{U2} \cdot D_2 - V_{U1} \cdot D_1)}{1 \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_P' / \xi_P)} \dots \frac{2 \cdot \pi \cdot (V_{U2} \cdot D_2 - V_{U1} \cdot D_1)}{1,5 \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_P' / \xi_P)} \quad (5/26)$$

değeri mevcuttur. Optimum çalışmada $V_{U1}=0$ (*dik giriş*) alınabildiği için bağıntı şu şekli alır:

$$(z \cdot L)_{\min} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot V_{U2}}{1 \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_P' / \xi_P)} \dots \frac{2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot V_{U2}}{1,5 \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_P' / \xi_P)} \quad (5/27)$$

Hesaplanan ve çizime esas olan kanat sayısı ve uzunluğu ile ilgili gerçek $(z \cdot L)_{gerçek}$ değerinin, işletme karakteristiklerinin ve özellikle manometrik yüksekliğin sağlanabilmesi için,

$$(z \cdot L)_{gerçek} > (z \cdot L)_{\min}. \quad (5/28)$$

olmalıdır.

(5/20) ve (5/24) eşitliklerini ele alalım.

$$\xi_P = 2 \cdot \pi \cdot \text{Sin} \delta_o$$

$$z \cdot L = \frac{2 \cdot \pi \cdot (V_{U2} \cdot D_2 - V_{U1} \cdot D_1)}{W_{\infty} \cdot \xi_P \cdot (\xi_P' / \xi_P)}$$

Bu iki denklemden; kanadın δ_o hücum açısı,

$$\text{Sin} \delta_o = \frac{\xi_P}{2 \cdot \pi} = \frac{(V_{U2} \cdot D_2 - V_{U1} \cdot D_1)}{z \cdot L \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_P' / \xi_P)} \quad (5/29)$$

$\Gamma_1=0$ veya ihmal edilebilir derecede küçük olduğu için

$$\text{Sin} \delta_o = \frac{\xi_P}{2 \cdot \pi} = \frac{V_{U2} \cdot D_2}{z \cdot L \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_P' / \xi_P)} \quad (5/30)$$

bulunur.

W_{∞} — İzafi (*bağıl*) hız (*sonsuz kanat*) veya sonsuz kanat hali için izafi (*bağıl*) akış hızı.

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir.

β_m — Ortalama kanat açısı (ortalama kanat eğim açısı)

Not: β_m , S: 65'te de aynı formül verilmiş

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} \quad (5/35)$$

ve, $\psi = 0,6 \dots 1,1$ (Basınç veya manometrik yükseklik katsayısı) değerleri için;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} + (3^\circ \dots 10^\circ) \quad (5/36)$$

şeklinde tahmin edilebilir.

β_k — Kanat açısı, kanat eğim açısı veya kanatların bu açığa karşılık gelen konstrüksiyon açısı (Şekil 5.2)

β — Hız açısı (izafi) veya izafi hız ile çevresel hız arasındaki açı (Şekil 5.1)

β_{1k} — Kanat giriş açısı

- A. Turan GÖKELİM'e göre [L.11];

Yüksek verimde optimum debi alabilmek için β_{1k} açısının belirli bir miktar artırılması gerekir.

$$\beta_{1k} = \beta_1 + \delta \quad (5/37)$$

δ — Emniyet açısı

$$\delta = 2^\circ \dots 6^\circ \quad (5/38)$$

$$\beta_{1k} = 15^\circ \dots 30^\circ \quad (5/39)$$

arasında değişen değerler alırlar.

- H. F. YAZICI'ya göre [L.12],

Temiz su pompalarında genellikle,

$$\beta_{1k} = 15^\circ \dots 23^\circ \quad (5/40)$$

olmaktadır.

- Kaya BAYSAL'a göre [L.2];

Kaskat kanat etkisi dolayısı ile akışkanın β_1 açısı ile çarka girebilmesi için kanat giriş açısı δ° kadar büyütülmelidir.

Kanat giriş açısının 10° ile 20° arasında kalması uygundur. Kaviteasyon bakımından en uygun açı 17° civarındadır. Ancak kanat kanatları arasındaki koniklik açısının daha uygun ve kanat uzunluğunun büyük olması bakımından β_{1k} açısının 12° dolayında kalması faydalıdır (K.BAYSAL)

Girişte β_{1k} açısı genel olarak, pompalar halinde $16^\circ \dots 30^\circ$ arasındadır (KOVAT5, S:135)

• Radyal akışlı pompa farkları için β_{2k} nin elverişli değeri 10 ile 25 dir.
(KOVATS 5:193)

β_{2k} — Kanat çıkış açısı (Kaskat kanat etkisiyle akışkanın β_2 açısı ile çarkı terk edebilmesini sağlamak üzere kanada verilmesi gerekli olan açı)

H. F. YAZICI 'ya göre [L.12]; "Yüksek H_m elde edilmesi gibi bir sınırlama yoksa β_{2k} değeri optimum verim sağlayacak şekilde seçilir. Pratikte santrifüj pompalarda β_{2k} açısı, 15° ile 35° ve özel olarak ta 50° arasında alınır Ancak, verim bakımından bu açının 20° ile 25° alınması daha uygundur".

β_m ortalama kanat açısının hesabı (Kovats metodu):

Kovats, kaskat açısı olarak;

$$\beta_c = \beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} \quad (\text{Eşitlik 5/35})$$

Ortalama değerini almış ve β_c yi aşağıda verilen yöntemle, iki aşamada hesaplanmıştır.

İlk yaklaşıklıkla, $\psi = 0,5 \dots 1,1$ için;

$$\beta_{2k} = \beta_\infty + (5^\circ \dots 10^\circ) \quad (5/41)$$

alınır ve δ_0 (Eşitlik 5/30) hesaplanır. İkinci adım olarak,

$$\beta_{2k} = \beta_\infty + \delta_0 \quad (5/42)$$

değeri kullanılarak β_{2k} nin geçici değeri bulunur, β_{2k} nin bu geçici değeri ile hesaplanan β_c açısı genellikle bir düzeltmeye ihtiyaç göstermez ve bulunan ξ_p' / ξ_p değeri δ_0 açısının kesin değerini hesaplamak için kullanılabilir. Hesap yöntemini biraz daha açalım;

• β_∞ izafi akış açısı ve W_∞ izafi hız değerleri;

$$\text{tg}\beta_\infty = \frac{2 \cdot V_{m2}}{U_1 + U_2 - V_{U2}} \quad (\text{Eşitlik 5/33})$$

$$W_\infty = \frac{U_1 + U_2 - V_{U2}}{2 \cdot \text{Cos}\beta_\infty} \quad (\text{Eşitlik 5/32})$$

bağıntılarından bulunur.

• β_{1k} kanat giriş açısı;

$$\beta_{1k} = \beta_1 + \delta \quad (\text{Eşitlik 5/37})$$

ile hesaplanır.

- β_{2k} kanat çıkış açısı;

$$\beta_{2k} = \beta_{\infty} + (5^{\circ} \dots 10^{\circ}) \quad (\text{Eşitlik 5/41})$$

alınır.

- β_m ortalama kanat açısı ;

$$\beta_m = \beta_c = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} \quad (\text{Eşitlik 5/35})$$

ve

- L yaklaşık kanat boyu ;

$$L \cong \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \sin \beta_m} \quad (\text{Eşitlik 5/34})$$

şeklinde hesap edilip,

- $(z \cdot L)$ taşıyıcı kanat yüzeyi;

$$(z \cdot L) = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_2 \cdot V_{U2}}{(1..1,5) \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_p' / \xi_p)} \quad (\text{Eşitlik 5/27})$$

formülünden bulunur. Bundan sonra,

- δ_o kanadın hücum açısı ;

$$\sin \delta_o = \frac{V_{U2} \cdot D_2}{z \cdot L \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_p' / \xi_p)} \quad (\text{Eşitlik 5/30})$$

hesaplanarak β_{2k} nın,

$$\beta_{2k} = \beta_{\infty} + \delta_o \quad (\text{Eşitlik 5/42})$$

geçici değeri elde edilir.

(ξ_p' / ξ_p) kaldırma katsayısı oranının bulunabilmesi için (Şekil 5.5), t/L izafi (bağıl) adımına ihtiyaç vardır. Radyal çark kaskadının “ t ” adımı her çap için farklı olduğundan, hangi çap için t/l nin hesap edileceğine karar vermek gerekir.

$$V_{Uc} \cdot U_c = \frac{V_{U2} \cdot U_2 + V_{U1} \cdot U_1}{2} \quad (5/43)$$

denklemini gerçekleştiren C noktasında ortalama kaskatsılığı tespit edilmelidir. Başka bir deyişle ; $(V_{U2} \cdot U_2)$ değerinin yarısına karşılık gelen D_c çapı üzerinde t/L oranı hesaplanmalıdır. D_c değerlerini D_1/D_2 nin fonksiyonu olarak Şekil 5.5 in sağ üst köşesinde okumak mümkündür.

Bilindiği gibi ;

β_1 — Kanat girişinde, akışkana ait giriş açısı (Şekil 5.1)

β_2 — Akışkana ait çarktan çıkış açısı (Şekil 5.1)

dır.

Bu bilgilerden sonra, $(d_1.d_2)$ akışkan ipçiğine karşılık gelen ;kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerini çizebiliriz (Şekil(5.2) :

— İzafi akış açısı;

$$tg\beta_\infty = \frac{2 \cdot V_{(mo)d}}{U_{d1} + [U_{od} - V_{(Uo)d}]} = \frac{2 \cdot V_{m2}}{U_1 + [U_2 - V_{U2}]} \quad (Eşitlik 5 / 33)$$

$$tg\beta_\infty = \frac{2 \cdot 0,167 \cdot U_2}{\{0,763 + [1 - 0,433]\} \cdot U_2} = 0,251128$$

$$\underline{\underline{\beta_\infty = 14,1^\circ = 14^\circ 06'}}$$

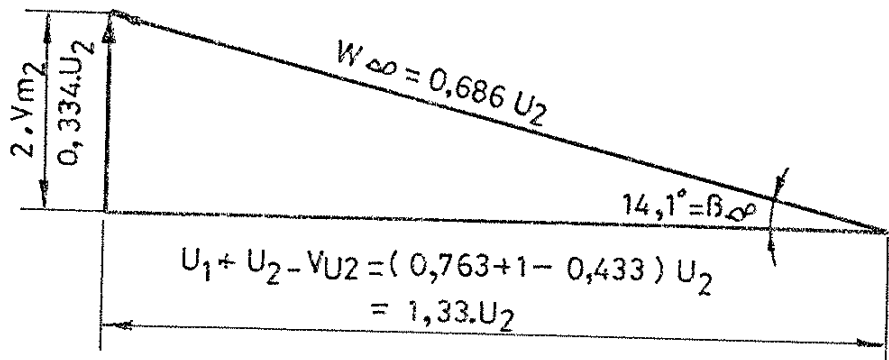
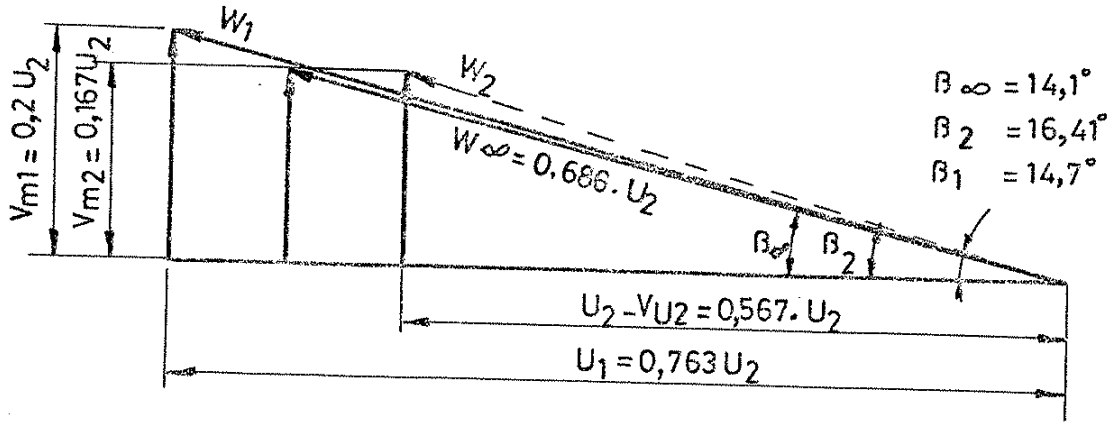
— İzafi hız ;

$$W_\infty = \frac{U_{d1} + [U_{od} - V_{(Uo)d}]}{2 \cdot \text{Cos}\beta_\infty} = \frac{U_1 + [U_2 - V_{U2}]}{2 \cdot \text{Cos}\beta_\infty} \quad (Eşitlik 5 / 32)$$

$$W_\infty = \frac{(0,763 + 1 - 0,433)}{2 \cdot \text{Cos}14,1^\circ} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{W_\infty \cong 0,686 \cdot U_2 = 0,686 \cdot 29,81 \cong 20,45 \text{ m/sn.}}}$$

β_∞ ve W_∞ değerleri, gerekli olan büyüklüklerin milimetrik ölçekle grafiğe taşınması ile de elde edilebilir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7- Grafiğe taşınmış β_∞ ve W_∞ değerleri (Hız üçgenleri).

— Kanat giriş açısı ;

Akışkanın β_1 açısı ile çarka girebilmesi için kanat giriş açısı δ° kadar büyütülmelidir.

$$\beta_{1k} = \beta_1 + \delta \quad (\text{Eşitlik 5/37})$$

$$\delta = 1,3 \quad (\text{Eşitlik 5/38})$$

seçilirse ,

$$\beta_{1k} = 14,7^\circ + 1,3^\circ$$

$$\underline{\underline{\beta_{1k} = 16^\circ}}$$

bulunur.

— Kanat çıkış açısı ;

- İlk yaklaşıklıkla β_{2k} değeri ;

$\psi = 0,5 \dots 1,1$ (Hesaplamalarımızda, $\psi = 0,78$) için,

$$\beta_{2k} = \beta_\infty + (5^\circ \dots 10^\circ) \quad (\text{Eşitlik 5/41})$$

alınabilir.

$$\beta_{2k} = 14,1^\circ + 9,9^\circ$$

$$\underline{\underline{\beta_{2k} = 24^\circ}}$$

seçilirse,

- Ortalama kanat açısı ;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} \quad (\text{Eşitlik 5/35})$$

$$\beta_m = \frac{16 + 24}{2}$$

$$\underline{\underline{\beta_m = 20^\circ}}$$

bulunur.

- Yaklaşık kanat boyu ;

$$L_{(d)} = \frac{D_{od} - D_{d1d}}{2 \cdot \sin\beta_m} = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \sin\beta_m} \quad (\text{Eşitlik 5/34})$$

$$L_{(d)} = \frac{194 - 148}{2 \cdot \sin 20^\circ}$$

$$\underline{\underline{L_{(d)} \cong 67,25 \text{ mm.}}}$$

- Kanadın izafi (*bağlı*) adımı ;

“ $t_{(d)}$ ” adımı her çap için farklı olduğundan önce, kanat izafi adımı ($t_{(d)}/L_{(d)}$) nin hesaplanacağı $D_{c(d)}$ çapını bulalım.

$$V_{(Uc)d} \cdot U_{(c)d} = \frac{V_{(Uo)d} \cdot U_{od}}{2} = \frac{V_{U2} \cdot U_2}{2} \quad (\text{Eşitlik 5/43})$$

$$\frac{V_{(Uc)d}}{V_{(Uo)d}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{od}}{U_{(c)d}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_{od}}{D_{(c)d}}$$

$$\frac{D_{(c)d} - D_{d1d}}{D_{od} - D_{d1d}} = \frac{V_{(Uc)d}}{V_{(Uo)d}} \quad (\text{Şekil 5.1 ; 5.8})$$

$$\frac{D_{(c)d} - 148}{194 - 148} = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_{od}}{D_{(c)d}}$$

$$\frac{D_{(c)d} - 148}{46} = \frac{1}{2} \cdot \frac{194}{D_{(c)d}}$$

$$D_{(c)d}^2 - 148 \cdot D_{(c)d} - 4462 = 0$$

$$D_{(c)d} = \frac{148 \mp \sqrt{148^2 + 4 \cdot 4462}}{2} = \frac{148 \mp 199,4}{2}$$

$$\underline{\underline{D_{(c)d} \cong \phi 174 \text{ mm.}}}$$

veya,

$D_{(c)d}$ değeri, k katsayısının $\frac{D_{d1d}}{D_{od}} = \frac{D_1}{D_2}$ nin fonksiyonu olarak Şekil 5.5 in sağ üst köşesindeki diyagramdan tespiti ile de bulunabilir.

$$\frac{D_{d1d}}{D_{od}} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{148}{194} = 0,763 \rightarrow k \cong 0,9$$

$$D_{(c)d} = k \cdot D_{od} = k \cdot D_2 = 0,9 \cdot 194$$

$$\underline{\underline{D_{(c)d} \cong \phi 174 \text{ mm.}}}$$

$$t_{(d)} = \frac{\pi \cdot D_{(c)d}}{z} \quad (\text{Eşitlik 5/7})$$

$$t_{(d)} = \frac{\pi \cdot 174}{7}$$

$$\underline{\underline{t_{(d)} \cong 78,1 \text{ mm.}}}$$

Kanat izafi adımı,

$$\frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = \frac{78,1}{67,25}$$

$$\frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = 1,16$$

bulunur.

- Kaldırma katsayısı oranı ;

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = 1,16 \\ \beta_m = 20^\circ \end{array} \right\} \frac{\xi_p'}{\xi_p} = 1,07 \quad (\text{Şekil 55})$$

- Hücüm açısı ,

$$\sin\delta_o = \frac{V_{(Uo)d} \cdot D_{od}}{z \cdot L_{(d)} \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_{p'} / \xi_p)} = \frac{V_{U_2} \cdot D_2}{z \cdot L_{(d)} \cdot W_{\infty} \cdot (\xi_{p'} / \xi_p)} \quad (\text{Eşitlik 5 / 30})$$

$$\sin\delta_o = \frac{194 \cdot 0,433 \cdot U_2}{7 \cdot 67,25 \cdot 0,686 \cdot U_2 \cdot 1,07} = 0,24310$$

$$\underline{\underline{\delta_o \cong 14^\circ}}$$

- Geçici β_{2k} değeri ;

$$\beta_{2k} = \beta_{\infty} + \delta_o \quad (\text{Eşitlik 5 / 42})$$

$$\beta_{2k} = 14,1^\circ + 14^\circ = 28,1^\circ$$

$$\underline{\underline{\beta_{2k} \cong 28^\circ}}$$

alınırsa;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2}$$

$$\beta_m = \frac{16^\circ + 28^\circ}{2}$$

$$\underline{\underline{\beta_m = 22^\circ}}$$

$$L_{(d)} = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \sin\beta_m} = \frac{194 - 148}{2 \cdot \sin 22^\circ}$$

$$\underline{\underline{L_{(d)} = 61,4 \text{ mm.}}}$$

$$\frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = \frac{78,1}{61,4}$$

$$\frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = 1,27$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = 1,27 \\ \beta_m = 22^\circ \end{array} \right\} \frac{\xi_P'}{\xi_P} = 1$$

$$\sin \delta_o = \frac{V_{U2} \cdot D_2}{z \cdot L_{(d)} \cdot W_\infty \cdot (\xi_P' / \xi_P)} = \frac{194 \cdot 0,433 \cdot U_2}{7 \cdot 61,4 \cdot 0,686 \cdot U_2 \cdot 1} = 0,285$$

$$\underline{\underline{\delta_o \cong 16^\circ}}$$

bulunur.

$$\beta_{2k} = \beta_\infty + \delta_o = 14,1^\circ + 16$$

$$\underline{\underline{\beta_{2k} \cong 30^\circ}}$$

alınırsa;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} = \frac{16^\circ + 30^\circ}{2}$$

$$\underline{\underline{\beta_m = 23^\circ}}$$

$$L_{(d)} = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \sin \beta_m} = \frac{194 - 148}{2 \cdot \sin 23^\circ}$$

$$\underline{\underline{L_{(d)} = 58,86 \text{ mm.}}}$$

$$\frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = \frac{78,1}{58,86}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_{(d)}}{L_{(d)}} = 1,3 \\ \beta_m = 23^\circ \end{array} \right\} \frac{\xi_P'}{\xi_P} = 1$$

$$\sin \delta_o = \frac{V_{U_2} \cdot D_2}{z \cdot L_{(d)} \cdot W_\infty \cdot (\xi_p' / \xi_p)} = \frac{194 \cdot 0,433 \cdot U_2}{7 \cdot 58,86 \cdot 0,686 \cdot U_2 \cdot 1} = 0,297$$

$$\underline{\underline{\delta_o \cong 17^\circ}}$$

bulunur.

$\delta_o = 16^\circ \rightarrow 17^\circ$ Büyük fark yok şu halde;

$$\left. \begin{array}{l} \underline{\underline{\beta_{1k} = 16^\circ}} \\ \underline{\underline{\beta_{2k} = 23^\circ}} \end{array} \right\} \underline{\underline{\beta_m = 23^\circ}}$$

$$\underline{\underline{L_{(d)} = 58,86 \text{ mm}}}$$

değerleri kabul edilebilir.

$$U_{d1} = U_1 = 0,763 \cdot U_2$$

$$V_{md1} = V_{m1} = 0,2 \cdot U_2$$

$$\beta_{1k} = 16^\circ$$

$$U_{od} = U_2$$

$$V_{(mo)d} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2$$

$$\beta_{2k} = 30^\circ$$

Hesaplanan bu değerler, (d_1-d_2) akışkan ipçığıne karşılık gelen ; Kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi için yeterlidir (*Şekil 5.2*)

Çizim için Aşağıdaki sıra izlenebilir. (Şekil 5.2):

- 1• - $V_{m1} = 0,2 \cdot U_2$ hızını düşey üzerine yatıralım. U_1 in ucundan itibaren $\beta_{1k} = 16^\circ$ açısını çizelim ve V_{m1} 'i U_1 'e dik olarak taşıyalım. İki doğrunun ara kesiti giriş hız üçgenini çizmeye imkan verir (Kanatlar arasında sapma, yani sirkülasyon olmasaydı gerçek hız üçgeni bu üçgene karşılık gelirdi).
- 2• - Aynı şekilde $V_{m2} = 0,167 \cdot U_2$ hızını düşey üzerine yatıralım. U_2 nin ucundan itibaren $(\beta_{\infty} + \delta_o) = \beta_{2k} = 30^\circ$ açısını çizelim ve V_{m2} yi U_2 ye dik olarak taşıyalım. İki doğrunun ara kesiti çıkış hız üçgenini çizmeye imkân verir.
- 3• - V_{m1} ve V_{m2} nin uç noktalarını bir doğru ile birleştirelim. V_m meridyen hızları çark girişi ile çıkışı arasında lineer olarak değişeceğine göre V_{m1} ve V_{m2} nin U_1 ve U_2 üzerindeki noktalarını da bir doğru ile birleştirelim. Bu doğru ile $\phi 148, \phi 150, \phi 156, \phi 166, \phi 179$ ve $\phi 194$ mm. çaplarına karşılık gelen U hızlarının kesim noktaları, $V_{m1} \dots V_{m2}$ meridyen hızlarının başlangıç noktalarıdır. Bu noktalardan U hızların çizilen dikler ile V_{m1} ve V_{m2} nin uçlarını birleştiren doğru kesiştirilirse, $V_{m1} \dots V_{m2}$ nin uç noktaları elde edilir. Bu kesim noktalarını U hızlarının uç noktaları ile birleştiren doğrular 1,2,3,v.s noktaları için kanat açıları belirler.
- 4• - Kanat açılarına belirleyen üçgenler gerçek açıları verirler, yani ait oldukları noktalarda ipçiklere teğet olan düzlemler içinde çizilmişlerdir.
- 5• - Çizilen hız üçgenlerinden herhangi bir r yarıçapına karşılık gelen β_k kanat açıları:

$L_m (=10 \text{ mm})$ 'e karşılık gelen noktalar	$o(d_2)$	1	2	3	4	d_1
Çap : $D[\text{mm}]$	194	179	166	156	150	148
$(d_1 - d_2)$ Kanat açısı : β_k	30° (β_{2k})	23°	20°	$17^\circ 40'$	$16^\circ 40'$	16° (β_{1k})

kolayca okunur.

β_{1k} — Kanat giriş açısı

β_{2k} — Kanat çıkış açısı

5.4 - ($i_1 - i_2$) akışkan ipçğine ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi (Şekil 5.9):

— Çıkış çevresel (teğetsel) hızı ;

$$U_{oi} = \frac{\pi \cdot D_{oi} \cdot n}{60} \quad (\text{Eşitlik 4 / 3})$$

$$U_{oi} = \frac{\pi \cdot 0,183 \cdot 2935}{60}$$

$$\underline{\underline{U_{oi} = 28,123 \text{ m / sn.}}}$$

$$\frac{U_{oi}}{U_{od}(=U_2)} = \frac{D_{oi}}{D_{od}} = \frac{28,123}{29,81} = \frac{183}{194}$$

$$\underline{\underline{U_{oi} = 0,94 \cdot U_{od} = 0,94 \cdot U_2}}$$

—Giriş Çevresel hızı ;

$$U_{i1} = \frac{D_{i1i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{72}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{i1} = 0,37 \cdot U_2 = 0,37 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{i1} = 11 \text{ m/ sn.}}}$$

—Giriş meridyen hızı ;

$$V_{mi1} = V_{ml} = 6 \text{ m/ sn.}$$

$$V_{mi1} = V_{ml} = \frac{V_{ml}}{U_2} \cdot U_2 = \frac{6}{29,81} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{mi1} = V_{ml} = 0,2 \cdot U_2}}$$

—Çıkış meridyen hızı ;

$$V_{(mo)i} = V_{m2} = 5 \text{ m/ sn.}$$

$$V_{(mo)i} = V_{m2} = \frac{V_{m2}}{U_2} \cdot U_2 = \frac{5}{29,81} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(mo)i} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2}}$$

—Çıkış teğetsel hız bileşeni ;

Kanatların giriş ve çıkış kenarları birer eşpotansiyel eğridir. Dolayısıyla bu eğriler üzerinde bütün ipçikler için, $(r \cdot V_{U2})$ çarpımı aynı değere sahiptir. Öyle ise;

$$(D \cdot V_{U_2})_d = (D \cdot V_{U_2})_i = (D \cdot V_{U_2})_a \quad (5/44)$$

bağıntısı yazılabilir.

$$D_{od} \cdot V_{(Uo)d} = D_{oi} \cdot V_{(Uo)i}$$

$$V_{(Uo)i} = \frac{194}{183} \cdot 0,433 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(Uo)i} = 0,46 \cdot U_2}}$$

bulunur.

— Akışkana ait $\beta_{ili} = \beta_1$ giriş açısı ;

$$tg\beta_{il} = \frac{V_{m1}}{U_{i1}} \quad (Eşitlik 5/11)$$

$$tg\beta_{il} = \frac{0,2 \cdot U_2}{0,37 \cdot U_2} = 0,5405$$

$$\underline{\underline{\beta_{il} = \beta_1 = 28,39^\circ = 28^\circ 23' 24''}}$$

— Akışkana ait $\beta_{oi} = \beta_2$ çıkış açısı veya akışkana ait çarktan çıkış açısı ;

$$tg\beta_{oi} = \frac{V_{(mo)i}}{U_{oi} - V_{(uo)i}} \quad (Eşitlik 5/11)$$

$$tg\beta_{oi} = \frac{0,167 \cdot U_2}{0,94 \cdot U_2 - 0,46 \cdot U_2} = 0,3479$$

$$\underline{\underline{\beta_{oi} = \beta_2 = 19,18^\circ = 19^\circ 10' 48''}}$$

$$\left. \begin{aligned}
 V_{m1} = V_{m2} &= 0,2 \cdot U_2 \\
 V_{(mo)i} = V_{m2} &= 0,167 \cdot U_2 \\
 V_{(uo)i} &= 0,46 \cdot U_2 \\
 U_{oi} &= 0,94 \cdot U_2
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Hesaplanan bu değerler, giriş ve çıkış} \\ \text{hız üçgenlerinin çizimi için yeterlidir (şekil} \\ \text{5.9)} \end{array}$$

Çizim için, ($d_1 - d_2$) akışkan ipçiğine ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimindeki (şekil 5.1) sıra izlenebilir.

Hız üçgenleri bilindiğine göre, herhangi r yarıçapına ait β açıları (akışkana ait) kolayca bulunur.

5.5- (i_1-i_2) akışkan ipçiğine ait büyüklüklerin nokta nokta (şekil 6.1) hesabı (şekil 5.9) :

— (1) noktası, $D_{1i} = \phi 165$ mm. ;

- Çevresel (teğetsel) hız;

$$U_{1i} = \frac{D_{1i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{165}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{1i} = 0,85 \cdot U_2 = 0,85 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{1i} \cong 25,34 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(ul)i} = \frac{D_{1i} - D_{1i'}}{D_{oi} - D_{1i'}} \cdot V_{(uo)i} = \frac{165 - 72}{183 - 72} \cdot 0,46 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(ul)i} = 0,385 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 77 \text{ mm} \rightarrow \frac{77}{200} \cdot U_2 = 0,385 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(ml)i} = 0,17 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen : } 34 \text{ mm.})$$

- β_{1i} açısı ;

$$\operatorname{tg}\beta_{1i} = \frac{V_{(ml)i}}{U_{1i} - V_{(ul)i}} = \frac{0,17 \cdot U_2}{0,85 \cdot U_2 - 0,385 \cdot U_2} = 0,3656$$

$$\underline{\underline{\beta_{1i} \cong 20^\circ}}$$

— (2) noktası, $D_{2i} = \phi 148$ mm. ;

- Çevresel (teğetsel) hız;

$$U_{2i} = \frac{D_{2i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{148}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{2i} = 0,76 \cdot U_2 = 0,76 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{2i} \cong 22,66 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u2)i} = \frac{D_{2i} - D_{1i}}{D_{oi} - D_{1i}} \cdot V_{(uo)i} = \frac{148 - 72}{183 - 72} \cdot 0,46 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u2)i} = 0,315 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen } 63. \text{ mm} \rightarrow 0,385 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$V_{(m2)i} = 0,175 \cdot U_2 \quad (\text{Ölçülen: } 35 \text{ mm})$$

- β_{2i} açısı ;

$$\operatorname{tg}\beta_{2i} = \frac{V_{(m2)i}}{U_{2i} - V_{(u2)i}} = \frac{0,175 \cdot U_2}{0,76 \cdot U_2 - 0,315 \cdot U_2} = 0,3932$$

$$\underline{\underline{\beta_{2i} \cong 21,47^\circ = 21^\circ 28' 12''}}$$

— (3) noktası, $D_{3i} = \phi 132$ mm. ;

- Çevresel (*teğetsel*) hız;

$$U_{3i} = \frac{D_{3i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{132}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{3i} = 0,68 \cdot U_2 = 0,68 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{3i} \cong 20,27 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u3)i} = \frac{D_{3i} - D_{fi}}{D_{oi} - D_{fi}} \cdot V_{(uo)i} = \frac{132 - 72}{183 - 72} \cdot 0,46 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u3)i} = 0,248 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen } 50. \text{ mm} \rightarrow 0,25 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$V_{(m3)i} = 0,18 \cdot U_2 \quad (\text{Ölçülen: } 36 \text{ mm})$$

- β_{3i} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{3i} = \frac{V_{(m3)i}}{U_{3i} - V_{(u3)i}} = \frac{0,18 \cdot U_2}{0,68 \cdot U_2 - 0,248 \cdot U_2} = 0,4167$$

$$\underline{\underline{\beta_{3i} \cong 22,62^\circ = 22^\circ 37' 12''}}$$

— (4) noktası, $D_{4i} = \phi 116$ mm. ;

- Çevresel (*teğetsel*) hız;

$$U_{4i} = \frac{D_{4i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{116}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{4i} = 0,596 \cdot U_2 = 0,596 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{4i} \cong 17,77 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u4)i} = \frac{D_{4i} - D_{fl_i}}{D_{oi} - D_{fl_i}} \cdot V_{(uo)i} = \frac{116 - 72}{183 - 72} \cdot 0,46 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u4)i} = 0,182 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen } 36 \text{ mm} \rightarrow 0,18 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m4)i} = 0,1875 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 37,5 \text{ mm})$$

- β_{4i} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{4i} = \frac{V_{(m4)i}}{U_{4i} - V_{(u4)i}} = \frac{0,1875 \cdot U_2}{0,596 \cdot U_2 - 0,182 \cdot U_2} = 0,4529$$

$$\underline{\underline{\beta_{4i} \cong 24,36^\circ = 24^\circ 21' 36''}}$$

— (5) noktası, $D_{5i} = \phi 102$ mm. ;

- Çevresel (teğetsel) hız;

$$U_{5i} = \frac{D_{5i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{102}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{5i} = 0,524 \cdot U_2 = 0,524 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{5i} \cong 15,62 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u5)i} = \frac{D_{5i} - D_{fl_i}}{D_{oi} - D_{fl_i}} \cdot V_{(uo)i} = \frac{102 - 72}{183 - 72} \cdot 0,46 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u5)i} = 0,124 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen } 25 \text{ mm} \rightarrow 0,125 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m\delta)_i} = 0,19 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 38 \text{ mm})$$

- β_{5i} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{5i} = \frac{V_{(m\delta)_i}}{U_{5i} - V_{(u\delta)_i}} = \frac{0,19 \cdot U_2}{0,524 \cdot U_2 - 0,124 \cdot U_2} = 0,475$$

$$\underline{\underline{\beta_{5i} \cong 25,4^\circ = 25^\circ 24'}}$$

— (6) noktası, $D_{6i} = \phi 88 \text{ mm}$. ;

- Çevresel (*teğetsel*) hız;

$$U_{6i} = \frac{D_{6i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{88}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{6i} = 0,45 \cdot U_2 = 0,45 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{6i} \cong 13,4 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u\delta)_i} = \frac{D_{6i} - D_{il_i}}{D_{oi} - D_{il_i}} \cdot V_{(uo)_i} = \frac{88 - 72}{183 - 72} \cdot 0,46 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u\delta)_i} = 0,066 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen } 13,2 \text{ mm} \rightarrow 0,066 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m\delta)_i} = 0,1925 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 38,5 \text{ mm})$$

- β_{6i} açısı ;

$$\operatorname{tg}\beta_{6i} = \frac{V_{(m6)i}}{U_{6i} - V_{(u6)i}} = \frac{0,1925 \cdot U_2}{0,45 \cdot U_2 - 0,066 \cdot U_2} = 0,5013$$

$$\underline{\underline{\beta_{6i} \cong 26,6^\circ = 26^\circ 36'}}$$

— (7) noktası, $D_{7i} = \phi 76$ mm. ;

- Çevresel (*teğetsel*) hız;

$$U_{7i} = \frac{D_{7i}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{76}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$$

$$U_{7i} = 0,39 \cdot U_2 = 0,39 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{7i} \cong 11,62 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u7)i} = \frac{D_{7i} - D_{i1i}}{D_{oi} - D_{i1i}} \cdot V_{(uo)i} = \frac{76 - 72}{183 - 72} \cdot 0,46 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u7)i} = 0,0166 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen } 3,2 \text{ mm} \rightarrow 0,016 \cdot U_2)$$

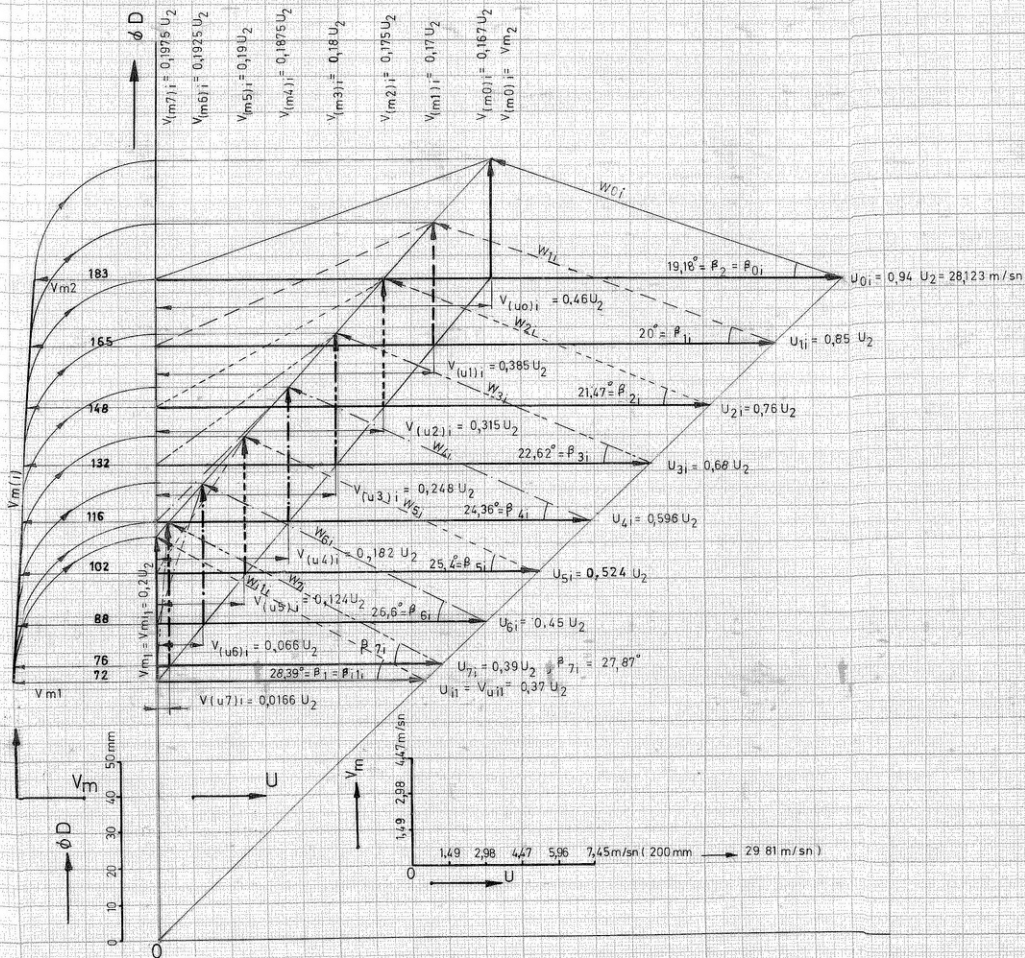
- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m7)i} = 0,1975 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 39,5 \text{ mm})$$

- β_{7i} açısı ;

$$\operatorname{tg}\beta_{7i} = \frac{V_{(m7)i}}{U_{7i} - V_{(u7)i}} = \frac{0,1975 \cdot U_2}{0,39 \cdot U_2 - 0,0166 \cdot U_2} = 0,4529$$

$$\underline{\underline{\beta_{7i} \cong 27,87^\circ = 27^\circ 52' 12''}}$$



Sekil 5.9- $(i_1 - i_2)$ akışkan içiğine ait giriş ve çıkış hız üçgenleri (Akışkana ait β açıları)

5.6- (i_1-i_2) akışkan ipçığıne karşılık gelen, kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi (Şekil 5.10):

—İzafi akış açısı ;

$$tg\beta_{\infty} = \frac{2 \cdot V_{(m\theta)i}}{U_{i1} + [U_{oi} - V_{(U\theta)i}]} \quad (\text{Eşitlik 5 / 33})$$

$$tg\beta_{\infty} = \frac{2 \cdot 0,167 \cdot U_2}{0,37 \cdot U_2 + [0,94 - 0,46] \cdot U_2} \cong 0,393$$

$$\underline{\underline{\beta_{\infty} = 21,45^{\circ} = 21^{\circ} 27'}}$$

— İzafi hız;

$$W_{\infty} = \frac{U_{i1} + [U_{oi} - V_{(U\theta)i}]}{2 \cdot \text{Cos}\beta_{\infty}} \quad (\text{Eşitlik 5 / 32})$$

$$W_{\infty} = \frac{0,37 \cdot U_2 + (0,94 - 0,46) \cdot U_2}{2 \cdot \text{Cos}21,45^{\circ}}$$

$$\underline{\underline{W_{\infty} = 0,457 \cdot U_2}}$$

β_{∞} ve W_{∞} değerleri, gerekli olan büyüklüklerin milimetrik ölçekle grafiğe taşınması ile de elde edilebilir. (Şekil 5.11).

—Kanat giriş açısı ;

$$\beta_{1k} = \beta_1 + \delta \quad (\text{Eşitlik 5 / 37})$$

$$\beta_{1k} = 28,39^{\circ} + 0,61^{\circ} \quad (\text{Seçilen})$$

$$\underline{\underline{\beta_{1k} = 29^{\circ}}}$$

— Kanat çıkış açısı ;

- İlk yaklaşıklıkla β_{2k} değeri ;

$$\beta_{2k} = \beta_{\infty} + (5^{\circ} \dots 10^{\circ}) \quad (\text{Eşitlik 5 / 41})$$

$$\beta_{2k} = 21,45^\circ + 9,55^\circ \text{ (Seçilen)}$$

$$\beta_{2k} = 31^\circ$$

— Ortalama kanat açısı ;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} \quad (\text{Eşitlik 5 / 35})$$

$$\beta_m = \frac{29^\circ + 31^\circ}{2}$$

$$\beta_m = 30^\circ$$

— Yaklaşık kanat boyu ;

$$L_{(i)} = \frac{D_{oi} - D_{ii}}{2 \cdot \sin \beta_m} \quad (\text{Eşitlik 5 / 34})$$

$$L_{(i)} = \frac{183 - 72}{2 \cdot \sin 30^\circ}$$

$$L_{(i)} = 111 \text{ mm.}$$

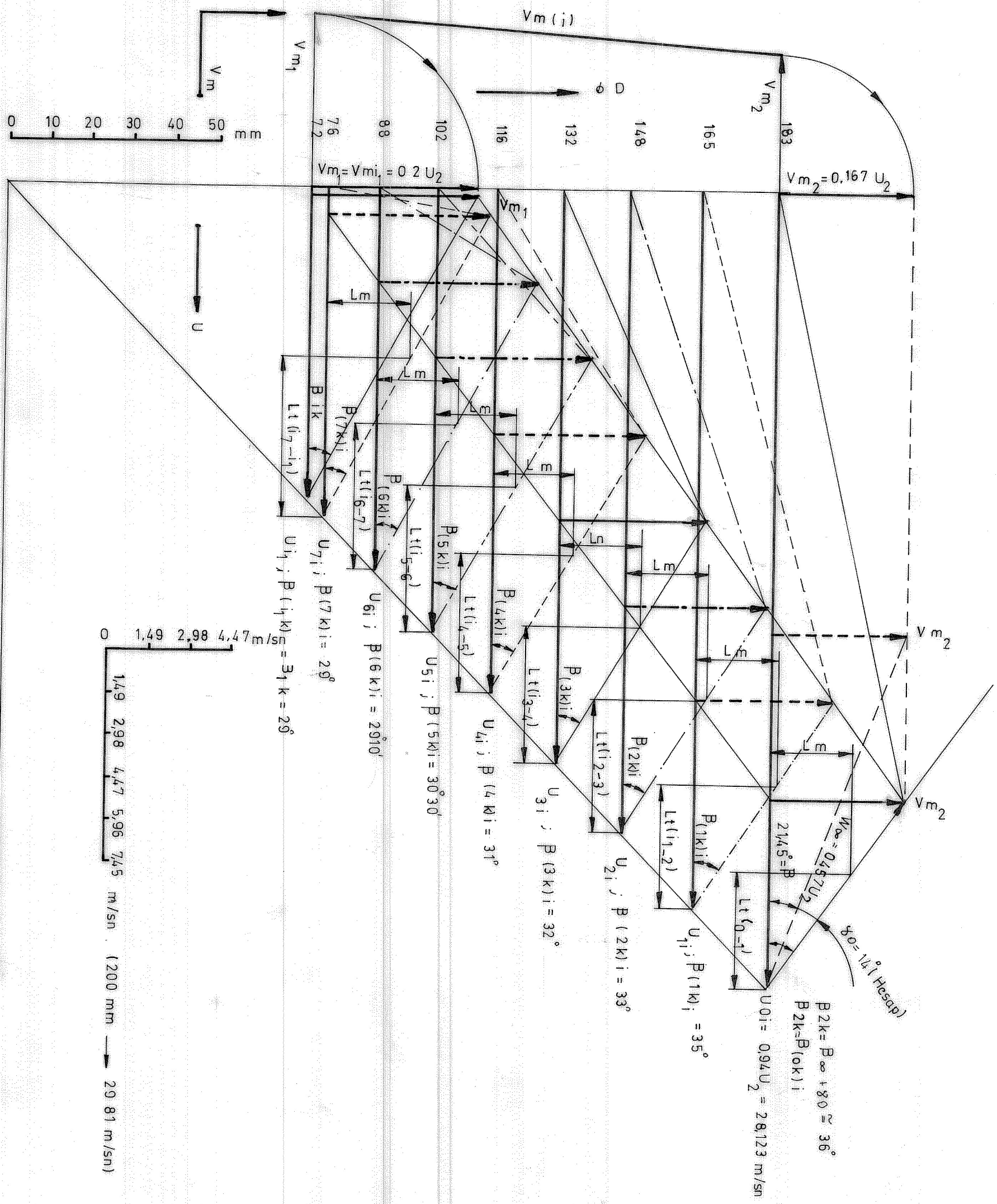
— Kanadın izafi (bağlı) adımı ;

$$\left. \begin{aligned} \frac{D_{ii}}{D_{oi}} = \frac{72}{183} = 0,39 \rightarrow k = 0,77 \\ D_{(c)i} = k \cdot D_{oi} \end{aligned} \right\} (\text{Şekil 5.5})$$

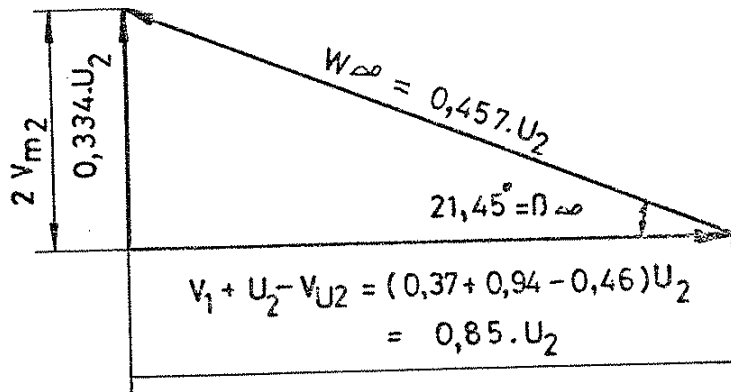
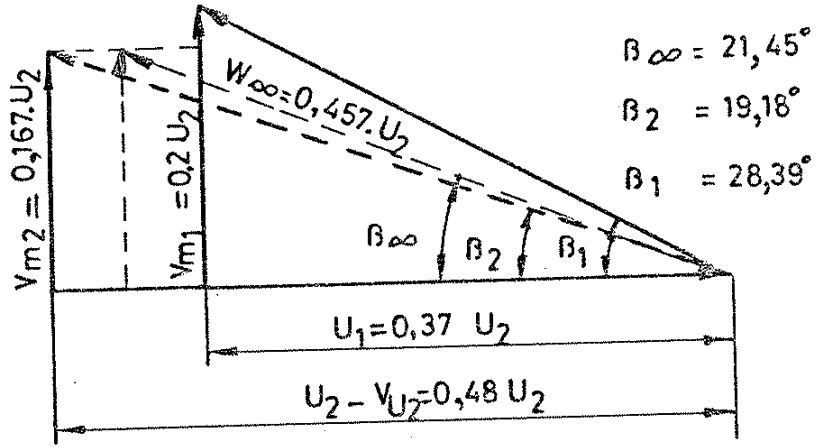
$$D_{(c)i} = 0,78 \cdot 183$$

$$\underline{\underline{D_{(c)i} \cong \phi 143 \text{ mm}}}$$

$$t_{(i)} = \frac{\pi \cdot D_{(c)i}}{Z} \quad (\text{Eşitlik 5 / 7})$$



Şekil 5-10 $(I_1 - I_2)$ akışkan içiğine karşılık gelen kanat giriş ve çıkış hız üçgenleri (kanada ait B_k kanat açıları)



Şekil 5.11- Grafiğe taşınmış β_{∞} ve W_{∞} değerleri (Hız üçgenleri).

$$t_{(i)} = \frac{\pi \cdot 143}{7}$$

$$\underline{\underline{t_{(i)} \cong 64,18 \text{ mm.}}}$$

$$\frac{t_{(i)}}{L_{(i)}} = \frac{64,18}{111}$$

$$\frac{t_{(i)}}{L_{(i)}} \cong 0,58$$

- Kaldırma katsayısı oranı ;

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_{(i)}}{L_{(i)}} = 0,58 \\ \beta_m = 30^\circ \end{array} \right\} \frac{\xi_P'}{\xi_P} \cong 1 \quad (\text{Şekil 55})$$

- Hücüm açısı ;

$$\text{Sin} \delta_o = \frac{D_{oi} \cdot V_{(Uo)i}}{z \cdot L_{(i)} \cdot W_\infty \cdot (\xi_P' / \xi_P)} \quad (\text{Eşitlik 5 / 30})$$

$$\text{Sin} \delta_o = \frac{183 \cdot 0,46 \cdot U_2}{7 \cdot 111 \cdot 0,457 \cdot U_2 \cdot 1} = 0,237$$

$$\underline{\underline{\delta_o \cong 14^\circ}}$$

- Geçici β_{2k} değeri ;

$$\beta_{2k} = \beta_\infty + \delta_o \quad (\text{Eşitlik 5 / 42})$$

$$\beta_{2k} = 21,45^\circ + 14^\circ = 35,45^\circ$$

$$\underline{\underline{\beta_{2k} \cong 36^\circ}}$$

alınırsa;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} = \frac{29^\circ + 36^\circ}{2}$$

$$\beta_m = 32,5^\circ = 32^\circ 30'$$

$$L_{(i)} = \frac{D_{oi} - D_{ili}}{2 \cdot \sin \beta_m} = \frac{183 - 72}{2 \cdot \sin 32,5^\circ}$$

$$L_{(i)} = 103,3 \text{ mm.}$$

$$\frac{t_{(i)}}{L_{(i)}} = \frac{64,18}{103,3}$$

$$\frac{t_{(i)}}{L_{(i)}} = 0,62$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_{(i)}}{L_{(i)}} = 0,62 \\ \beta_m = 32,5^\circ \end{array} \right\} \frac{\xi_P'}{\xi_P} = 0,95$$

$$\sin \delta_o = \frac{D_{oi} \cdot V_{(Uo)i}}{z \cdot L_{(i)} \cdot W_\infty \cdot (\xi_P' / \xi_P)} = \frac{183 \cdot 0,46 \cdot U_2}{7 \cdot 103,3 \cdot 0,457 \cdot U_2 \cdot 0,95} = 0,268$$

$$\delta_o \cong 15,5^\circ$$

bulunur.

$$\delta_o = 14^\circ \rightarrow 15,5^\circ$$

Büyük fark yok, şu halde ;

$$\left. \begin{array}{l} \underline{\underline{\beta_{1k} = 29^\circ}} \\ \underline{\underline{\beta_{2k} = 36^\circ}} \end{array} \right\} \underline{\underline{\beta_m = 32,5^\circ}}$$

$$\underline{\underline{L_{(i)} = 103,3 \text{ mm}}}$$

değerleri kabul edilebilir.

$$\begin{array}{l}
 U_{1i} = 0,37 \cdot U_2 \\
 V_{m1} = V_{m2} = 0,2 \cdot U_2 \\
 \beta_{1k} = 29^\circ \\
 U_{oi} = 0,94 \cdot U_2 \\
 V_{(m\circ)i} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 \\
 \beta_{2k} = 36^\circ
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} U_{1i} = 0,37 \cdot U_2 \\ V_{m1} = V_{m2} = 0,2 \cdot U_2 \\ \beta_{1k} = 29^\circ \\ U_{oi} = 0,94 \cdot U_2 \\ V_{(m\circ)i} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 \\ \beta_{2k} = 36^\circ \end{array}} \right\} \text{Hesaplanan bu değerler, } (i_1-i_2) \text{ akışkan ipçiğine karşılık gelen ; Kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi için yeterlidir (Şekil 5.10)}$$

Çizim için, (d_1-d_2) akışkan ipçiğine karşılık gelen; kanat giriş ve çıkış üçgenlerinin çizimindeki (Şekil 5.2) sıra izlenebilir.

Çizilen hız üçgenlerinden herhangi bir r yarıçapına karşılık gelen β_k kanat açıları :

$L_m (=10 \text{ mm})$ 'e karşılık gelen noktalar	$o(i_2)$	1	2	3	4	5	6	7	i_1
Çap : $D[\text{mm}]$	183	165	148	132	116	102	88	76	72
$(i_1 - i_2)$ Kanat açısı : β_k	36° (β_{2k})	35°	33°	32°	31°	$30^\circ 30'$	$29^\circ 10'$	29°	29° (β_{1k})

kolayca okunur.

β_{1k} — Kanat giriş açısı

β_{2k} — Kanat ıkış açısı

5.7 - $(a_1 - a_2)$ akışkan ipçiğine ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi (Şekil 5.12) :

— ıkış çevresel (teğetsel) hızı ;

$$U_{oa} = \frac{\pi \cdot D_{oa} \cdot n}{60} \quad (\text{Eşitlik 4 / 3})$$

$$U_{oa} = \frac{\pi \cdot 0,1885 \cdot 2935}{60}$$

$$\underline{\underline{U_{oa} \cong 28,9 \text{ m / sn.}}}$$

$$\frac{U_{oa}}{U_{od}(=U_2)} = \frac{D_{oa}}{D_{od}} = \frac{28,9}{29,81} \cong \frac{188,5}{194}$$

$$\underline{\underline{U_{oa} \cong 0,97 \cdot U_{od} \cong 0,97 \cdot U_2}}$$

—Giriş Çevresel hızı ;

$$U_{a1} = \frac{D_{a1a}}{D_{oa}} \cdot U_{oa} = \frac{110}{188,5} \cdot 0,97 \cdot U_2$$

$$U_{a1} = 0,567 \cdot U_2 = 0,567 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{a1} = 16,9 \text{ m/ sn.}}}$$

—Giriş meridyen hızı ;

$$V_{ma1} = V_{m1} = 6 \text{ m/ sn.}$$

$$V_{ma1} = V_{m1} = \frac{V_{m1}}{U_2} \cdot U_2 = \frac{6}{29,81} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{ma1} = V_{m1} = 0,2 \cdot U_2}}$$

—Çıkış meridyen hızı ;

$$V_{(mo)a} = V_{m2} = 5 \text{ m/ sn.}$$

$$V_{(mo)a} = V_{m2} = \frac{V_{m2}}{U_2} \cdot U_2 = \frac{5}{29,81} \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(mo)a} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2}}$$

—Çıkış teğetsel hız bileşeni ;

$$(D \cdot V_{U2})_d = (D \cdot V_{U2})_i = (D \cdot V_{U2})_a \quad (\text{Eşitlik 5.44})$$

$$D_{od} \cdot V_{(Uo)d} = D_{oa} \cdot V_{(Uo)a}$$

$$V_{(Uo)a} = \frac{194}{188,5} \cdot 0,433 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(Uo)a} = 0,447 \cdot U_2}}$$

bulunur.

— Akışkana ait $\beta_{a1a} = \beta_1$ giriş açısı ;

$$tg\beta_{a1a} = \frac{V_{m1}}{U_{a1}} \quad (\text{Eşitlik 5/10})$$

$$tg\beta_{a1a} = \frac{0,2 \cdot U_2}{0,567 \cdot U_2} = 0,3527$$

$$\underline{\underline{\beta_{a1a} = \beta_1 = 19,43^\circ = 19^\circ 25' 48''}}$$

— Akışkana ait $\beta_{oa} = \beta_2$ çıkış açısı veya akışkana ait çarktan çıkış açısı ;

$$tg\beta_{oa} = \frac{V_{(mo)a}}{U_{oa} - V_{(uo)a}} \quad (\text{Eşitlik 5/11})$$

$$tg\beta_{oa} = \frac{0,167 \cdot U_2}{0,97 \cdot U_2 - 0,447 \cdot U_2} = 0,31931$$

$$\underline{\underline{\beta_{oa} = \beta_2 = 17,71^\circ = 17^\circ 42' 36''}}$$

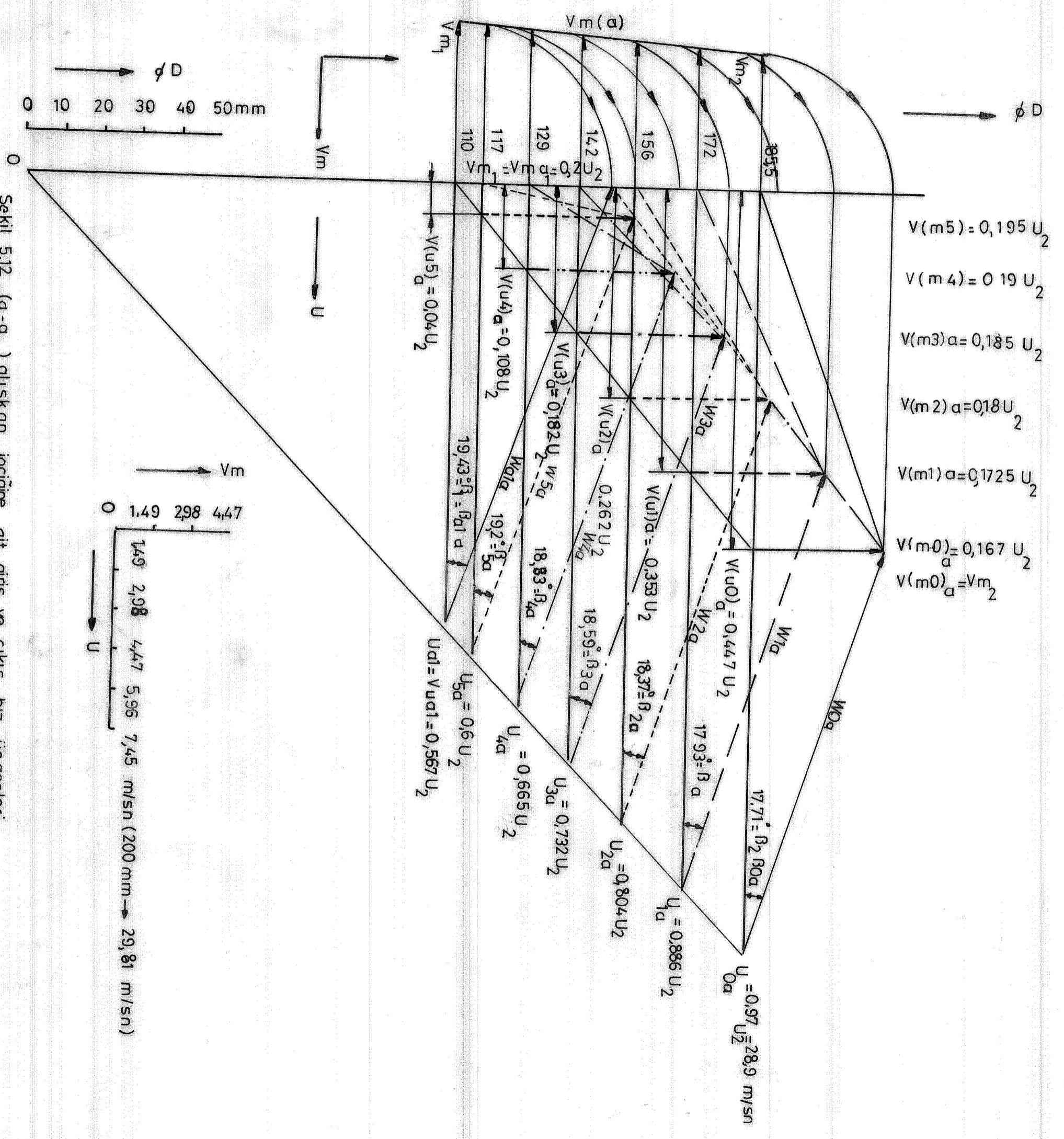
$$V_{m1} = V_{m1} = 0,2 \cdot U_2$$

$$V_{(mo)a} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2$$

$$V_{(uo)a} = 0,447 \cdot U_2$$

$$U_{oa} = 0,97 \cdot U_2$$

Hesaplanan bu değerler, giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi için yeterlidir (Şekil 5.12).



Sekil 5.12 - (α_1, α_2) aliskan ipcigne ait giris ve cikis hiz ucgenleri

Çizim için, (d_1-d_2) akışkan ipçığıne ait giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimindeki (Şekil 5.1) sıra izlenebilir.

Hız üçgenleri bilindiğine göre, herhangi r yarıçapına ait β açıları (akışkana ait) kolayca bulunur.

5.8 - (a_1-a_2) akışkan ipçığıne ait büyüklüklerin nokta nokta (Şekil 6.1) hesabı (Şekil 5.12) :

— (1) noktası, $D_{1a} = \phi 172$ mm. ;

- Çevresel (teğetsel) hız;

$$U_{1a} = \frac{D_{1a}}{D_{oa}} \cdot U_{oa} = \frac{172}{188,5} \cdot 0,97 \cdot U_2$$

$$U_{1a} = 0,886 \cdot U_2 = 0,886 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{1a} = 26,4 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(ul)a} = \frac{D_{1a} - D_{a1a}}{D_{oa} - D_{a1a}} \cdot V_{(uo)a} = \frac{172 - 110}{188,5 - 110} \cdot 0,447 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(ul)a} = 0,353 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 71 \text{ mm} \rightarrow \frac{71}{200} \cdot U_2 = 0,355 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(ml)a} = 0,1725 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 34,5 \text{ mm})$$

- β_{1a} açısı ;

$$\text{tg} \beta_{1a} = \frac{V_{(ml)a}}{U_{1a} - V_{(ul)a}} = \frac{0,1725 \cdot U_2}{0,886 \cdot U_2 - 0,353 \cdot U_2} = 0,32364$$

$$\underline{\underline{\beta_{1a} = 17,93^\circ = 17^\circ 55' 48''}}$$

— (2) noktası, $D_{2a} = \phi 156$ mm. ;

- Çevresel (*teğetsel*) hız;

$$U_{2a} = \frac{D_{2a}}{D_{oa}} \cdot U_{oa} = \frac{156}{188,5} \cdot 0,97 \cdot U_2$$

$$U_{2a} = 0,804 \cdot U_2 = 0,804 \cdot 29,81$$

$$\underline{\underline{U_{2a} = 23,96 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u2)a} = \frac{D_{2a} - D_{a1a}}{D_{oa} - D_{a1a}} \cdot V_{(uo)a} = \frac{156 - 110}{188,5 - 110} \cdot 0,447 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u2)a} = 0,262 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 52 \text{ mm} \rightarrow \frac{52}{200} \cdot U_2 = 0,26 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m2)a} = 0,18 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 36 \text{ mm})$$

- β_{2a} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{2a} = \frac{V_{(m2)a}}{U_{2a} - V_{(u2)a}} = \frac{0,18 \cdot U_2}{0,804 \cdot U_2 - 0,262 \cdot U_2} = 0,3321$$

$$\underline{\underline{\beta_{2a} = 18,37^\circ = 18^\circ 22' 12''}}$$

— (3) noktası, $D_{3a} = \phi 142$ mm. ;

- Çevresel (*teğetsel*) hız;

$$U_{3a} = \frac{D_{3a}}{D_{oa}} \cdot U_{oa} = \frac{142}{188,5} \cdot 0,97 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{U_{3a} = 0,732 \cdot U_2 = 0,732 \cdot 29,81 = 21,82 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u3)a} = \frac{D_{3a} - D_{a1a}}{D_{oa} - D_{a1a}} \cdot V_{(uo)a} = \frac{142 - 110}{188,5 - 110} \cdot 0,447 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(a3)a} = 0,182 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 36,5 \text{ mm} \rightarrow \frac{36,5}{200} \cdot U_2 = 0,182 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m3)a} = 0,185 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 37 \text{ mm})$$

- β_{3a} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{3a} = \frac{V_{(m3)a}}{U_{3a} - V_{(u3)a}} = \frac{0,185 \cdot U_2}{0,732 \cdot U_2 - 0,182 \cdot U_2} = 0,3364$$

$$\underline{\underline{\beta_{3a} = 18,59^\circ = 18^\circ 35' 24''}}$$

— (4) noktası, $D_{4a} = \phi 129 \text{ mm.}$;

- Çevresel (teğetsel) hız;

$$U_{4a} = \frac{D_{4a}}{D_{oa}} \cdot U_{oa} = \frac{129}{188,5} \cdot 0,97 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{U_{4a} = 0,665 \cdot U_2 = 0,665 \cdot 29,81 = 19,82 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u4)a} = \frac{D_{4a} - D_{a1a}}{D_{oa} - D_{a1a}} \cdot V_{(uo)a} = \frac{129 - 110}{188,5 - 110} \cdot 0,447 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u4)a} = 0,108 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 21 \text{ mm} \rightarrow \frac{21}{200} \cdot U_2 = 0,105 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m4)a} = 0,19 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 38 \text{ mm})$$

- β_{4a} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{4a} = \frac{V_{(m4)a}}{U_{4a} - V_{(u4)a}} = \frac{0,19 \cdot U_2}{0,665 \cdot U_2 - 0,108 \cdot U_2} = 0,341$$

$$\underline{\underline{\beta_{4a} = 18,83^\circ = 18^\circ 49' 48''}}$$

— (5) noktası, $D_{5a} = \phi 117 \text{ mm}$;

- Çevresel (*teğetsel*) hız;

$$U_{5a} = \frac{D_{5a}}{D_{oa}} \cdot U_{oa} = \frac{117}{188,5} \cdot 0,97 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{U_{5a} = 0,6 \cdot U_2 = 0,6 \cdot 29,81 = 17,86 \text{ m/ sn.}}}$$

- Teğetsel hız bileşeni ;

$$V_{(u5)a} = \frac{D_{5a} - D_{a1a}}{D_{oa} - D_{a1a}} \cdot V_{(uo)a} = \frac{117 - 110}{188,5 - 110} \cdot 0,447 \cdot U_2$$

$$\underline{\underline{V_{(u5)a} = 0,04 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 8 \text{ mm} \rightarrow \frac{8}{200} \cdot U_2 = 0,04 \cdot U_2)$$

- Meridyen hız ;

$$\underline{\underline{V_{(m5)a} = 0,195 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 39 \text{ mm})$$

- β_{5a} açısı ;

$$\text{tg}\beta_{5a} = \frac{V_{(m5)a}}{U_{5a} - V_{(u5)a}} = \frac{0,195 \cdot U_2}{0,6 \cdot U_2 - 0,04 \cdot U_2} = 0,3482$$

$$\underline{\underline{\beta_{5a} = 19,2^\circ = 19^\circ 12'}}$$

5.9 - (a_1 - a_2) akışkan ipçiğine karşılık gelen, kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi (Şekil 5.13) :

—İzafi akış açısı ;

$$tg\beta_{\infty} = \frac{2 \cdot V_{(mo)a}}{U_{a1} + [U_{oa} - V_{(Uo)a}]} \quad (Eşitlik5 / 33)$$

$$tg\beta_{\infty} = \frac{2 \cdot 0,167 \cdot U_2}{0,567 \cdot U_2 + [0,97 - 0,447] \cdot U_2} = 0,30642$$

$$\underline{\underline{\beta_{\infty} = 17^{\circ}}}$$

— İzafi hız;

$$W_{\infty} = \frac{U_{a1} + [U_{oa} - V_{(Uo)a}]}{2 \cdot \text{Cos}\beta_{\infty}} \quad (Eşitlik5 / 32)$$

$$W_{\infty} = \frac{0,567 \cdot U_2 + (0,97 - 0,447) \cdot U_2}{2 \cdot \text{Cos}17^{\circ}}$$

$$\underline{\underline{W_{\infty} = 0,57 \cdot U_2}}$$

β_{∞} ve W_{∞} değerleri,gerekli olan büyüklüklerin milimetrik ölçekle grafiğe taşınması ile de elde edilebilir. (Şekil 5.14).

—Kanat giriş açısı ;

$$\beta_{1k} = \beta_1 + \delta \quad (Eşitlik5 / 37)$$

$$\beta_{1k} = 19,43^{\circ} + 0,57^{\circ} \quad (Seçilen)$$

$$\underline{\underline{\beta_{1k} = 20^{\circ}}}$$

— Kanat çıkış açısı ;

- İlk yaklaşıklıkla β_{2k} değeri ;

$$\beta_{2k} = \beta_{\infty} + (5^{\circ} \dots 10^{\circ}) \quad (Eşitlik5 / 41)$$

$$\beta_{2k} = 17^\circ + 9^\circ \text{ (Seçilen)}$$

$$\underline{\underline{\beta_{2k} = 26^\circ}}$$

— Ortalama kanat açısı ;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} \quad (\text{Eşitlik 5 / 35})$$

$$\beta_m = \frac{20^\circ + 26^\circ}{2}$$

$$\underline{\underline{\beta_m = 23^\circ}}$$

— Yaklaşık kanat boyu ;

$$L_{(a)} = \frac{D_{oa} - D_{a1a}}{2 \cdot \sin \beta_m} \quad (\text{Eşitlik 5 / 34})$$

$$L_{(a)} = \frac{188,5 - 110}{2 \cdot \sin 23^\circ}$$

$$\underline{\underline{L_{(a)} \cong 100,5 \text{ mm.}}}$$

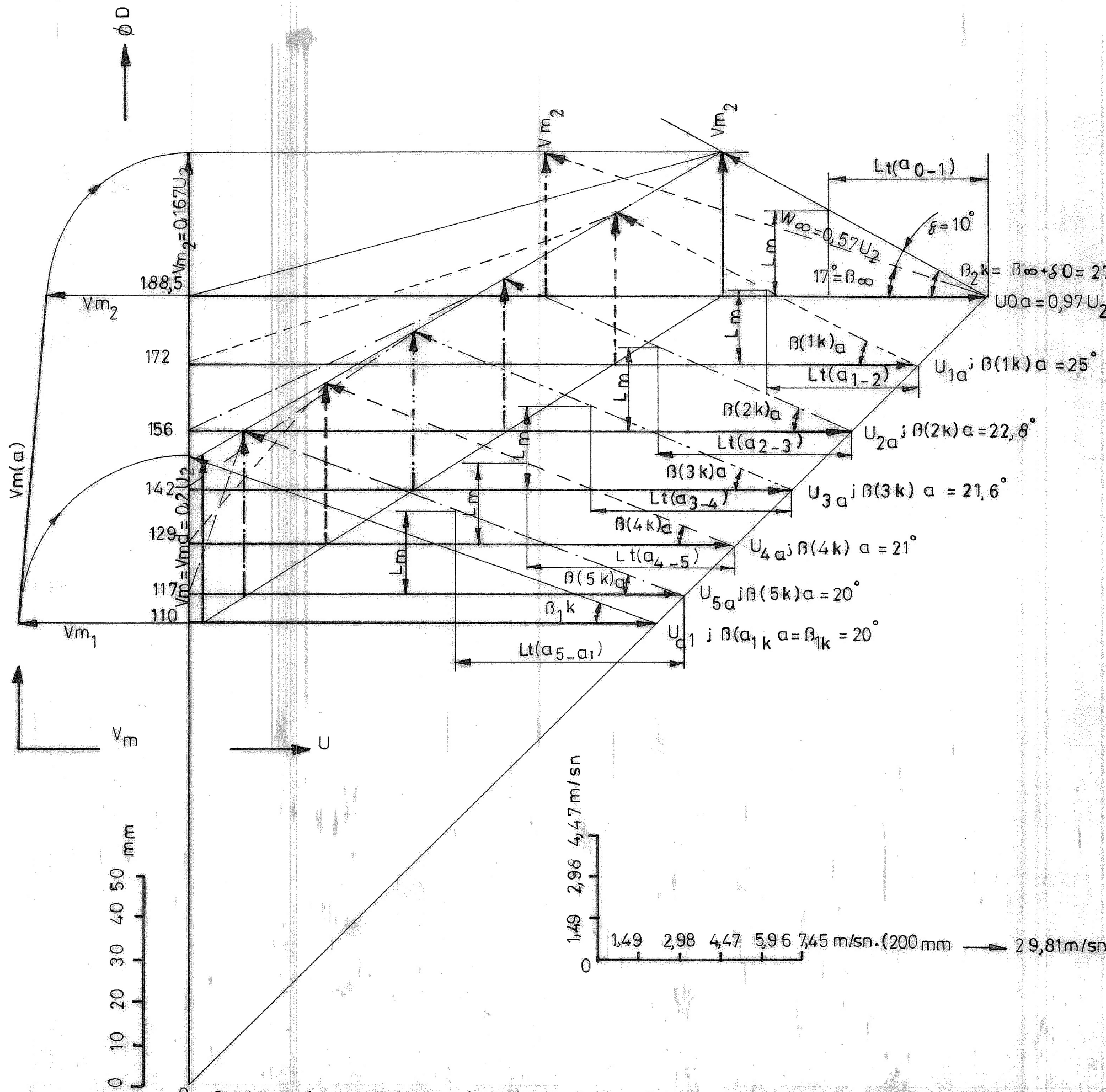
— Kanadın izafi (*bağlı*) adımı ;

$$\left. \begin{aligned} \frac{D_{a1a}}{D_{oa}} = \frac{110}{188,5} = 0,58 \rightarrow k \cong 0,83 \\ D_{(c)a} = k \cdot D_{oa} \end{aligned} \right\} \text{ (Şekil 5.5)}$$

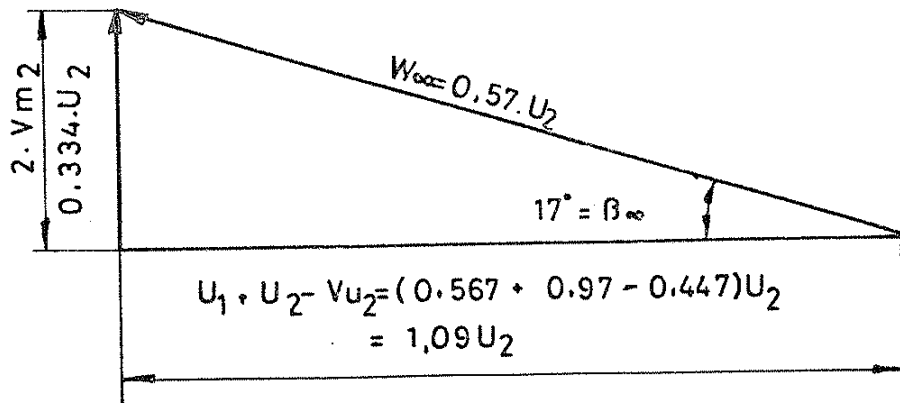
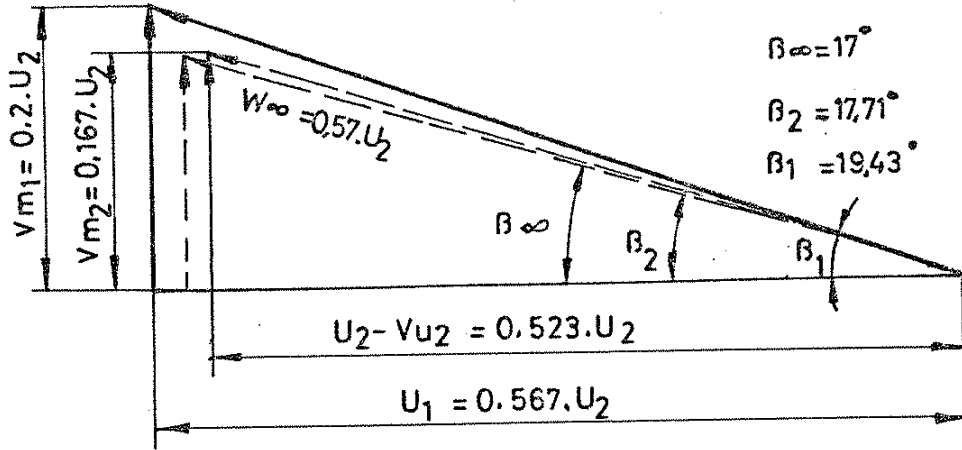
$$D_{(c)a} = 0,83 \cdot 188,5$$

$$\underline{\underline{D_{(c)a} \cong \phi 156,5 \text{ mm}}}$$

$$t_{(a)} = \frac{\pi \cdot D_{(c)a}}{z} \quad (\text{Eşitlik 5 / 7})$$



Şekil 5.13-(a₁ - a₂) akışkan ipçğine karşılık gelen kanat giriş ve çıkış hız üçgenleri (Kanat alt β_k kanat açıları).



Şekil 5.14- Grafiğe taşınmış β_{∞} ve W_{∞} değerleri (Hız üçgenleri).

$$t_{(a)} = \frac{\pi \cdot 156,5}{7}$$

$$\underline{\underline{t_{(a)} \cong 70 \text{ mm.}}}$$

$$\frac{t_{(a)}}{L_{(a)}} = \frac{70}{100,5}$$

$$\frac{t_{(a)}}{L_{(a)}} \cong 0,70$$

- Kaldırma katsayısı oranı ;

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_{(a)}}{L_{(a)}} = 0,70 \\ \beta_m = 23^\circ \end{array} \right\} \frac{\xi_p'}{\xi_p} \cong 1,2 \quad (\text{Şekil 55})$$

- Hücüm açısı ;

$$\text{Sin} \delta_o = \frac{D_{oa} \cdot V_{(Uo)a}}{Z \cdot L_{(a)} \cdot W_\infty \cdot (\xi_p' / \xi_p)} \quad (\text{Eşitlik 5 / 30})$$

$$\text{Sin} \delta_o = \frac{188,5 \cdot 0,447 \cdot U_2}{7 \cdot 100,5 \cdot 0,57 \cdot U_2 \cdot 1,2} = 0,1751$$

$$\underline{\underline{\delta_o \cong 10^\circ}}$$

- Geçici β_{2k} değeri ;

$$\beta_{2k} = \beta_\infty + \delta_o \quad (\text{Eşitlik 5 / 42})$$

$$\beta_{2k} = 17^\circ + 10^\circ$$

$$\underline{\underline{\beta_{2k} = 27^\circ}}$$

alınırsa;

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} = \frac{20^\circ + 27^\circ}{2}$$

$$\underline{\underline{\beta_m = 23,5^\circ = 23^\circ 30'}}$$

$$L_{(a)} = \frac{D_{oa} - D_{a1a}}{2 \cdot \sin \beta_m} = \frac{188,5 - 110}{2 \cdot \sin 23,5^\circ}$$

$$\underline{\underline{L_{(a)} = 98,43 \text{ mm.}}}$$

$$\frac{t_{(a)}}{L_{(a)}} = \frac{70}{98,43}$$

$$\frac{t_{(a)}}{L_{(a)}} = 0,71$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{t_{(a)}}{L_{(a)}} = 0,71 \\ \beta_m = 23,5^\circ \end{array} \right\} \frac{\xi_P'}{\xi_P} \cong 1,19$$

$$\sin \delta_o = \frac{D_{oa} \cdot V_{(Uo)a}}{z \cdot L_{(a)} \cdot W_\infty \cdot (\xi_P' / \xi_P)} = \frac{188,5 \cdot 0,447 \cdot U_2}{7 \cdot 98,43 \cdot 0,57 \cdot U_2 \cdot 1,19} = 0,1803$$

$$\delta_o \cong 10,4^\circ$$

bulunur.

$$\delta_o = 10^\circ \rightarrow 10,4^\circ$$

Büyük fark yok, şu halde ;

$$\left. \begin{array}{l} \underline{\underline{\beta_{1k} = 20^\circ}} \\ \underline{\underline{\beta_{2k} = 27^\circ}} \end{array} \right\} \underline{\underline{\beta_m = 23,5^\circ}}$$

$$\underline{\underline{L_{(a)} = 98,43 \text{ mm}}}$$

değerleri kabul edilebilir.

$$\begin{aligned}
 U_{a1} &= 0,567 \cdot U_2 \\
 V_{ma1} &= V_{m1} = 0,2 \cdot U_2 \\
 \beta_{1k} &= 20^\circ \\
 U_{oa} &= 0,97 \cdot U_2 \\
 V_{(mo)a} &= V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 \\
 \beta_{2k} &= 27^\circ
 \end{aligned}$$

Hesaplanan bu değerler, (a_1-a_2) akışkan ipçığıne karşılık gelen ; Kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerinin çizimi için yeterlidir (Şekil 5.13)

Çizim için, (d_1-d_2) akışkan ipçığıne karşılık gelen; kanat giriş ve çıkış üçgenlerinin çizimindeki (Şekil 5.2) sıra izlenebilir.

Çizilen hız üçgenlerinden herhangi bir r yarıçapına karşılık gelen β_k kanat açıları :

$L_m (=10 \text{ mm})$ 'e karşılık gelen noktalar	$o(a_2)$	1	2	3	4	5	a_1
Çap :D[mm]	188,5	172	156	142	129	117	110
$(d_1 - d_2)$ Kanat açısı : β_k	27° (β_{2k})	25°	22,8°	21,6°	21°	20°	20° (β_{1k})

kolayca okunur.

β_{1k} — Kanat giriş açısı

β_{2k} — Kanat çıkış açısı

Çizilen hız üçgenleri ile herhangi r yarıçapına ait, bulunan β_k kanat açıları toplu olarak Cetvel 5.2 de verilmiştir.

$L_m (10 \text{ mm})$ 'e karşılık gelen noktalar	0	1	2	3	4	d_1	5	a_1	6	7	i_1
Çap :D[mm.]	194	179	166	156	150	148	—	—	—	—	—
(d_1-d_2) Kanat açısı : β_k	30°	23°	20°	17°40'	16°40'	16°	—	—	—	—	—
						(β_{1k})					
Çap :D[mm.]	188,5	172	156	142	129	—	117	110	—	—	—
(a_1-a_2) Kanat açısı : β_k	27°	25°	22,8°	21,6°	21°	—	20°	20°	—	—	—
						(β_{2k})		(β_{1k})			
Çap :D[mm.]	183	165	148	132	116	—	102	—	88	76	72
(i_1-i_2) Kanat açısı : β_k	36°	35°	33°	32°	31°	—	30°30'	—	29°10'	29°	29°
						(β_{2k})					(β_{1k})

Cetvel 5.2 - Toplu halde, β_k kanat açıları.

6 - KANAT YÜZEYİNİ BELİRTEN AÇILARIN, EKSENEL GÖRÜNÜŞ ÜZERİNE TAŞINMASI

Çizimde aşağıdaki sıra izlenebilir :

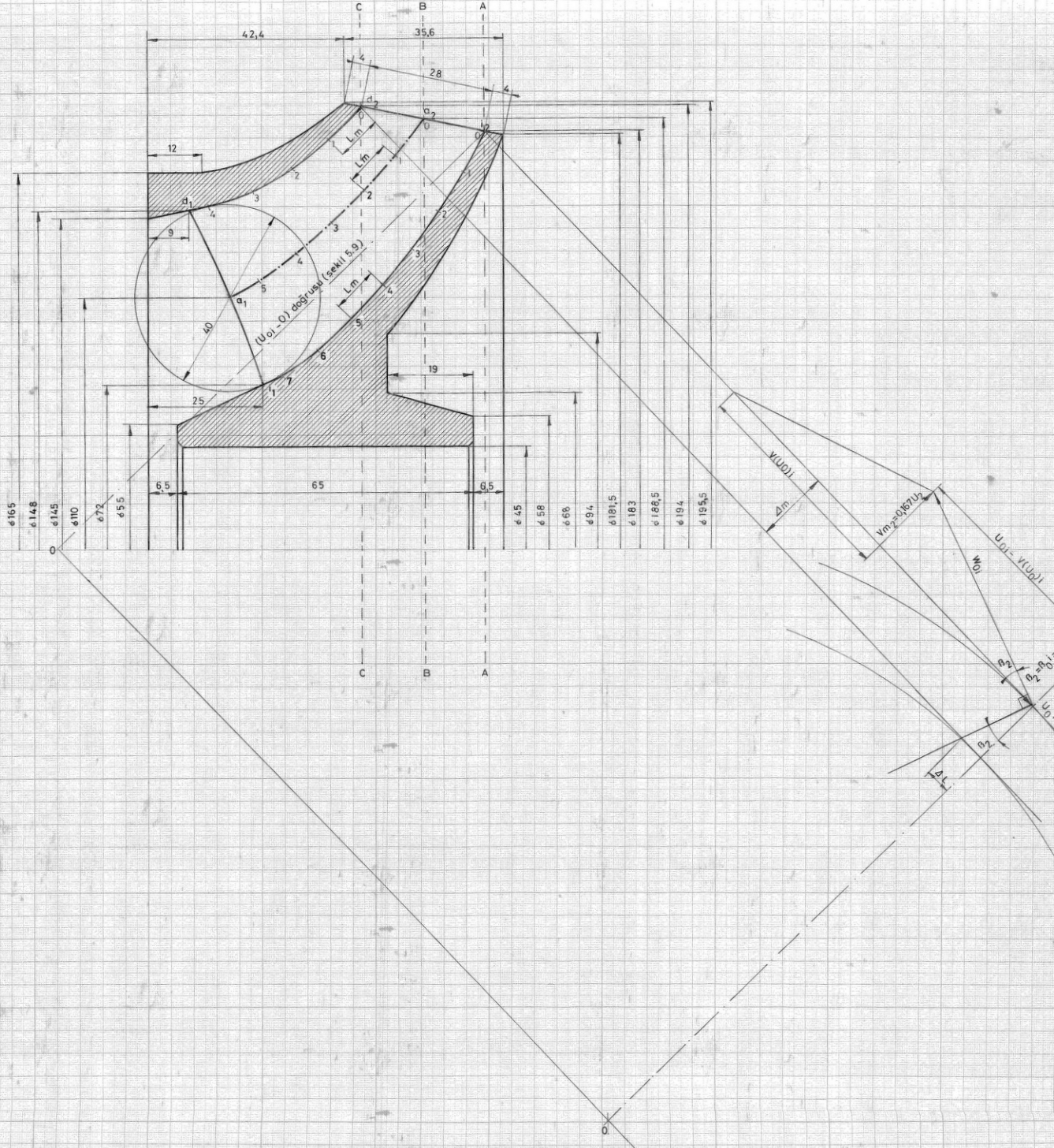
- 1• - Önce ; 1,2,3,... vs. noktalarının konumlarını belirlemek için, bu noktaların eksene olan uzaklıklarını yarıçap olarak daire yayları çizilir (*Şekil 6.2*).
- 2• - Kanat giriş ve çıkış hız üçgenlerine ait *Şekil 5.2, 5.10, 5.13* üzerinde, her U hızına $L_m = 10 \text{ mm}$. mesafesinden paraleller çizelim. Bu paraleller kanat açılarını tayin eden doğruları keserler ve böylece, yükseklikleri L_m ve tabanları da $L_{t(d_0-1)}, L_{t(d_1-2)} \dots L_{t(a_0-1)}, L_{t(a_1-2)} \dots L_{t(i_0-1)}, L_{t(i_1-2)} \dots$ olan küçük dik üçgenler meydana getirirler.
- 3• - Bu üçgenlerin tabanları eksene dik görünüş (*Şekil 6.2*) üzerine taşınırken “*Konform tasvir*” metodunu uygulamak en uygun yoldur. *Şekil 6.2* de görüldüğü gibi üç ipçik için konform tasvir şu şekilde uygulanır :

$L_{t(d_0-1)}$ uzunluğunu $d_o = \phi 194 \text{ mm}$. dairesine taşıyalım. Bu suretle belirlenen yayın ucunu eşmerkezli dairenin O merkezine birleştirelim. Bu doğrunun $d_1 = \phi 179 \text{ mm}$. dairesini kestiği d_1 noktası d_o başlangıcına birleştirilirse $(d_o - d_1)$ elemanının eksenal görünüşü elde edilir. Bundan sonra d_1 noktasından itibaren aynı $d_1 = \phi 179 \text{ mm}$. yayı üzerinde $L_{t(d_1-2)}$ uzunluğu taşınır ve elde edilen nokta O merkezine birleştirilir ise bu doğru $d_2 = \phi 166 \text{ mm}$. dairesini d_2 noktasında keser. d_2 ve d_1 noktalarını birleştirelim ; $(d_2 - d_1)$ eğri elemanı meridyen görünüşteki $(d_2 - d_1)$ segmentinin eksenal görünüşünü temsil eder. Bu metotla kanat başı olan $d_1 (= \phi 148 \text{ mm.})$ ye kadar çizime devam edilirse, (d) ipçığının eksene dik bir $(C-C)$ düzlemi içindeki görünüşü elde edilir. Her ipçik için çizim ayrı ayrı tekrarlanır.

- 4• - Şimdi, ipçikleri eksen etrafında döndürmek suretiyle birbirlerine göre yerleştirelim. Bu da o tarzda yapılmalıdır ki, ipçikler girdap teşekkülüne sebep olacak bir yüzey teşkil etmesinler. Önce $(r \cdot V_u = \text{Sabit})$ kanununa uyan bir kaç ε eşpotansiyel eğrisi (*sabit enerji eğrisi*) tayin edeceğiz. Bu eğrilerden biri $(\varepsilon = 0)$ 'a karşılık gelen $(V_u = 0 \text{ olduğu için})$ kanatların giriş kenarıdır Çıkış kenarı da aynı şekilde bir eşpotansiyel eğrisidir zira bu eğri üzerinde bütün ipçikler için $(r \cdot V_u)$ çarpımı aynı değeri haizdir $(D \cdot V_{u2} = 194 \cdot 0,433 \cdot U_2 = 188,5 \cdot 0,447 \cdot U_2 = 183 \cdot 0,46 \cdot U_2 = \text{Sabit})$. (d) ve (i) ipçikleri arasında sapmaya mani olmak için gerekli mesafe eksenal görünüşte :

$$\frac{V_{m2}}{\Delta L} = \frac{U_{oi} - V_{(uo)i}}{\Delta m} \quad (\text{Şekil 6.1})$$

$$\frac{V_{m2}}{U_{oi} - V_{(uo)i}} = \frac{\Delta L}{\Delta m} = \text{tg}\beta_2 = \text{tg}\beta_{oi}$$



Şekil 6,1 - Çarkın meridyen kesiti (A,B,C Eksene dik düzlemlerdir)

$$\Delta L = \Delta m \cdot \operatorname{tg} \beta_{oi}$$

(6/1)

$$\beta_{oi} = 19,18^\circ \quad (\text{Şekil 5.9})$$

$$\Delta m = 16,5 \text{ mm} \quad (\text{Ölçülen; Şekil 6.1})$$

dolayısıyla ,

$$\Delta L = 16,5 \cdot \operatorname{tg} 19,18^\circ \cong 16,5 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ$$

$$\underline{\underline{\Delta L = 6 \text{ mm}}}$$

bulunur.

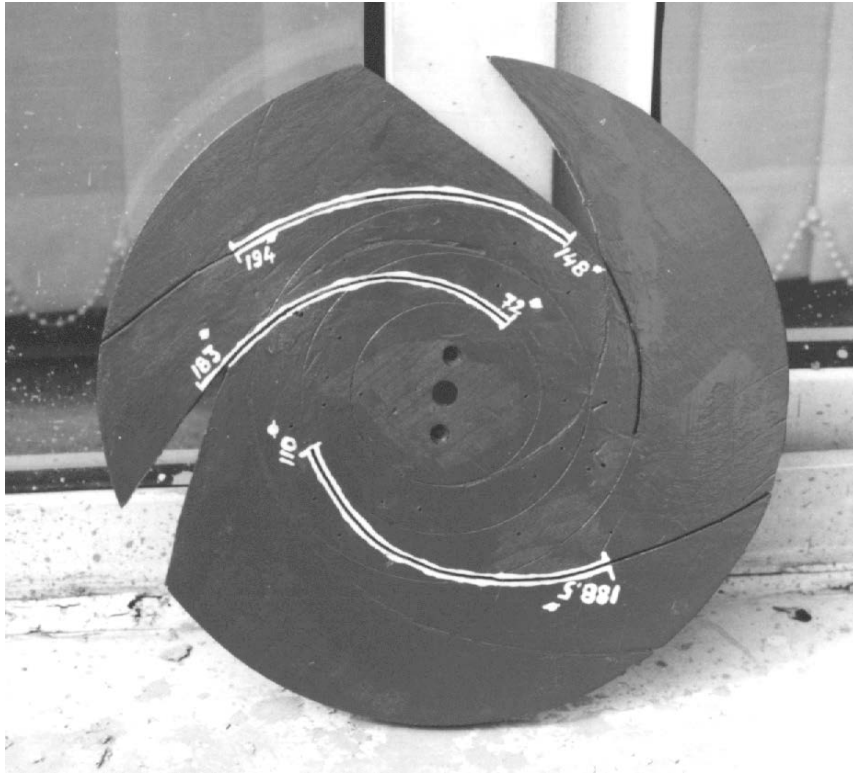
7 - MODELİN İMALİ

- 1 • - Tahtadan ; Şekil 6.1 deki çarkın meridyen kesitinde gösterilen (i_1-i_2) , (a_1-a_2) ve (d_1-d_2) ipçiklerine karşılık gelen profillerde, Şekil 7.1 deki I, II ve III nolu kesik koniye benzer parçalar şekildeki boyutlarda imal edilir. Üzerlerine IV nolu kapak tespit pimi ile bağlanır (Resim 7.1).
- 2 • - Şekil 6.1 deki (i_1-i_2) , (a_1-a_2) ve (d_1-d_2) ipçiklerinin (A-A), (B-B) ve (C-C) eksene dik düzlemler üzerindeki izdüşümleri, Şekil 6.2 de gösterilen (i_o-i_t) , (a_o-a_t) ve (d_o-d_t) profilleri olduğuna göre (Resim 7.2) :
 - a) I parçası üzerine önce II parçası sonra da IV kapağı kapatılır. Kapak üzerine Şekil 6.2 deki (i_o-i_t) profili çizilir ve bu profil kapağa dik olarak kesilir (Resim 7.2). I parçası dolayısıyla II parçası üzerindeki kesilen iz, kanadın alt kapaktaki arakesitidir. (Resim 7.3). Öyleyse bu izi oluşturan parça II parçasından kesilerek (Kapağa dik) alınırsa sapık kanadın (i_o-i_t) eğrisine karşılık gelen profili tahta kesit üzerinde elde edilmiş olur (Resim 7.4).
 - b) I parçası üzerine II, III ve IV parçalarını kapatalım. IV kapağını III parçası üzerine tespit ederek I dolayısıyla II parçası üzerinden alalım. IV kapağı üzerine Şekil 6.2 deki (d_o-d_t) profilini çizelim ve bu profili kapağa dik olarak keselim. III parçası üzerinde ki kesilen iz, kanadın üst kapaktaki arakesitidir (Resim 7.5). Öyleyse bu izi oluşturan parça III parçasından kesilerek (kapağa dik) alınırsa sapık kanadın (d_o-d_t) eğrisine karşılık gelen profili tahta kesit üzerinde elde edilmiş olur (Resim 7.6).

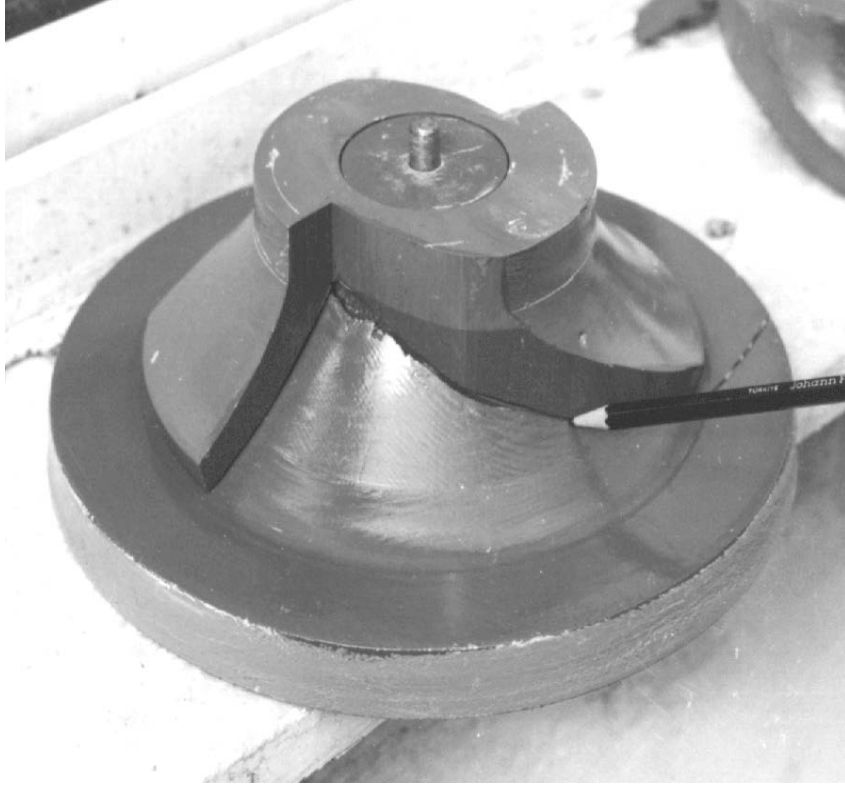
- c) II parçasından kesilerek, sapık kanadın (i_o-i_t) eğrisine karşılık gelen profilini veren tahta kesit parçası ile ; III parçasından kesilerek, sapık kanadın (d_o-d_t) eğrisine karşılık gelen profilini veren tahta kesit parçasını, birbirlerine göre eksen etrafında $\Delta L=6 \text{ mm}$. döndürmek suretiyle yerleştirelim. Böylece sapık kanadın alt ve üst kapaklardaki arakesitlerinin birbirlerine göre konumu ortaya çıkmış olur (*Resim 7.7*).
- d) I parçası üzerine II , III ve IV parçalarını yeniden kapatalım. IV kapağını III parçası üzerine tespit ederek I dolayısıyla II parçası üzerinden alalım. IV kapağı üzerine Şekil 6.2 deki (a_o-a_t) profilini çizelim ve bu profili kapağa dik olarak keselim. III parçası üzerindeki kesilen izi oluşturan parça III parçasından kesilerek alınırsa (*kapağa dik*) sapık kanadın (a_o-a_t) eğrisine karşılık gelen profili, III parçası üzerindeki kesilen iz dir.
- e) I parçası dolayısıyla II parçası üzerindeki (i_o-i_t) eğrisine karşılık gelen iz'e göre ; (a_o-a_t) eğrisine karşılık gelen III parçası üzerindeki kesilen izi, birbirlerine göre eksen etrafında $\Delta L/2 = 3 \text{ mm}$ (*Resim 7.7*) döndürerek III parçası üzerindeki izi II parçası üzerine çizelim. Bu iz, (a_o-a_t) eğrisine karşılık gelir (*Resim 7.8*).
- f) Şimdi ; kesilen II parçasının I parçası üzerindeki (*alt kapaktaki*) arakesiti, kendi üzerindeki (*II parçası*) çizilen iz ve III parçası üzerindeki kanadın üst kapaktaki arakesiti, sapık kanadın tahta kesit üzerindeki (i_o-i_t), (a_o-a_t) ve (d_o-d_t) eğrilerine karşılık gelen profilleridir. (*Resim 7.8 deki beyaz eğriler*)
- g) Elde edilen ve birbirlerine göre yerleştirilen tahta levha kesitler üzerindeki profillerin araları uygun tarzda doldurularak dönük (*sapık*) kanat profilinin tamamı için model hazırlanır (*önce kanadın yüzeyi sonra kanat kalınlığı düşünülerek tamamı*).



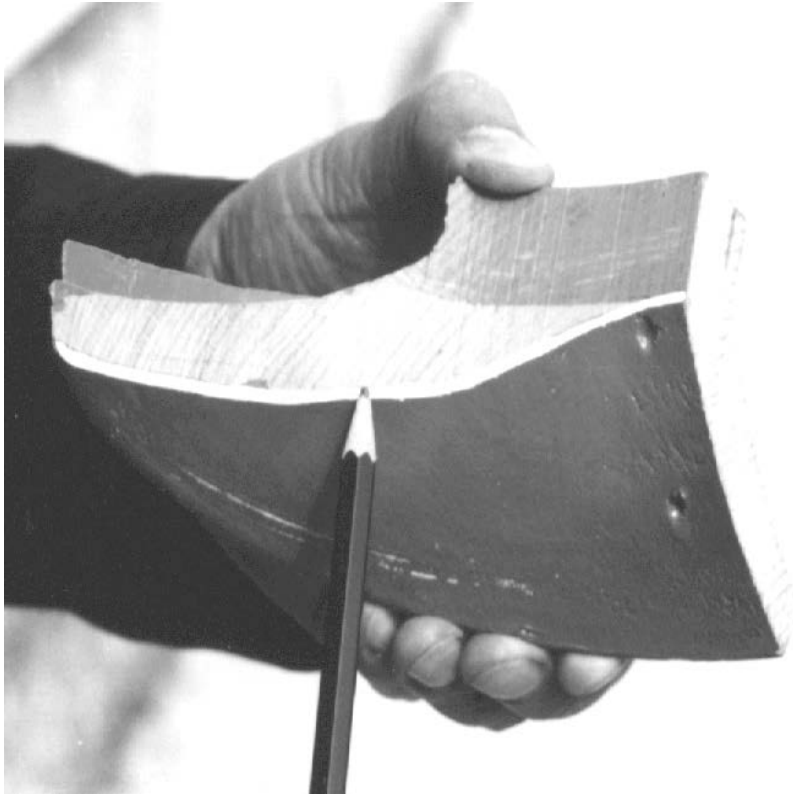
Resim 7.1 - Şekil 7.1 deki I, II, III ve IV nolu parçalar



Resim 7.2 - IV nolu kapak üzerine çizilmiş, Şekil 6.2 deki; (a_o-a_t) , (i_o-i_t) ve (d_o-d_t) profilleri.



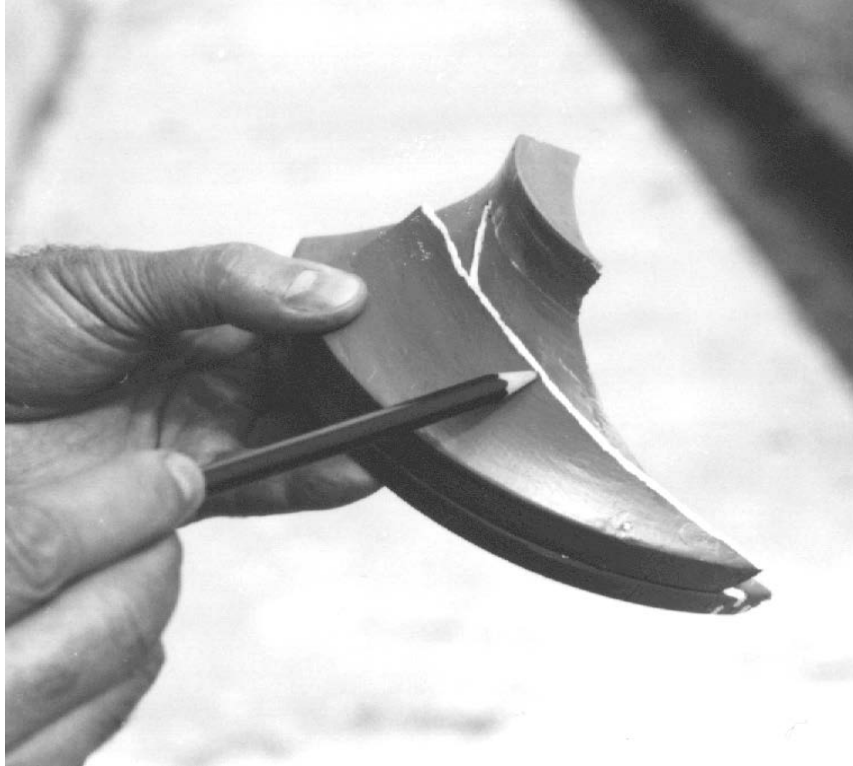
Resim 7.3 - I parçası üzerinde, (i_o-i_t) eğrisine karşılık gelen profilin izi.



Resim 7.4 - II parçası üzerinde, (i_o-i_t) eğrisine karşılık gelen sapık kanat profilinin izi.



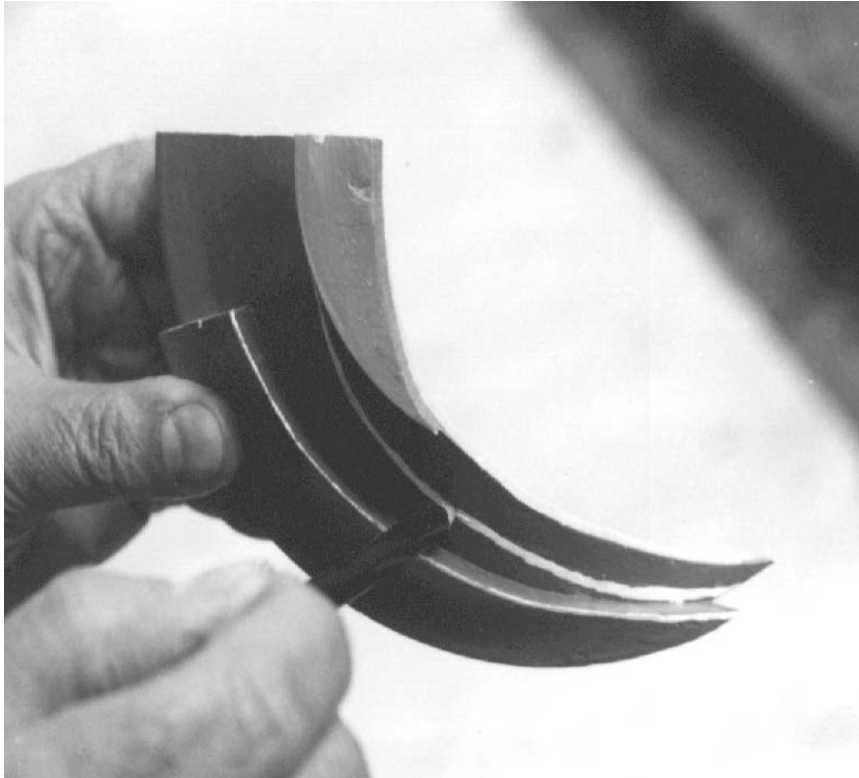
Şekil 7.5 - III parçası üzerinde, (d_o-d_t) eğrisine karşılık gelen profilin izi



Şekil 7.6 - III parçası üzerinde, (d_o-d_t) eğrisine karşılık gelen sapık kanat profilinin izi.



Şekil 7.7 - (i_o-i_t) ve (d_o-d_t) eğrilere karşılık gelen sapık kanat profillerinin birbirlerine göre konumu.



Şekil 7.8 - II parçası üzerinde, (a_o-a_t) eğrisine karşılık gelen profilin izi

8 - KONTROLLER

8.1- D_1 ; çark giriş ortalama çapının kontrolü :

Konstrüksiyonda zorluk çıkarsa, $D_1 = \phi 110$ mm. değeri tekrar kontrol edilecekti (Sayfa 56). Zorluk çıkmadı.

8.2- z ; çark kanat sayısının hesabı :

$$z = 2 \cdot k \cdot \left(r_m / \ell' \right) \cdot \sin \beta_m \quad (\text{Eşitlik 4 / 29})$$

$$r_m = \frac{D_{(a)2} + D_1}{4} \quad (\text{Eşitlik 4 / 30})$$

$$r_m = \frac{188,5 + 110}{4}$$

$$\underline{\underline{r_m = 74,625 \text{ mm}}}$$

$$\ell' = 58,5 \text{ mm} \quad (\text{ölçüldü. Şekil 6.1})$$

$$\beta_m = \frac{\beta_{1k} + \beta_{2k}}{2} \quad (\text{Eşitlik 4 / 31})$$

$$\underline{\underline{\beta_{1k} = 20^\circ}} \quad (\text{Sayfa 121})$$

$$\underline{\underline{\beta_{2k} = 27^\circ}} \quad (\text{Sayfa 125})$$

$$\underline{\underline{\beta_m = 23,5^\circ}} \quad (\text{Sayfa 125})$$

$$k = 5 \dots 6,5 \quad (\text{Eşitlik 4/32})$$

$$\underline{\underline{k = 6,5}} \quad (\text{Seçilen})$$

$$z = 2 \cdot k \cdot \left(r_m / \ell' \right) \cdot \sin \beta_m$$

$$z = 2 \cdot 6,5 \cdot (74,625 / 58,5) \cdot \sin 23,5^\circ = 6,61$$

$$\underline{\underline{z = 7}}$$

bulunur. Seçilen çark kanat sayısı da , $z=7$ idi. (Sayfa 65)

8.3 - b_1 ; çark giriş genişliğinin hesabı :

Kanat sayısı bilindiği için çarkın girişindeki λ_1 daralma katsayısı ve dolayısıyla b_1 giriş genişliğinin gerçek değeri bulunabilir (Kanat kalınlığı, kanat boyunca sabit ve $e=e_1=e_2=3$ mm.)

$$\lambda_1 = 1 - \frac{Z \cdot e_1 / \sin \beta_{1k}}{\pi \cdot D_1} \quad (8/1)$$

$$\lambda_1 = 1 - \frac{7 \cdot 3 / \sin 20^\circ}{\pi \cdot 110}$$

$$\underline{\underline{\lambda_1 = 0,822}}$$

$$b_1 = \frac{Q_t}{\pi \cdot D_1 \cdot \lambda_1 \cdot c_m} \quad (\text{Eşitlik 4 / 16})$$

$$b_1 = \frac{0,0945}{\pi \cdot 0,110 \cdot 0,822 \cdot 6} = 0,055 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{b_1 = 55 \text{ mm}}}$$

Bu değer daha önce $\lambda_1=0,7$ seçilerek 65 mm. bulunmuştu (Sayfa 61). Gerçek değer $b_1=40$ mm. (Pumpen de [L.5] verilen hesap yöntemine göre, Sayfa 62) alındı çizim ve imalat, bu değere göre yapıldı.

8.4 - b_2 ; çark çıkış genişliğinin hesabı :

$$\lambda_2 = 1 - \frac{Z \cdot e_2 / \sin \beta_{2k}}{\pi \cdot D_2} \quad (8/2)$$

$$\lambda_2 = 1 - \frac{7 \cdot 3 / \sin 27^\circ}{\pi \cdot 188,5}$$

$$\underline{\underline{\lambda_2 = 0,922}} \quad (\lambda_2 = 0,75 \dots 0,98; \text{Eşitlik 4 / 26})$$

$$b_2 = \frac{Q_t}{\pi \cdot D_2 \cdot \lambda_2 \cdot c_{m2}} \quad (\text{Eşitlik 4 / 25})$$

$$b_2 = \frac{0,0945}{\pi \cdot 0,1885 \cdot 0,922 \cdot 5} = 0,034 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{b_2 = 34 \text{ mm}}}$$

Şekil 4.2 deki konstrüksiyon düşünüldüğünden $b_2=28 \text{ mm}$. alındı (Sayfa 64).

8.5 - $(Z \cdot L)_{min}$ kontrolü :

Kanat çizimi yapılmadan önce, hesaplanan ve çizime esas olan kanat sayısı ve uzunluğu ile ilgili gerçek $(Z \cdot L)$ taşıyıcı kanat yüzeyinin, KOVATS metoduna (yöntemine) göre hesaplanan $(Z \cdot L)_{min}$ değerinden büyük olup olmadığı kontrol edilmelidir ve özellikle monometrik yükdeklığın sağlanabilmesi için,

$$(Z \cdot L)_{gerçek} > (Z \cdot L)_{min} \quad (\text{Eşitlik 5/28})$$

olmalıdır.

Kontrolü, $(a_1 - a_2)$ orta akışkan ipçiği için yapalım.

$$(Z \cdot L_{(a)})_{min} = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{oa} \cdot V_{(uo)a}}{(1 \dots 1,5) \cdot W_{\infty} \cdot (\xi'_p / \xi_p)} \quad (\text{Eşitlik 5/27})$$

$$(Z \cdot L_{(a)})_{min} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 188,5 \cdot 0,447 \cdot U_2}{(1 \dots 1,5) \cdot 0,57 \cdot U_2 \cdot 1,19}$$

$$\underline{\underline{(Z \cdot L_{(a)})_{min} = 520,34 \dots 780,5 \text{ mm}}}$$

Hesaplanan kanat uzunluğu $L_{(a)}=98,43 \text{ mm}$. ve kanat sayısı $Z=7$ olduğuna göre,

$$Z \cdot L_{(a)} = 7 \cdot 98,43$$

$$\underline{\underline{Z \cdot L_{(a)} \cong 689 \text{ mm}}}$$

ve

$$(Z \cdot L_{(a)}) > (Z \cdot L_{(a)})_{\min}$$

olduğu görülür. Ancak, kanat çiziminden sonra L kanat boyu, resim üzerinden ölçülmeli ve $(Z \cdot L)$ gerçek değerinin $(Z \cdot L)_{\min}$ dan büyük olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Resim üzerinden ölçülen ve $(a_1 - a_2)$ akışkan ipçiğine karşılık gelen kanat profilinin uzunluğu,

$$\underline{\underline{L_{(a)} = 140 \text{ mm}}} \quad (\text{Şekil 7.1})$$

Dönük (sapık) kanat profiline uygun olarak imalatı yapılan kanatta, üzerinden alınan ortalama kanat uzunluğu,

$$\underline{\underline{L_{(a)} \cong 140 \text{ mm}}}$$

Şu halde,

$$(Z \cdot L_{(a)})_{\text{gerçek}} = 7 \cdot 140 = 980 \text{ mm}$$

$$(Z \cdot L_{(a)})_{\text{gerçek}} > (Z \cdot L_{(a)})_{\min}.$$

$$(980 \text{ mm}) > (520,34 \dots 780,5 \text{ mm.})$$

olduğu görülür ki, kanat uzunluğu uygundur.

8.6 - Kanatlar arasındaki kanal kesitlerinin kontrolü:

• Kaya BAYSAL 'a göre [L.2] ;

Çarkın radyal kesiti (Şekil 4.5 ; 8.1) ve karşı görünüşü (Şekil 8.1) için çizilen resimlerden faydalanılarak akışkanın kanatlar arasındaki geçiş kesitleri, bağıl hızların lineer değişimini gerçekleştirmelidir. Bunun için, kanat başlangıcındaki giriş kanal genişliğine ait a_1 dairesinin S_1 merkezi ile çıkış kanal genişliğine ait a_5 dairesinin S_5 merkezi arasındaki S_1S_5 orta ipçiğinin (Şekil 8.1) açılımı yapılarak apsise ve kesitleri dikdörtgen şeklinde kabul ederek $(a_x \cdot b_x)$ çarpımları da ordinata taşınır. Tam santrifüj pompalar ($n_s = 50 \dots 200 \text{ d/d}$) için b_x genişliklerinin aksenal doğrultuda alınması

genellikle yeterlidir. Hızların lineerlik şartının sağlanabilmesi için elde edilen AB çizgisinin doğrusal olması gerekir. (Şekil 8.2)

$(a_1 - a_2)$ orta akışkan ipçiği için ölçülen değerler (Şekil 8.1):

Kanat başlangıcındaki giriş kanal genişliğine ait ve iki kanat arasında teğet S_1 merkezli a_1 çaplı daire ile çıkış kanal genişliğine ait ve iki kanat arasında teğet S_5 merkezli a_5 çaplı daireleri ayrıca S_1 , S_5 merkezleri arasındaki S_1S_5 orta ipçiğini çizelim (Şekil 8.1). Çark kanat kalınlığını da ($e = 3 \text{ mm}$) göz önüne alarak ;

Nokta	($a_x - 3 \text{ mm}$)	b_x	($m_x - 3 \text{ mm}$)
$S_1 (r_1 = 60 \text{ mm})$	$a_1 = 7 \text{ mm}$	$b_1 = 36,5 \text{ mm}$	$m_1 = 49 \text{ mm}$
$S_2 (r_2 = 64,5 \text{ mm})$	$a_2 = 11,5 \text{ mm}$	$b_2 = 34 \text{ mm}$	$m_2 = 55 \text{ mm}$
$S_3 (r_3 = 71 \text{ mm})$	$a_3 = 15,5 \text{ mm}$	$b_3 = 31 \text{ mm}$	$m_3 = 62 \text{ mm}$
$S_4 (r_4 = 78 \text{ mm})$	$a_4 = 20,5 \text{ mm}$	$b_4 = 28,5 \text{ mm}$	$m_4 = 68 \text{ mm}$
$S_5 (r_5 = 83 \text{ mm})$	$a_5 = 24 \text{ mm}$	$b_5 = 27,5 \text{ mm}$	$m_5 = 73,5 \text{ mm}$

$$\left. \begin{array}{l} \overline{S_1S_2} = 25 \text{ mm} \\ \overline{S_2S_3} = 24 \text{ mm} \\ \overline{S_3S_4} = 21,5 \text{ mm} \\ \overline{S_4S_5} = 14,5 \text{ mm} \end{array} \right\} \overline{S_1S_5} = 85 \text{ mm}$$

bulunur.

$$a_1 \cdot b_1 = 7 \cdot 36,5 \cong 256 \text{ mm}^2$$

$$a_2 \cdot b_2 = 11,5 \cdot 34 = 391 \text{ mm}^2$$

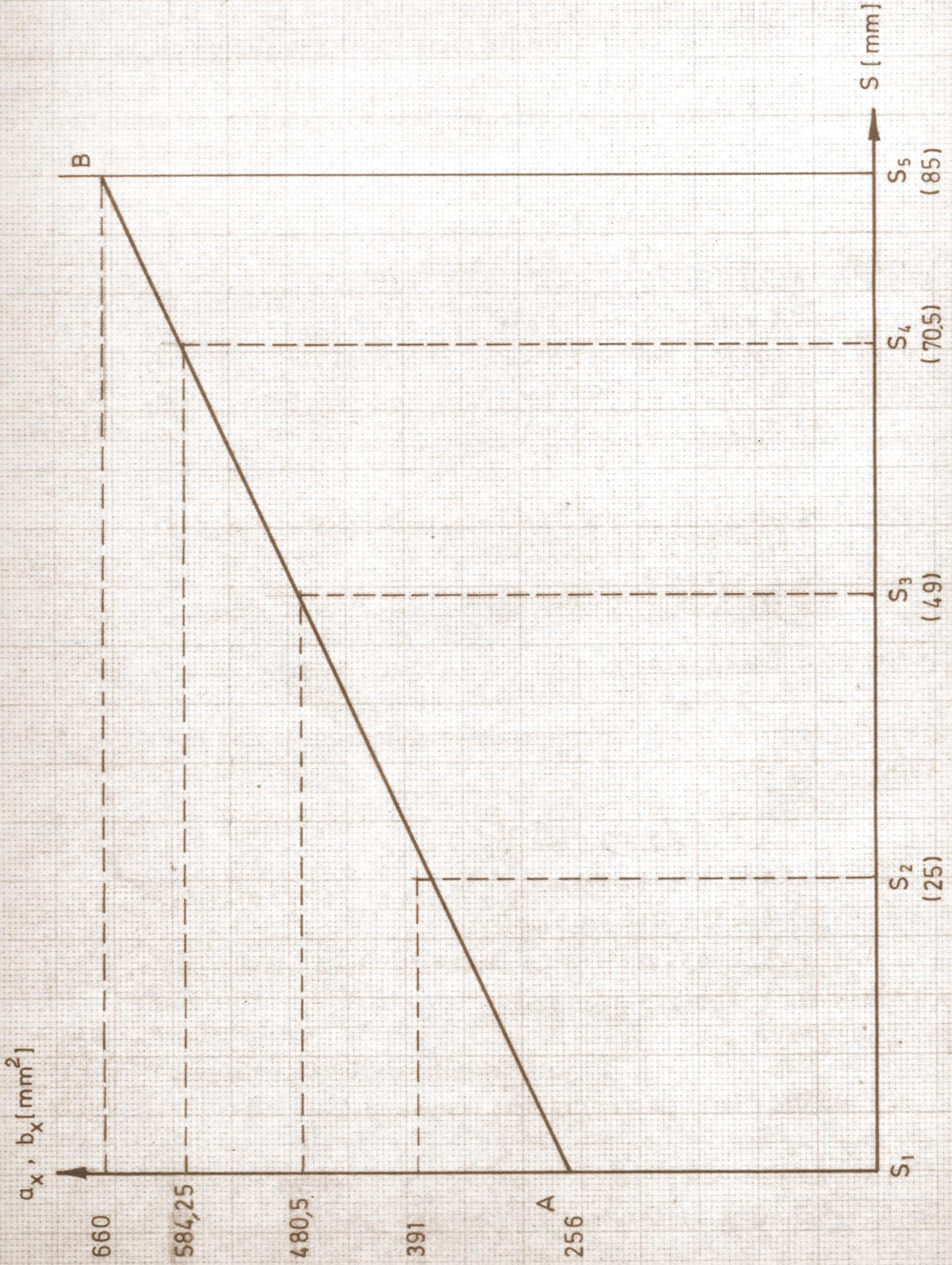
$$a_3 \cdot b_3 = 15,5 \cdot 31 = 480,5 \text{ mm}^2$$

$$a_4 \cdot b_4 = 20,5 \cdot 28,5 = 584,25 \text{ mm}^2$$

$$a_5 \cdot b_5 = 24 \cdot 27,5 = 660 \text{ mm}^2$$

Bu değerleri apsis ve ordinata taşıyalım. (Şekil 8.2)

AB çizgisi görüldüğü gibi doğrusaldır.



Sekil 8.2 - Kanatlar arasındaki kanal kesitlerinin kontrolü

(a_x , b_x çarpımına göre)

Bu özellik sağlanmamışsa, a kanal genişlikleri üzerinde değişiklik yapmaksızın, b genişlikleri AB nin doğrusal olmasını gerçekleyecek şekilde düzeltilir. Çarkın radyal kesitinde de iç kapak sabit kalmak üzere bulunan yeni b değerleri için dış kapak formu tashih edilir.

Bir diğer yol, V_{m1} ve V_{m2} meridyen hızları bilindiğine göre, bu hızların çap boyunca lineer değiştiğini kabul ederek hız diyagramını çizmek ve bunun yardımıyla b genişliklerini kontrol etmektir. İki kanat arasından geçen debi;

$$\frac{Q_T}{Z} = m_x \cdot b_x \cdot V_{mx} \quad (8/3)$$

olduğundan her r_x yarıçapı için V_{mx} ve m_x değerleri dikkatli şekilde ölçülür, yukarıda yazılan süreklilik denklemi yardımıyla b_x değerleri hesaplanır ve radyal kesit resmindeki (Şekil 8.1) b_x değerleri ile uygunluğu kontrol edilir. D_1 çapı civarında, meridyen hız değeri, giriş kenarının eğikliğinden dolayı biraz fark edeceğinden, kontrol edilecek çaplar için D_1 çapına çok yakın değerler almamak ve daha önce hesaplanan b_1 genişliğini muhafaza etmek uygun olur.

$$Q_T = 0,0945 \text{ m}^3 / \text{sn} \quad (\text{Sayfa 51})$$

$S_1(r_1 = 60 \text{ mm.})$ noktası :

$$\frac{Q_T}{Z} = m_1 \cdot b_1 \cdot V_{m1}$$

$$V_{m1} = 0,193 \cdot U_2 \quad (\text{Şekil 5.12 ; Ölçülen } 38,6 \text{ mm})$$

$$V_{m1} = 0,193 \cdot 29,81 = 5,754 \text{ m / sn}$$

$$\frac{0,0945}{7} = 0,049 \cdot b_1 \cdot 5,754$$

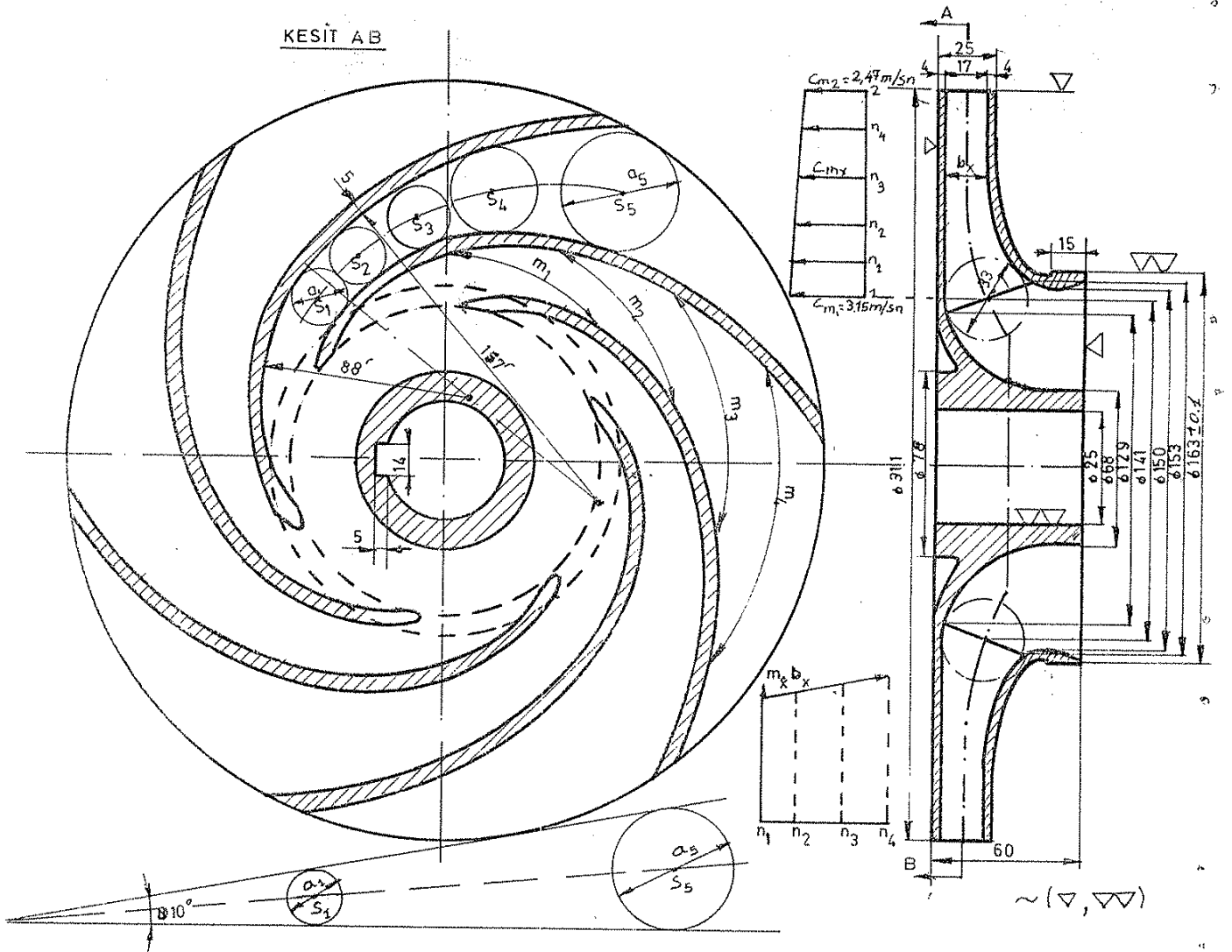
$$b_1 = 0,04788 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{b_1 \cong 49 \text{ mm}}}$$

$$b_{1\text{ölçülen}} = 36,5 \text{ mm} \quad (\text{Şekil 8.1})$$

$$b_1 < b_{1\text{ölçülen}} \quad \text{olmalı.}$$

Olmadı. Ancak Kaya Baysal hocama göre çark giriş genişliğini hesapladığımızda bu değer 65 mm. (Sayfa 61) ve 55 mm. (Sayfa 136) bulunmuştu. Biz Pumpen'e göre [L.5] 40 mm.yi seçmiştik.(Sayfa 62). Eğer 55 mm çark giriş genişliği ile meridyen kesiti çizseydik, $S_1(r_1 = 60 \text{ mm.})$ noktasında $b_{10\%}$ değerinin 49 mm.den büyük olduğunu görürdük. Diğer S_2, S_3, \dots, S_5 noktaları için de aynı sonuca varabiliriz.



Şekil 8.3- Hesaplanmış bir çarkın, imalat resmi ve kesit kontrolleri [L.2].

Yine Kaya BAYSAL [L.2] verdiği bir örnekte (Şekil 8.3), kanatlar arasındaki kanal kesitlerinin kontrolünü yaparken $(a_x \cdot b_x)$ çarpımı yerine $(m_x \cdot b_x)$ çarpımını ordinata taşımıştır. Bu kontrolü de yapalım;

$$m_1 \cdot b_1 = 49 \cdot 36,5 \cong 1789 \text{ mm}^2$$

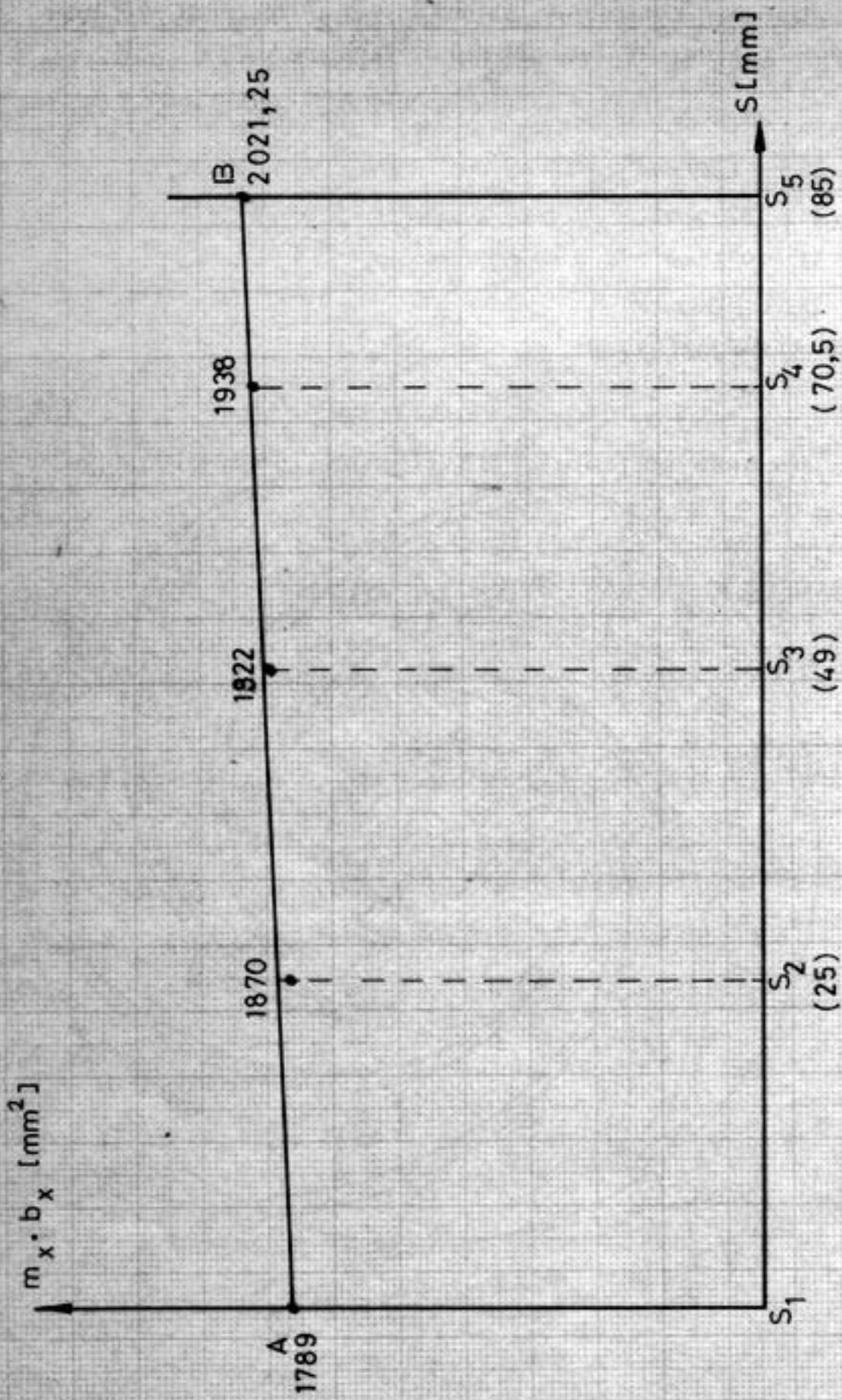
$$m_2 \cdot b_2 = 55 \cdot 34 = 1870 \text{ mm}^2$$

$$m_3 \cdot b_3 = 62 \cdot 31 = 1922 \text{ mm}^2$$

$$m_4 \cdot b_4 = 68 \cdot 28,5 = 1938 \text{ mm}^2$$

$$m_5 \cdot b_5 = 73,5 \cdot 27,5 = 2021,25 \text{ mm}^2$$

Değerler koordinat sisteminde gösterilirse, AB çizgisinin doğrusal olduğu görülür. (Şekil 8.4).



Şekil 8.4 - Kanatlar arasındaki kanal kesitlerinin kontrolü
($m_x \cdot b_x$ çarpımına göre)

geçen bir doğru çizelim. Bu doğru, tepesi eksen üzerinde bulunan bir koninin ana doğrusu olarak kabul olunabilir. ($\overline{Oi4}$ doğrusu).

$$\left. \begin{array}{l} \overline{Oi4} = 180 \text{ mm} \\ \overline{Oit} = 112 \text{ mm} \end{array} \right\} (\text{Şekil 8.1 ölçülen})$$

i_t noktası, hem $\phi 72$ dairesi hem de koninin ana doğrusu ($\overline{Oi4}$) üzerindedir. Aynı şekilde i_4 noktası $\phi 116$ dairesi ve $\overline{Oi4}$ doğrusu üzerinde bulunur. Öyleyse Şekil üzerinden (2x1 ölçekli),

$$S_{it-i4} = 53 \text{ mm}$$

ölçülür. Meridyen kesitte 4 noktası için (i) ve (a) ipçikleri arasındaki mesafe yaklaşık olarak 33 mm dir. O halde, (4) noktasında iki ipçik arasında geçit kesiti :

$$0,0265 \cdot 0,0165 = 0,00044 \text{ m}^2$$

ye eşittir.

($i_t - i_4$) ve ($a_t - a_4$) arasında ortalama izafi hız olarak hız üçgenlerinden;

$$\left. \begin{array}{l} i_t (\phi 72) \rightarrow W_{it} = \frac{83}{200} \cdot 29,81 = 12,4 \text{ m/sn. (Ölçülen : 83 mm.)} \\ i_4 (\phi 116) \rightarrow W_{i4} = \frac{90}{200} \cdot 29,81 = 13,4 \text{ m/sn. (Ölçülen : 90 mm.)} \end{array} \right\} (\text{Şekil 5.9})$$

$$\left. \begin{array}{l} a_t (\phi 110) \rightarrow W_{at} = \frac{118}{200} \cdot 29,81 = 17,59 \text{ m/sn. (Ölçülen : 118 mm.)} \\ a_4 (\phi 129) \rightarrow W_{a4} = \frac{116}{200} \cdot 29,81 = 17,3 \text{ m/sn. (Ölçülen : 116 mm.)} \end{array} \right\} (\text{Şekil 5.12})$$

$$\underline{\underline{W_{ort.} = 15,2 \text{ m/sn.}}}$$

elde edilir.

Göz önüne alınan kesit ve 7 kanalın hepsi için debi,

$$7 \cdot 0,00044 \cdot 15,2 = 0,0468 \text{ m}^3 / \text{sn} = \frac{Q_T}{2}$$

olmalıdır. (Meridyen düzlemi eşit debili 2 kanala bölünmüştür.)

$$\underline{\underline{Q_T = 0,094 \text{ m}^3 / \text{sn.} \cong 338 \text{ m}^3 / \text{saat}}}$$

$$Q_t = 0,0945 \text{ m}^3 / \text{sn} \cong 340 \text{ m}^3 / \text{saat}$$

olduğuna göre ;

$$Q_T (=338 \text{ m}^3 / \text{saat}) \cong Q_t (=340 \text{ m}^3 / \text{saat})$$

bulunur ki kesit **UYGUNDUR.**

NOT : Kanatlar arasındaki mesafenin ölçülmesinde, koninin yüzeyi üzerinde ölçülen kanat kalınlığını göz önüne almayı unutmamak gerekir.

8.7 - Kanatlar arasındaki koniklik açısının kontrolü :

• Kaya BAYSAL 'a göre [L.2] ;

İki kanat arasındaki koniklik açısı S_1S_5 yayının (Şekil 8.1) açılımı yapılarak ve a_1, a_5 daireleri yardımıyla ölçülür. θ koniklik açısı akışkanın kanatlardan ayrılmaması ve dolayısı ile hidrolik verimin düşmemesi için 10° den büyük olmamalıdır. Eğer, söz konusu θ açısı, sınır değeri aşıyorsa, kanat sayısını artırmak, kanat açılarını küçültmek suretiyle kanat boyunu büyütmek, D_1/D_2 oranını değiştirmek v.b. gibi çözüm yolları ile θ açısını küçültme olanakları aranmalıdır.

• Kovats' a göre [L.1] ;

Kanatlar arasındaki kanalların akım doğrultusunda (yani \vec{W} hızı doğrultusunda) ölçülen ıraksaklığı 1/10 ila 1/15 değerini geçmemesinde fayda vardır.

İki kanat arasındaki koniklik açısını (ortalama kanal açısı) hesaplayalım.(Şekil 8.1):

$$\text{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{(a_5 - a_1)/2}{S_1 S_5} = \frac{(54 - 20)/2}{175} = 0,097$$

$$\frac{\theta}{2} \cong 5,5^\circ \rightarrow \underline{\underline{\theta = 11^\circ}} \quad (1/10 \text{ ıraksaklık değerine göre uygun.})$$

9 - HİDROLİK KAYIPLAR [L.1]

Hidrolik kayıplar, kanallardaki sürtünme kayıpları ile enerji transformasyonu esnasında meydana gelen kayıplardan oluşur.

Enerji transformasyonu kaybı olan h_p' , basma yüksekliğinin belli bir yüzdesi olarak hemen hemen sabit kalır. Çarkın kanatlarına ve difüzöre girişte darbeden ve kesit daralmasından doğan kayıpları ayırmak zor olduğundan bunlar da enerji transformasyonu kayıplarına dahil edilirler. Ortalama olarak,

$$\frac{h_p'}{H} = 0,05 \quad (9/1)$$

değeri ile hesap yapmak mümkündür.

H – Toplam basma yüksekliği (*veya manometrik yükseklik*)

Kanatlarla cidarların oluşturdukları kanallardaki sürtünme kaybı, çarkta meydana gelen h_p'' kayıpları, difüzördeki h_{pd}'' kayıpları ile salyangozda ortaya çıkan h_{pv}'' kayıplarının toplamına eşittir.

Santrifüj çarklı makinalara ait ilk yaklaşık hesapları yapmak ve özellikle çeşitli tiplerin konstrüksiyon boyutları arasında bir karşılaştırma yapabilmek için % 2 ila 3 yaklaşıklıkla ortalama sonuçlar veren aşağıdaki formüller kullanılabilir. Bu formüller, aşağıda kabul edilen sembollerle yalnız boyut oranlarını ve deneysel katsayıları ihtiva etmektedir.

Semboller :

$$\frac{D_1}{D_2} = A ; (D_1 - \text{Giriş çapı} ; D_2 - \text{Dış çap})$$

$$\frac{D_2}{b_2} = B ; (b_2 - \text{Çarktan çıkışta çark kanadı genişliği})$$

Z- Çarktaki kanat sayısı

Z_d- Difüzörün kanat sayısı

L- Bir kanadın uzunluğu

$$X = \frac{L}{D_2}$$

d_v – Salyangozun son (çıkış) kesitinin çapı

$$Y = \frac{d_v}{D_2}$$

β_m – Ortalama kanat açısı (Çarka giriş ve çıkıştaki kanat açılarının ortalaması)

α – Difüzör kanatlarının açısı

Ψ – Basınç katsayısı ($= 2 \cdot g \cdot \frac{H}{U_2^2}$)

k_d – Debi katsayısı ($= \frac{Q}{U_2 \cdot D_2^2}$)

λ – Sürtünme katsayısı

$(h_p' + h_p'')$ hidrolik kayıplarının H yüksekliğine olan oranı ;

• **Çark için :**

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(\text{Çark})}} = \left(1 - \frac{\Psi}{4}\right) \cdot 0,05 + \lambda \left[0,125 \cdot \frac{X}{\Psi} \cdot \left(\frac{0,64 \cdot Z}{(1+A) \cdot \sin\beta_m} + \frac{B}{1,3} \right) \cdot \left(\frac{1+A-0,75 \cdot \Psi}{\cos\beta_m} \right)^2 \right] \quad (9/2)$$

• **Tam anlamıyla radyal bir çark için :**

$$L = \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot \sin\beta_m} = \frac{D_2 \cdot \left(1 - \frac{D_1}{D_2}\right)}{2 \cdot \sin\beta_m} = \frac{D_2 \cdot (1-A)}{2 \cdot \sin\beta_m}$$

$$X = \frac{L}{D_2} = \frac{(1-A)}{2 \cdot \sin\beta_m}$$

olduğundan,

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(\text{Çark})}} = \left(1 - \frac{\Psi}{4}\right) \cdot 0,05 + \lambda \left[0,064 \cdot \frac{(1-A)}{\Psi \cdot \sin\beta_m} \cdot \left(\frac{0,64 \cdot Z}{(1+A) \cdot \sin\beta_m} + \frac{B}{1,3} \right) \cdot \left(\frac{1+A-0,75 \cdot \Psi}{\cos\beta_m} \right)^2 \right] \quad (9/3)$$

yazılabilir.

• Salyangoz için :

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(Saly)}} = \frac{\Psi}{4} \cdot 0,05 + \lambda \cdot 0,075 \cdot \Psi \cdot \left[\left(0,5 \cdot Y + \frac{1}{1,5 \cdot Y} \right) \cdot \left(1 + \frac{1}{1+Y} \right)^2 \right] + \frac{E}{H} \quad (9/4)$$

$$E = \lambda_v \cdot \frac{L_s}{d_m} \cdot \frac{V_m^2}{2 \cdot g} \quad (9/5)$$

Salyangozun son kesiti pompanın çıkış kesitinden daha küçük ise, bu takdirde salyangozun bir konik boruyla devam etmesi lazımdır. Bu konik boruda meydana gelen kayıplar da E - terimi ile göz önüne alınmıştır.

$$\lambda_v \cong 0,85 \cdot \lambda_{çark}$$

L_s – Difüzör konisinin uzunluğu

d_m – Bu koninin ortalama çapı

V_m – Bu koninin ortalama kesitindeki ortalama hız

$$Y = \frac{d_v}{D_2} \text{ değeri,}$$

$$Y = 1,1 \cdot \frac{k_d}{\Psi} + 1,46 \cdot \sqrt{\frac{k_d}{\Psi}} \quad (9/6)$$

bağıntısı ile de hesaplanabilir.

• Difüzör için :

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(dif.)}} = 0,05 \cdot \frac{\Psi}{4} + \lambda \cdot \frac{0,01 \cdot \Psi}{\text{Sin} \alpha \cdot \text{Cos}^2 \alpha} \cdot \left(\frac{0,27 \cdot Z_d}{\text{Sin} \alpha} + B \right) \quad (9/7)$$

elde edilir.

Hidrolik verim ;

$$\eta_h = \frac{1}{1 + \frac{(h_p' + h_p'')}{H}} \quad (9/8)$$

şeklinde tanımlanır. Normal çalışma noktası için (yani pompanın tesis edildiği basma yüksekliğine karşılık gelen nokta için) hidrolik kayıplar,

$$h_p = h_p' + h_p'' \quad (9/9)$$

dır.

10 - KARAKTERİSTİK EĞRİNİN HESABI VE ÇİZİMİ [L.1]

Teorik olarak, karakteristik eğri, H_t eğrisi çizilip bundan ayrı ayrı kayıpları çıkarmak suretiyle elde edilebilir. Ancak, gerçekte kayıpların değerleri doğru olarak tespit edilemez ve eğrinin hesabı kapalı vana halindeki basma yüksekliği ile sıfır yüksekliğine karşılık gelen debi değerleri gibi ekstrem noktalarda %5 veya daha fazla bir fark yaratabilir. Fakat, kayıpların tahmininde önemli bir hata yapılmazsa hesapla bulunan eğri iyi bir yaklaşıklık ve özellikle eğrinin formu hakkında çok güzel fikir verir.

Dikkat etmek gerekir ki, H_t eğrisi çarka girişteki ön dönmeye bağlıdır. Debi çarkın hesaplandığı değerden daha küçük ise akışkan çarka bir ön dönme ile girer. Girişte kanatlar arasındaki geçiş kesitleri küçük ve sürtünme büyük olduğu oranda bu ön dönme fazla olur. Eğer giriş ağzı yakınında kanat (veya kaburga) varsa, bu kanatlar ön dönmeye engel olurlar veya hiç olmazsa onu azaltırlar.

KOVATS 'a göre, radyal çarkların karakteristik eğrilerinin hesap metodu iki kısımdan oluşur :

1°- H_t eğrisinin hesabı;

Eğrinin hesaplandığı noktadan başka çalışma noktalarına ait değerleri X endisi ile gösterelim.

$H_{teo.}; H_t$ – Teorik basma yüksekliği veya teorik manometrik yükseklik (sonlu sayıda kanadı olan bir çark halinde teorik manometrik basma yüksekliği)

$$\Psi_x = X \cdot \Psi \quad (10/1)$$

$$\Psi_{tx} = X \cdot \Psi_t \quad (10/2)$$

olsun.

- Ψ – Basma yüksekliği katsayısı veya basınç katsayısı
 Ψ_t – Teorik basma yüksekliği katsayısı
 Ψ_x – X çalışma noktasına ait basma yüksekliği katsayısı
 Ψ_{tx} – X çalışma noktasına ait teorik basma yüksekliği katsayısı

Kanadın δ_0 hücum açısını veren denklemi yazalım,

$$\sin \delta_0 = \frac{D_2 \cdot V_{u2} - D_1 \cdot V_{u1}}{Z \cdot L \cdot W_\infty \cdot (\xi'_p / \xi_p)} \quad (\text{Eşitlik 5/29})$$

Pratik sınırlar içinde,

$$\left. \begin{array}{l} \sin \delta_0 = c \cdot \delta_0 \\ \xi'_p / \xi_p = C'' \\ c \cdot C'' = C \end{array} \right\} \text{ alınabilir.}$$

$$c \cdot \delta_0 = \frac{D_2 \cdot V_{u2} - D_1 \cdot V_{u1}}{Z \cdot L \cdot W_\infty \cdot C''} \rightarrow \delta_0 = \frac{D_2 \cdot V_{u2} - D_1 \cdot V_{u1}}{Z \cdot L \cdot W_\infty \cdot c \cdot C''}$$

$$\delta_0 = \frac{D_2 \cdot V_{u2} - D_1 \cdot V_{u1}}{Z \cdot L \cdot W_\infty \cdot C} = \left(\frac{D_2}{C \cdot Z \cdot L} \right) \cdot \frac{V_{u2} - V_{u1} \cdot \frac{D_1}{D_2}}{W_\infty}$$

D_2 çapı üzerinde ölçülen adım,

$$t = \frac{\pi \cdot D_2}{Z} \quad (\text{Eşitlik 5/7})$$

dir.

$$\delta_0 = \left(\frac{t}{\pi \cdot C \cdot L} \right) \cdot \frac{V_{u2} - V_{u1} \cdot \frac{D_1}{D_2}}{W_\infty} \quad (10/3)$$

Bu denklemi boyutsuz terimlerle yazalım ;

$$\eta_h = \frac{1}{1 + \frac{(h_p' + h_p'')}{H}} \quad (\text{Eşitlik 9/8})$$

$$\eta_h = \frac{H}{H + (h_p' + h_p'')} = \frac{H}{H + h_p} = \frac{H}{H_t} = \frac{H_t - h_p}{H_t}$$

$$\eta_h = 1 - \frac{h_p}{H_t} = \frac{H}{H_t} = \frac{\Psi}{\Psi_t} \quad (10/4)$$

olduğu bilinmektedir.

$$V_{u2} = \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h} \cdot U_2 \quad (\text{Eşitlik 5/9})$$

η_h yerine konursa,

$$V_{u2} = \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} \quad (10/5)$$

ayrıca,

$$V_{u1} = \frac{U_2 \cdot \Psi_p}{2} \quad (10/6)$$

yazılabilir.

Ψ_p – Ön dönme katsayısı

Şekil 5.6 daki hız üçgenlerinden faydalanarak,

$$W_{u2} = U_2 - V_{u2} = U_2 - \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} = \left(1 - \frac{\Psi_t}{2}\right) \cdot U_2 \quad (10/7)$$

$$W_{u1} = U_1 - V_{u1} = \frac{D_1}{D_2} \cdot U_2 - \frac{U_2 \cdot \Psi_p}{2} = \left(\frac{D_1}{D_2} - \frac{\Psi_p}{2}\right) \cdot U_2 \quad (10/8)$$

$$\cos\beta_\infty = \frac{(W_{u1} + W_{u2})/2}{W_\infty}$$

$$W_\infty = \frac{\left(\frac{D_1}{D_2} - \frac{\Psi_p}{2}\right) + \left(1 - \frac{\Psi_t}{2}\right)}{2 \cdot \cos\beta_\infty} \cdot U_2 \quad (10/9)$$

eşitlikleri yazılabilir.

W_{u2} – Çıkış izafi hızının teğetsel hız bileşeni

W_{u1} – Giriş izafi hızının teğetsel hız bileşeni

Boyutsuz terimler (10/3) eşitliğinde yerine konursa,

$$\delta_0 = \left(\frac{t}{\pi \cdot C \cdot L}\right) \cdot \frac{\left(\Psi_t - \Psi_p \cdot \frac{D_1}{D_2}\right)}{2 \cdot W_\infty} \cdot U_2 \quad (10/10)$$

olur.

$(\Psi_{tx} = X \cdot \Psi_t)$ 'e karşılık gelen değerler (X) indisi ile gösterilirse (10/3) denklemi şu şekli alır:

$$\delta_x = \left(\frac{t}{\pi \cdot C \cdot L}\right) \cdot \frac{\frac{U_2 \cdot \Psi_{tx}}{2} - \frac{U_2 \cdot \Psi_{px}}{2} \cdot \frac{D_1}{D_2}}{\left(\frac{D_1}{D_2} - \frac{\Psi_{px}}{2}\right) + \left(1 - \frac{\Psi_{tx}}{2}\right)} \cdot \frac{2 \cdot \cos\beta_{\infty x}}{U_2}$$

$$\delta_x = \left(\frac{t}{\pi \cdot C \cdot L}\right) \cdot \frac{\left(\frac{X \cdot \Psi_t}{2} - \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{\Psi_{px}}{2}\right) \cdot 2 \cdot \cos\beta_{\infty x}}{\left(\frac{D_1}{D_2} - \frac{\Psi_{px}}{2}\right) + \left(1 - \frac{X \cdot \Psi_t}{2}\right)} \quad (10/11)$$

Adaptasyon noktasında (çarkın hesaplanmış olduğu noktada) $\Psi_{px} = 0$ ise, (Bu noktada $\Psi_x = X \cdot \Psi$ den dolayı $X = 1$ dir.) bağıntı ;

$$\delta_{adapt.} = \left(\frac{t}{\pi \cdot C \cdot L} \right) \cdot \frac{\frac{\Psi_t}{2} \cdot 2 \cdot \text{Cos}\beta_\infty}{\frac{D_1}{D_2} + 1 - \frac{\Psi_t}{2}} = \left(\frac{t}{\pi \cdot C \cdot L} \right) \cdot \frac{2 \cdot \text{Cos}\beta_\infty}{\frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{2}{\Psi_t} + \left(1 - \frac{\Psi_t}{2} \right) \cdot \frac{2}{\Psi_t}} \quad (10/12)$$

ve,

$$\frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{2}{\Psi_t} = K \quad (10/13)$$

dönüşümü ile,

$$\delta_{adapt.} = \delta = \left(\frac{t}{\pi \cdot C \cdot L} \right) \cdot \frac{2 \cdot \text{Cos}\beta_\infty}{K - 1 + (2/\Psi_t)} \quad (10/14)$$

şeklinde yazılır

δ dan hareketle δ_x değeri şu oranla hesaplanır:

$$\frac{\delta_x}{\delta} = \left[\frac{\left(\frac{X \cdot \Psi_t}{2} - K \cdot \frac{\Psi_t}{2} \cdot \frac{\Psi_{px}}{2} \right) \cdot 2 \cdot \text{Cos}\beta_{\infty x}}{\left(K \cdot \frac{\Psi_t}{2} - \frac{\Psi_{px}}{2} \right) + \left(1 - \frac{X \cdot \Psi_t}{2} \right)} \right] \cdot \left[\frac{2 \cdot \text{Cos}\beta_\infty}{K - 1 + (2/\Psi_t)} \right]$$

$$\frac{\delta_x}{\delta} = \frac{\frac{\Psi_t}{2} \cdot \left(X - K \cdot \frac{\Psi_{px}}{2} \right) \cdot \left(K - 1 + \frac{2}{\Psi_t} \right) \cdot \text{Cos}\beta_{\infty x}}{\frac{\Psi_t}{2} \cdot \left[\left(K - \frac{\Psi_{px}}{\Psi_t} \right) + \left(\frac{2}{\Psi_t} - X \right) \right] \cdot \text{Cos}\beta_\infty}$$

$$\frac{\delta_x}{\delta} = \frac{\left(X - K \cdot \frac{\Psi_{px}}{2} \right) \cdot \left(K + \frac{2}{\Psi_t} - 1 \right) \cdot \text{Cos}\beta_{\infty x}}{\left(K + \frac{2}{\Psi_t} \right) - \frac{\Psi_{px}}{\Psi_t} - X} \cdot \text{Cos}\beta_\infty \quad (10/15)$$

Burada,

$$\frac{\cos\beta_{\infty x}}{\cos\beta_{\infty}} \cong 1$$

alınırsa,

$$\frac{\delta_x}{\delta} = \frac{\left(X - K \cdot \frac{\Psi_{px}}{2}\right) \cdot \left(K + \frac{2}{\Psi_t} - 1\right)}{\left(K + \frac{2}{\Psi_t}\right) - \frac{\Psi_{px}}{\Psi_t} - X} \quad (10/16)$$

bulunur.

H_t eğrisini çizmek için (Şekil 10.1), Ψ_{px} in bilinen veya tahmin edilen değerini kullanarak (10/15) veya (10/16) denklemi ile $\Psi_{tx} = X \cdot \Psi_t$ için δ_x değerini hesaplamak lazımdır.

δ_x doğrultusunda bir doğru çizilir ve bu doğru üzerinde Ψ_{tx} ve Ψ_{px} değerlerine karşılık gelen yatay doğrular arasındaki düşey mesafeyi iki eşit kısma bölen nokta tespit edilir. Bu noktadan geçen düşey doğru V_{mx} 'e karşılık gelir.

Not : EULER Denklemi:

$$g \cdot H_t = V_{u2} \cdot U_2 - V_{u1} \cdot U_1 \quad (10/17)$$

bağıntısı, türbo-makinaların esas denklemidir ve " Euler denklemi" adını alır.

Euler denklemi;

$$g \cdot H_t = \omega \cdot (V_{u2} \cdot r_2 - V_{u1} \cdot r_1) \quad (10/18)$$

şeklinde yazılabilir ve sirkülasyon tarifini kullanarak

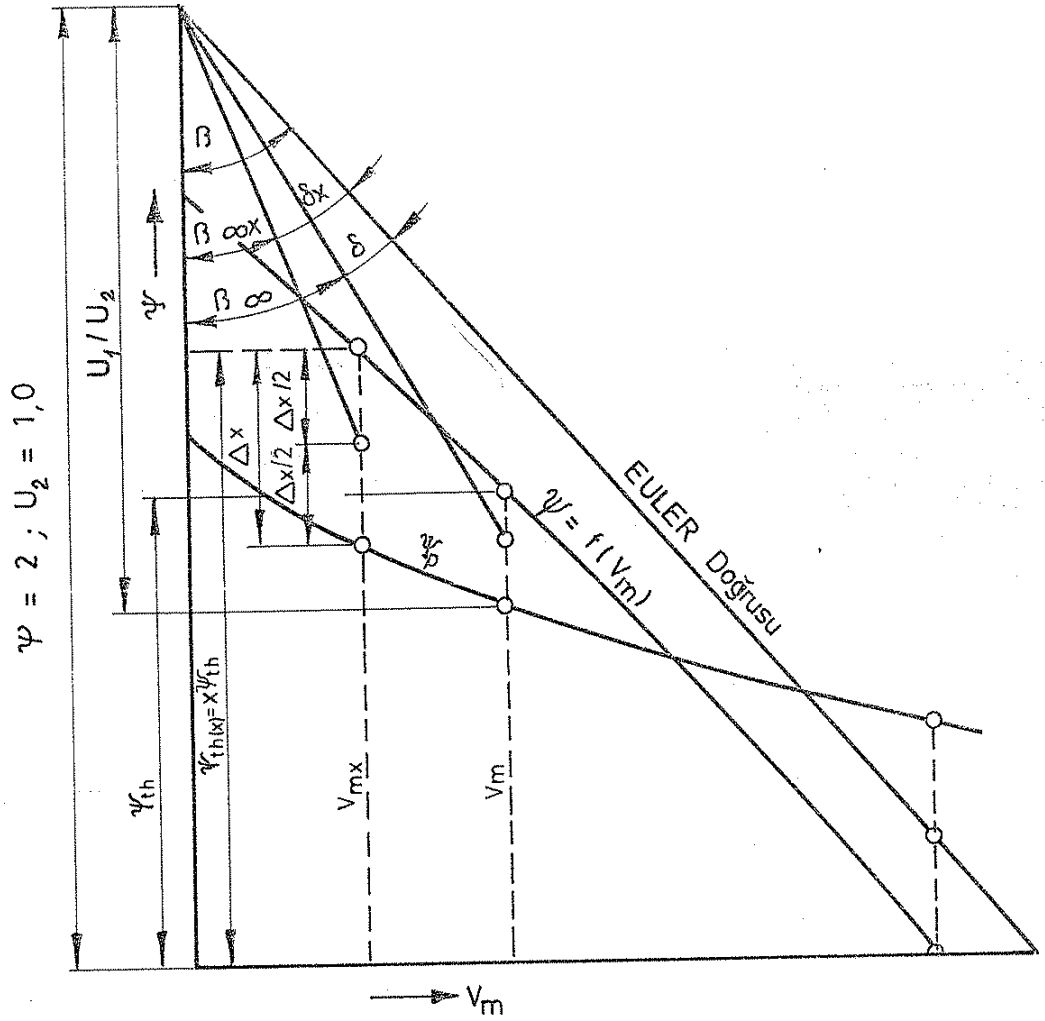
$$\Gamma = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot V_u \quad (\text{Eşitlik 5/13})$$

$$g \cdot H_t = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \cdot (\Gamma_2 - \Gamma_1) \quad (10/19)$$

sonucuna varılır.

Girişte.

$$V_{m1} \cdot U_1 = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \cdot \Gamma_1$$



Şekil 10.1- Radyal bir çark için H_1 eğrisinin çizimi [L.1].

değeri genel olarak $V_{u2} \cdot U_2$ yanında ihmal edilebilir. Bu durumda (10/17), (10/18) ve (10/19) denklemleri,

$$\left. \begin{aligned} g \cdot H_t &= V_{u2} \cdot U_2 \\ g \cdot H_t &= \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \cdot \Gamma_2 \end{aligned} \right\} \quad (10/20)$$

şeklini alırlar.

(10/20) Euler formülüne göre, bir pompanın teorik basma yüksekliği yalnız U_2 çevresel hızına ve V_{u2} teğetsel bileşenine bağlıdır.

Vana kapalı iken, debi sıfır ve V_{u2} de U_2 ye eşit olduğu için, teorik basma yüksekliği ;

$$H_{t \max}^{(Euler)} = \frac{U_2^2}{g} \quad (10/21)$$

Şayet akışkan kanatların doğrultusunu takip ederek aksaydı bu değer teorik basma yüksekliği olurdu. Ekseriye buna, sıfır debisine karşılık gelen "Euler" basma yüksekliği ismi verilir. Çarkın içinde hiçbir akış olmasaydı, sıfır debisinde maksimum basma yüksekliği ;

$$H'_{\max} = \frac{U_2^2}{2 \cdot g} \quad (10/22)$$

olurdu.

2°- h_p yük kayıplarının hesabı :

$$\eta_h = 1 - \frac{h_p}{H_t} = \frac{H}{H_t} = \frac{\Psi}{\Psi_t} \quad (Eşitlik 10/4)$$

olduğuna göre, η_h değerini hesaplayabilmek için h_p değeri bilinmelidir. Bu kayıp kısmi kayıplardan meydana gelir ve,

$$h_p = h'_p + h''_p + h'''_p + h''''_p \quad (10/23)$$

yazılabilir. (Şekil 10.2).

h'_p ve h''_p yük kayıpları ile ilgili bilgiler, 9.Kısımda yeterince verildi. Ancak, (h'_p / H_t) boyutsuz oranının ;

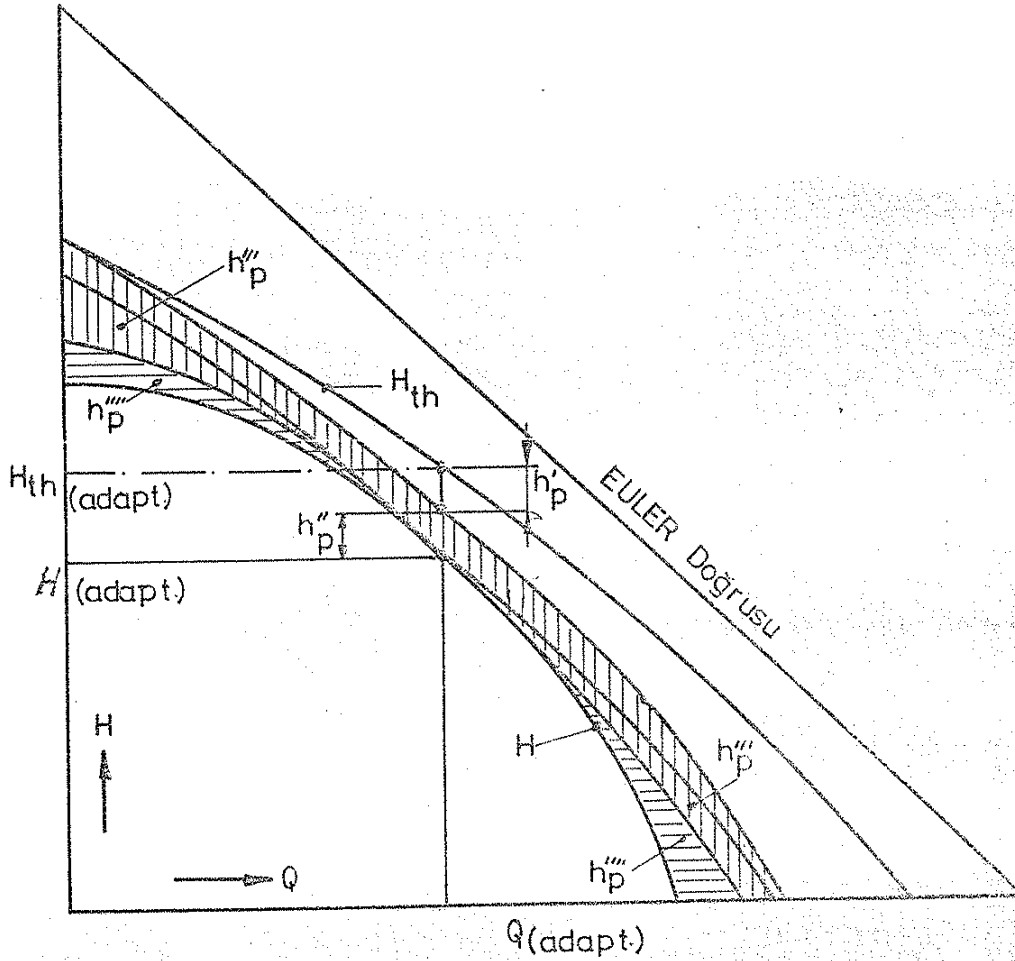
- En çok rastlanan değerleri,

$$\frac{h'_p}{H_t} = 0,04 \dots 0,10 \quad (10/24)$$

* Çalışma noktası dışındaki değerler)

$$\left(\frac{h_p}{H_1}\right)_x = \left(\frac{h_p}{H_1}\right) \cdot \left(\frac{W_{ax}}{W_a}\right)^2 \quad (10/25)$$

kullanılarak hesap yapılabilir.



Şekil 10.2- Değişken rejimde kayıpların ayrılması [L.1].
(adapt: adaptasyon veya çalışma noktası)

h_p''' - Difüzör veya salyangozdaki ilave yük kaybı.

(h_p''/H_1) kaybı, giriş hızının tesis veya çalışma noktasındaki değerinden daha büyük ve debinin daha küçük olduğu, veya tersine, giriş hızının daha küçük ve debinin giriş ve çıkış kesitlerinin ϵ oranına karşılık gelen değerlerinden daha büyük olduğu zaman meydana gelir

• **Difüzörler için;**

$$h_{px}^m = \frac{0,8}{2 \cdot g} \cdot \left[V_{u2x} - \varepsilon \cdot V_{u2} \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} + \varepsilon \cdot V_{u2} - V_{u2} \right]^2$$

deneysel formülü yazılabilir. Bu formülde bazı değerler yerine konursa,

$$h_{px}^m = \frac{0,8}{2 \cdot g} \cdot \left[\frac{U_2 \cdot \Psi_{tx}}{2} - \varepsilon \cdot \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} + \varepsilon \cdot \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} - \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} \right]^2$$

$$h_{px}^m = \frac{0,8}{2 \cdot g} \cdot \left[\frac{U_2 \cdot X \cdot \Psi_t}{2} - \varepsilon \cdot \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} + \varepsilon \cdot \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} - \frac{U_2 \cdot \Psi_t}{2} \right]^2$$

$$h_{px}^m = \frac{0,8}{2 \cdot g} \cdot \frac{U_2^2 \cdot \Psi_t^2}{4} \cdot \left[X - \varepsilon \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} + \varepsilon - 1 \right]^2$$

$$h_{px}^m = \frac{0,8}{4} \cdot H_t \cdot \Psi_t \cdot \left[X - 1 + \varepsilon \cdot \left(1 - \frac{V_{mx}}{V_m} \right) \right]^2$$

$$\left(\frac{h_p^m}{H_t} \right)_x = 0,2 \cdot \Psi_t \cdot \left[X - 1 + \varepsilon \cdot \left(1 - \frac{V_{mx}}{V_m} \right) \right]^2 \quad (10/26)$$

elde edilir.

• **Salyangozlar için,**

ε ; 360° deki kesit merkezinin yarı çapı R_v ile çarkın R_2 dış yarıçapının oranıdır.

$$\varepsilon_v = \frac{R_2}{R_v} \quad (10/27)$$

• Kanatlı difüzörler için;

ε ; akıma dik olarak ölçülen giriş ve çıkış kesitlerinin oranıdır.

$$\varepsilon_d = \frac{S_{d2}}{S_2} \quad (10/28)$$

h_p'''' - Darbe kaybı

h_p'''' ; W_1 in doğrultusu β_{1k} nın doğrultusu ile çakışmadığı veya giriş "darbesiz" olduğu zaman, yani, tesis veya çalışma noktasındaki şartlardan başka şartlar için girişteki ilave kayıptır.

Girişte uygun şartların var olduğu kabul edilerek boyutsuz terimlerle yük kaybı şöyle yazılabilir;

$$\left(\frac{h_p''''}{H_t} \right)_x = \frac{1}{\Psi_t} \cdot \left(\frac{W_1}{U_2} \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} \right)^2 \cdot \text{Sin} \Delta \beta_{1kx} \quad (10/29)$$

β_{1kx} açısı W_{1x} e karşılık geldiğine göre,

$$\Delta \beta_{1kx} = \beta_{1k} - \beta_{1kx} \quad (10/30)$$

dır.

Ψ_x e karşılık gelen Ψ_x değerini bulmak için,

$$\Psi_x = \left[X - \left(\frac{h_p'}{H_t} + \frac{h_p''}{H_t} + \frac{h_p'''}{H_t} + \frac{h_p''''}{H_t} \right) \right] \cdot \Psi_t \quad (10/31)$$

veya,

$$\Psi_x = \Psi_t \cdot \left[X - \frac{h_p''}{H_t} - \frac{h_p'}{H_t} \cdot \left(\frac{W_{\infty x}}{W_{\infty}} \right)^2 \right] - 0,2 \cdot \Psi_t \cdot \left[X - 1 + \varepsilon + \left(1 - \frac{V_{mx}}{V_m} \right) \right]^2 - \frac{1}{\Psi_t} \cdot \left(\frac{W_1}{U_2} \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} \right)^2 \cdot \text{Sin} \beta_{1kx} \quad (10/32)$$

denklemini kullanabiliriz.

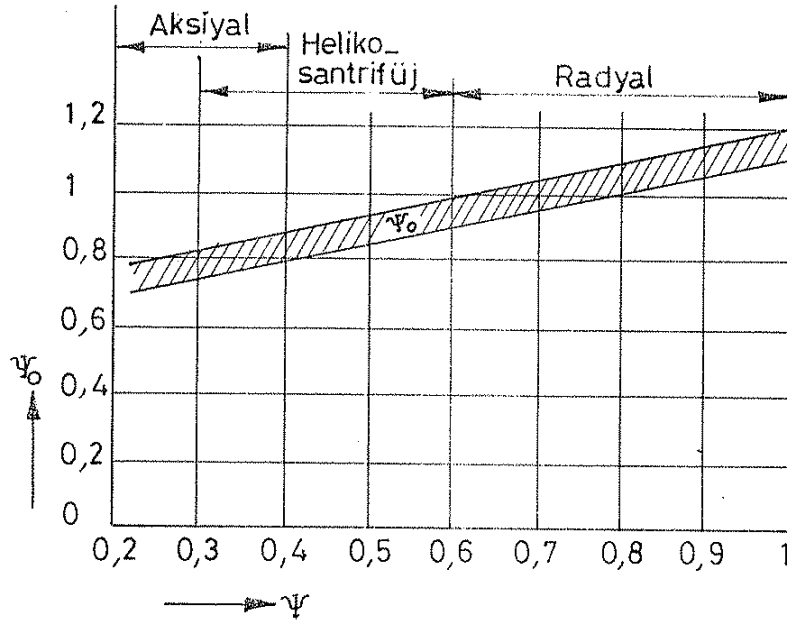
$X = 1$; yani çalışma noktası için,

$$h_p = h_p' + h_p'' \quad (\text{Eşitlik 9/9})$$

olduğuna göre, (10/31) veya (10/32) formülleri basitleşir ve şu şekli alır:

$$\Psi_x = \Psi_t \cdot \left(1 - \frac{h_p'}{H_t} - \frac{h_p''}{H_t} \right) \quad (10/33)$$

Kapalı vana, yani debinin sıfır olması halinde basma yüksekliğini bu metotla hesaplamak mümkün değildir. Zira, sıfır debisinde kanatlar etrafındaki sirkülasyonun da sıfır olması gerekir. Kapalı vana halindeki Ψ_0 katsayısının en çok kullanılan değerleri hakkında Şekil 10.3 bazı bilgiler vermektedir.



Şekil 10.3 – Çalışma noktasındaki Ψ nin fonksiyonu olarak kapalı vana halindeki Ψ_0 in normal değerleri [L.1]

Francis tipi çarkların çalışma eğrileri radyal akışlı çarklarınkı gibi hesaplanır ancak, farklı ipçiklere ait kanat açıları aynı olmadığından pratikte,

çarkı meridyen düzlemde eşit debili iki kısma bölmek ve çalışma noktasından farklı her nokta için V_{mx}/V_m değerlerini eşit debili iki kısmın ortasında hesaplamak ve sonra da V_{mx} olarak ortalama değeri almak kafi gelmektedir.

Bu teoride ancak yük kayıpları incelenmiştir. Çünkü, çalışma eğrisi üzerine sadece bu kayıplar tesir eder. Dış kayıpların (disk sürtmesi gibi) etkisi ancak genel verime yansıyan bir efektif güç artışı şeklinde ortaya çıkar.

Karakteristiklerin hesabı ve çizimi :

Yine Kovats' tan [L.1] bir örnek;

KOVATS, hareket noktası olarak, Ψ_{th} ye karşılık gelen H_{th} eğrisini iki ipçik için hesaplamış (*e ve a*) ve sonra ortalamasını almıştır. Daha doğru bir çizim yapabilmek için çarkı eşit debili iki kısma bölüp böylece elde edilen kanalların orta ipçiklerini hesaplamak gerekir. Fakat Kovats, hesapları ön kapak üzerindeki (*a*) ipçiği ile göbük kısmı üzerindeki (*e*) ipçiği için yapmış bu değerleri kullanmış ve bundan doğacak hatanın da ihmal edilebilir olacağını söylemiştir.

Örnekte ;

- Önce, $\Psi_{th} = f(V_{m2})$ eğrileri çizilmiş. Sürekli çizgi ile gösterilen eğri (*a*) ipçiğine, kesik çizgilerle temsil edilen eğri de (*e*) ipçiğine aittir.
- $\Psi_{th(x)}$ teorik değerine karşılık gelen $\delta_{0(x)}$ açısı hesaplanmış,

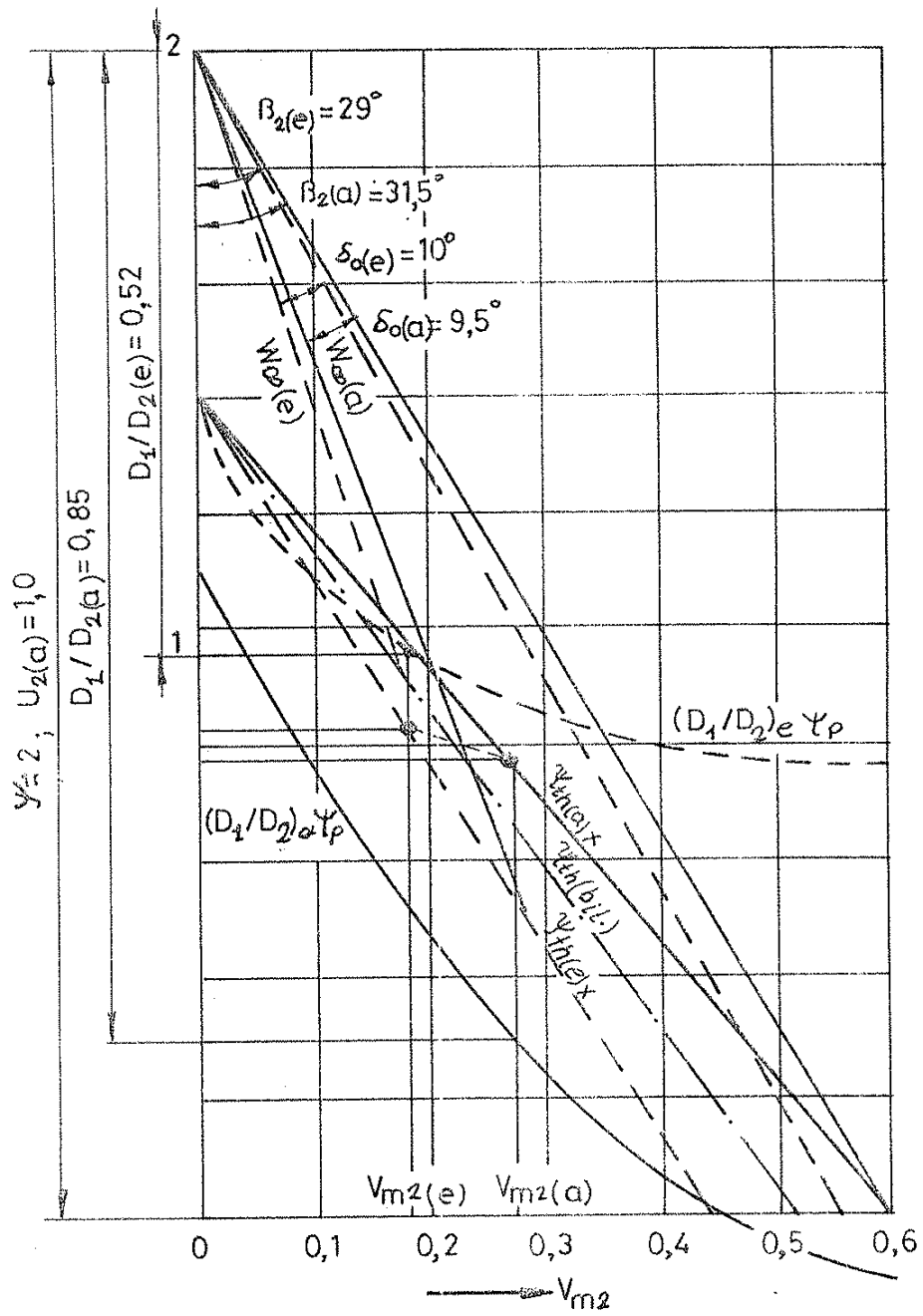
$$\delta_{0(x)} = C \cdot \frac{\Psi_{th(x)}}{W_{\infty} \cdot \text{Cos}\beta_{\infty(x)}} \quad (10/34)$$

$$C = \frac{\delta_0 \cdot W_{\infty} \cdot \text{Cos}\beta_{\infty}}{\Psi_{th}} \quad (10/35)$$

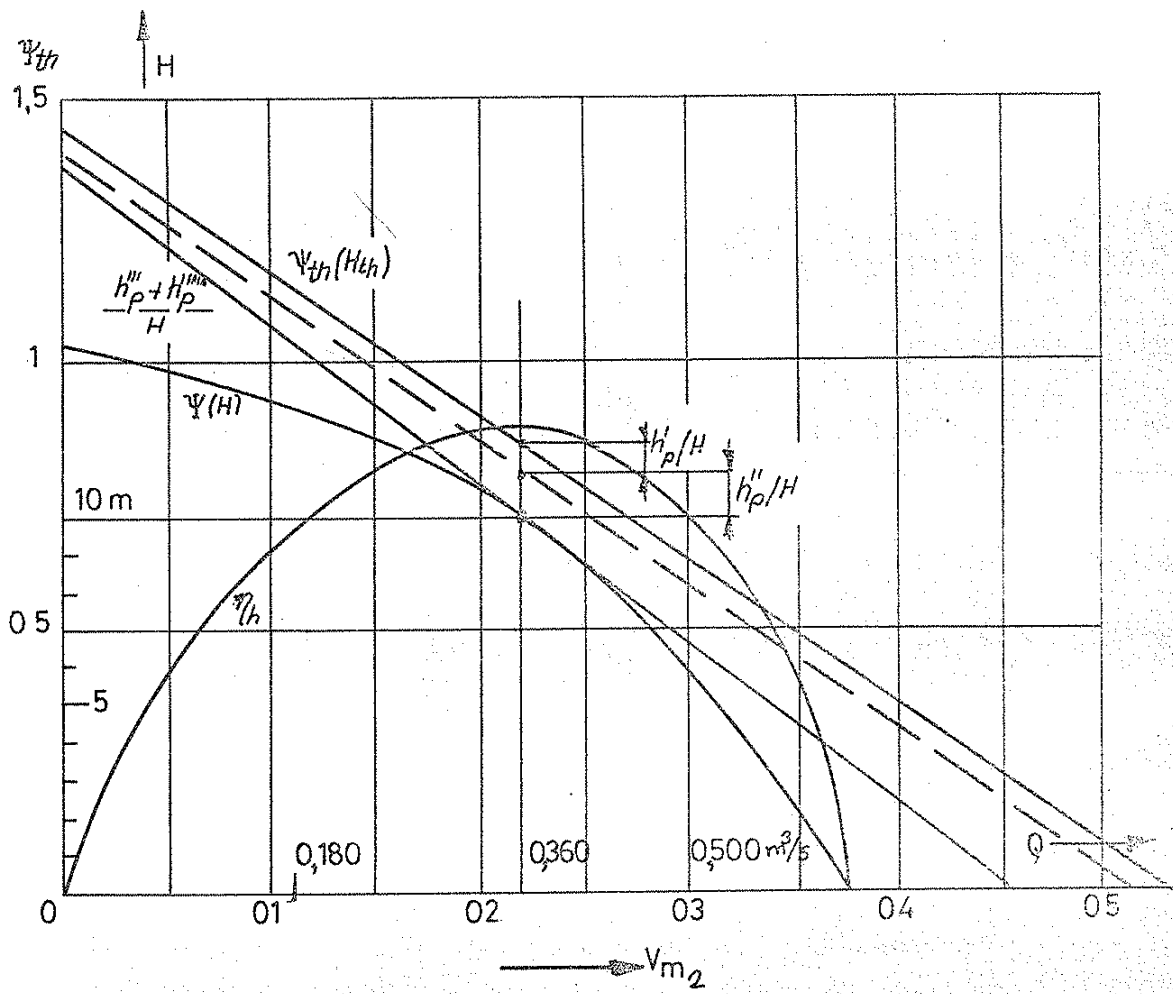
• $\Psi_{th(x)} = X \cdot \Psi_{th}$ nın bir çok noktası tespit edilmiş ve iki $\Psi_{th(x)}$ eğrisi çizilerek bileşke olarak bu iki eğrinin açı ortayı alınmıştır. (Şekil 10.4).

• h_p'/H pratik olarak sabit kaldığından, debinin çeşitli değerleri için yalnız h_p''/H , h_p'''/H ve h_p''''/H hidrolik kayıpları hesaplanmış ve Ψ_{th} eğrisinden çıkarılarak $\Psi_{(H)}$ eğrisi elde edilmiştir. (Şekil 10.5).

KOVATS tan aktarılan bu bilgilerden sonra pompamıza ait ($Q = 90 \text{ lt/san. ; } H_m = 141 \text{ m.S.S}$) karakteristiklerin hesabı ve çizimini yapalım :



Şekil 10.4 - $\gamma_{th} = f(V_{m2})$ eğrisinin çizimi



Şekil 10.5 - Karakteristik eğrinin çizimi

1⁰- $\Psi_{th(i)x}$, $\Psi_{th(d)x}$ ve $\Psi_{th(bileşke)}$ eğrilerinin V_{m2} nin fonksiyonu olarak çizimi (Şekil 10.6) :

Adaptasyon noktası (işletme noktası) için elde edilen değerler;

$(d_1 - d_2)$ ipçiği için:	$(i_1 - i_2)$ ipçiği için:
$\bullet U_{d1} = U_1 = \frac{D_{d1d}}{D_{od}} \cdot U_{od} = \frac{D_1}{D_2} \cdot U_2 = \frac{148}{194} \cdot U_2$ $U_{d1} = U_1 = 0,763 \cdot U_2$	$\bullet U_{i1} = \frac{D_{ili}}{D_{oi}} \cdot U_{oi} = \frac{72}{183} \cdot 0,94 \cdot U_2$ $U_{i1} = 0,37 \cdot U_2$
$\bullet V_{md1} = V_{m1} = 0,2 \cdot U_2$	$\bullet V_{mi1} = V_{m1} = 0,2 \cdot U_2$
$\bullet V_{(m0)d} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2$	$\bullet V_{(m0)i} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2$
$\bullet \eta_h = 0,90$	$\bullet \eta_h = 0,90$
$\bullet \Psi = 0,78$	$\bullet \Psi = 0,78$
$\bullet \beta_\infty = 14,1^0$	$\bullet \beta_\infty = 21,45^0$
$\bullet W_\infty = 0,686 \cdot U_2$	$\bullet W_\infty = 0,457 \cdot U_2$
$\bullet \beta_{2k} = 30^0$	$\bullet \beta_{2k} = 36^0$
$\bullet \delta_0 = 16^0$	$\bullet \delta_0 = 14^0$
$\bullet V_{(u0)d} = V_{u2} = \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h} \cdot U_{od} = \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h} \cdot U_2$ $V_{(u0)d} = V_{u2} = \frac{0,78}{2 \cdot 0,90} \cdot U_2$ $V_{(u0)d} = V_{u2} = 0,433 \cdot U_2$	$\bullet V_{(u0)i} = \frac{D_{od}}{D_{oi}} \cdot V_{(u0)d}$ $V_{(u0)i} = \frac{D_{od}}{D_{oi}} \cdot \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h} \cdot U_2 = \frac{\Psi}{2 \cdot \eta_h \cdot (D_{oi} / D_{od})} \cdot U_2$ $V_{(u0)i} = \frac{0,433}{(183/194)} \cdot U_2 = 0,46 \cdot U_2$
$\bullet \Psi_{th(d)} = \frac{\Psi}{\eta_h} = \frac{0,78}{0,90}$ $\Psi_{th(d)} = 0,87$	$\bullet \Psi_{th(i)} = \frac{\Psi}{\eta_h \cdot (D_{oi} / D_{od})} = \frac{0,78}{0,90 \cdot (183/194)}$ $\Psi_{th(i)} = 0,92$

$\beta_{2k(i)} = 36^0$ kanat açısı ile Euler doğrusunu ($\Psi = 2$ ve Eşitlik 10/21) çizelim ($\overline{K'K}$ doğrusu). Bu doğrunun apsis eksenini kestiği K noktasında V_{m2} maksimumdur. $A[V_{(m0)i} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 ; \Psi_{th(i)} = 0,92]$ çalışma noktası olmak üzere \overline{KA} doğrusu, $\Psi_{th(i)x} = f(V_{m2})$ eğrisini verir. Dolayısıyla, $A'[V_{(m0)d} = V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 ; \Psi_{th(d)} = 0,87]$ noktasından geçen $\overline{CA'}$ doğrusu da $\Psi_{th(d)x} = f(V_{m2})$ eğrisidir.

İki ipçik (i ve d) için çizilen $\Psi_{th(x)} = f(V_{m2})$ eğrilerinin açı ortayı ise, $\Psi_{th(bileşke)} = f(V_{m2})$ eğrisi olarak alınacaktır. (\overline{CN} doğrusu).

2⁰- $(D_1/D_2)_d \cdot \Psi_p$ eğrisinin çizimi (Şekil 10.6) :

$$U_{d1} = U_1 = D_1/D_{2(d)} \cdot U_{2(d)} = D_1/D_{2(d)} \quad (U_{2(d)} = 1,0)$$

$$U_1 \cdot \Psi_p = (D_1/D_2)_d \cdot \Psi_p$$

yazılabilir.

Ψ_p - Ön dönme katsayısı (Eşitlik 10/6)

Ön dönme katsayısı (Ψ_p) olarak her iki ipçik (i ve d) için, şu ilk değerler kabul edilebilir;

$$\left. \begin{array}{l} \Psi_p (Q=0) = 0,5 \\ \Psi_p (Q_{\max.}) = 0,3 \end{array} \right\} \quad (10/36)$$

Eğer Ψ_p değerleri başlangıçta kabul edilmemiş veya bilinmiyor ise ; $\Psi_{th(bileşke)} = f(V_{m2})$ eğrisinin C noktası, $U_1 \cdot \Psi_p = (D_1/D_2)_d \cdot \Psi_p$ eğrisinin başlangıç noktası alınabilir. (Çünkü kapalı vana halinde $V_{m2} = 0$ dır.)

Öyleyse kapalı vana halinde ($V_{m2} = 0$) ;

$$\Psi_p(Q=0) = \frac{\overline{K' C}}{K' B} = \frac{81 \text{ mm}(\text{ölçülen})}{0,763 \cdot 200}$$

$$\underline{\underline{\Psi_p(Q=0) = 0,53}}$$

olarak bulunur.

$B[V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 ; U_1 = (D_1/D_2)_d \cdot U_2 = 0,763 \cdot U_2]$ noktasında, $\Psi_p = 1,0$ dır. Çünkü bu noktada, $(D_1/D_2)_d \cdot \Psi_p = 0,763$ olabilmesi için $\Psi_p = 1,0$ olmalıdır. Şu halde $(D_1/D_2)_d \cdot \Psi_p$ eğrisi C ve B noktalarından geçer.

$Q_{\max.}$ halinde ($V_{m2 \max.}$) ; $\Psi_p(Q_{\max.} \text{ için})$ bilinmiyor ise, C ve B noktalarından geçen eğri (yaklaşık) çizilirse D noktası bulunur.

CBD eğrisi, $(D_1/D_2)_d \cdot \Psi_p$ eğrisidir.

$Q_{\max.}$ halinde ($V_{m2\max.}$ için) ;

$$\Psi_p(Q_{\max.}) = \frac{\overline{BD}'''}{\overline{KB}} = \frac{45 \text{ mm}(\text{ölçülen})}{0,763 \cdot 200}$$

$$\underline{\underline{\Psi_p(Q_{\max.}) = 0,3}}$$

olarak bulunur.

Ψ_p değerleri başlangıçta biliniyor olsaydı ;

$$\left. \begin{array}{l} \overline{KC} = \Psi_p(Q=0) \cdot \overline{KB} \\ \overline{BD}''' = \Psi_p(Q_{\max.}) \cdot \overline{KB} \end{array} \right\} \text{ olurdu.}$$

3⁰- $(D_1/D_2)_i \cdot \Psi_p$ eğrisinin çizimi (*Şekil 10.6*) :

$$U_{i1} = (D_1/D_2)_i \cdot 0,94 \cdot U_2 = (D_1/D_2)_i \cdot 0,94$$

$$U_{i1} \cdot \Psi_p = 0,94 \cdot (D_1/D_2)_i \cdot \Psi_p$$

(i) ipçiği için de ;

$$\Psi_p(Q=0) = 0,53$$

$$\Psi_p(Q_{\max.}) = 0,3$$

değerlerini kabul edelim.

Eğrinin C' başlangıç noktası ;

$$\overline{KC}' = \Psi_p(Q=0) \cdot \overline{KC}''' = 0,53 \cdot 0,37 \cdot 200$$

$$\underline{\underline{\overline{KC}' \cong 39 \text{ mm}}}$$

bulunur.

$D''[V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 ; U_{i1} = (D_1/D_2)_i \cdot 0,94 \cdot U_2 = 0,37 \cdot U_2]$ noktasında, $\Psi_p = 1,0$ dır. Şu halde $U_{i1} \cdot \Psi_p$ eğrisi C' ve D'' noktalarından geçer.

Eğrinin D' noktası ;

$$\overline{C''C'} = \Psi_p(Q_{\max.}) \cdot \overline{K''C''} = 0,3 \cdot 0,37 \cdot 200$$

$$\underline{\underline{\overline{C''C'} \cong 22 \text{ mm}}}$$

bulunur.

$C'D''D'$ eğrisi, $U_{i1} \cdot \Psi_p = 0,94 \cdot (D_1 / D_2)_i \cdot \Psi_p$ eğrisidir.

Not. Şekil 10.6 da; sürekli çizgilerle gösterilen eğriler (i) ipçiğine, kesik çizgilerle temsil edilen eğriler (d) ipçiğine aittir.

4⁰- $\Psi_{(H)}$ karakteristik eğrinin çizimi (Şekil 10.7) :

Şekil 10.6 daki C ve N noktalarını Şekil 10.7 ye taşıyalım yani $\Psi_{th(\text{bileşke})}$ eğrisini çizelim. (\overline{CN} doğrusu).

$$\left. \begin{array}{l} \Psi_{th(i)} = 0,92 \\ \Psi_{th(d)} = 0,87 \end{array} \right\} \underline{\underline{\Psi_{th(ort.)} \cong 0,90}}$$

$$\eta_h = \frac{H}{H_{th}} = \frac{\Psi}{\Psi_{th}} \quad (\text{Eşitlik 10/4})$$

Teorik basma yüksekliği veya teorik manometrik yükseklik (ortalama),

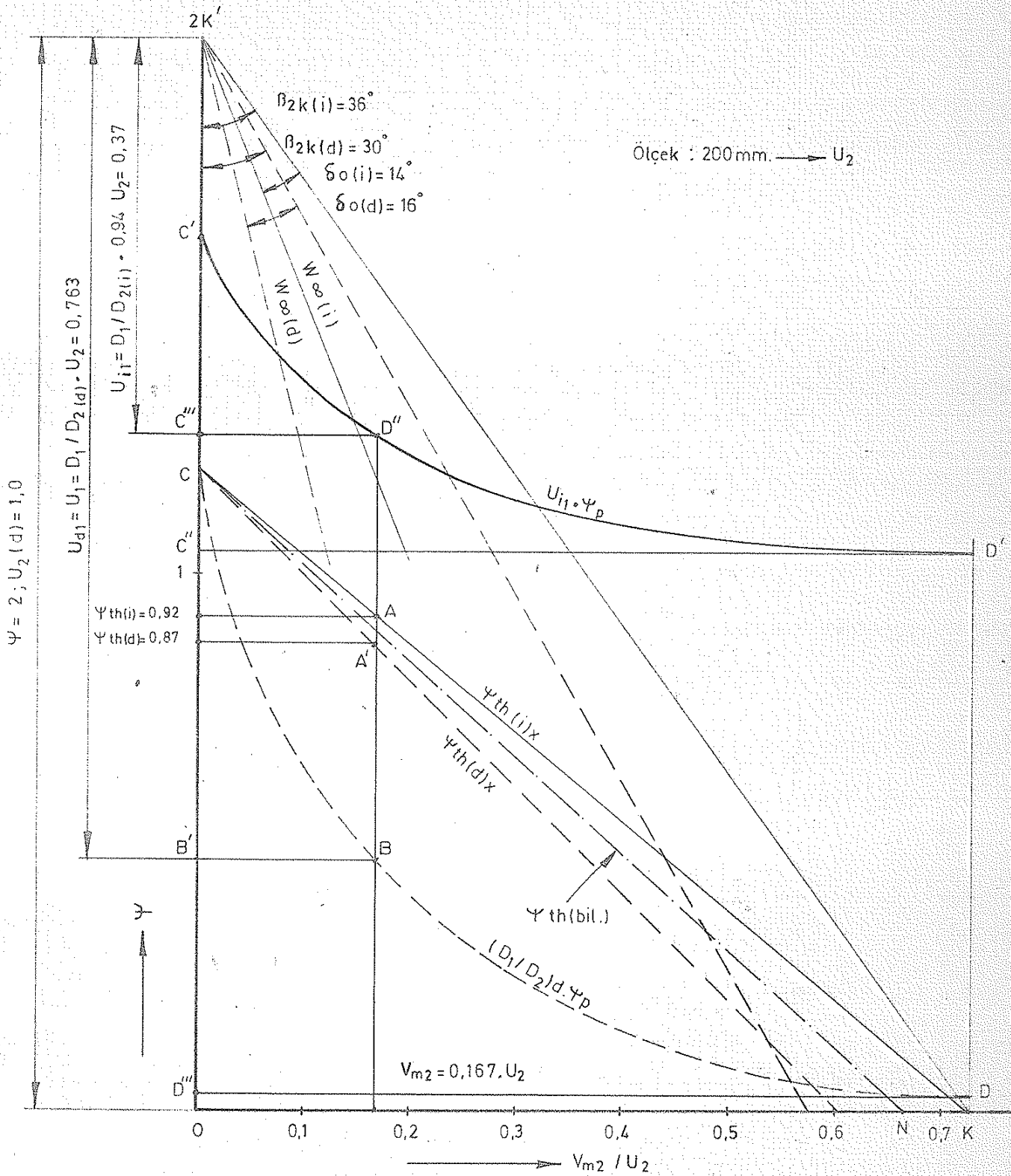
$$H_{th(ort.)} = H_{th} = \frac{H}{\eta_h} = \frac{141}{0,90}$$

$$\underline{\underline{H_{th} \cong 157 \text{ m.S.S.}}}$$

bulunur.

$\Psi = 0,90$ noktası aynı zamanda, H skalasında $H_{th} = 157 \text{ m.}$ ye karşılık gelmektedir.

$$\left. \begin{array}{l} \Psi_{th} = 0,90 \\ V_{m2} = 0,167 \cdot U_2 \end{array} \right\} P \text{ noktası.}$$



Şekil 10.6 - $\Psi_{th(i)x}$, $\Psi_{th(d)x}$ ve $\Psi_{th(bileşke)}$ eğrilerinin V_{m2} nin fonksiyonu olarak çizimi

$V_{m2} = 0,167 \cdot U_2$ doğrusu ile $\Psi_{th(bil.)}$ eğrisinin (\overline{CN}) kesiştiği nokta P' ise,

$$\overline{PP'} = h'_p / H_t$$

dir. (Şekil 10.5 ; Şekil 10.7)

h'_p – Enerji transformasyonu kaybı. Basma yüksekliğinin belli bir yüzdesi olarak hemen hemen sabit kalır. (Kısım 9)

h'_p / H_t pratik olarak sabit kaldığından; P noktasından, P' den geçen \overline{CN} doğrusuna paralel çizilirse $\Psi_{th} (H_{th})$ eğrisi elde edilir.

Şekil ölçeğinde :

$$H_{th} = 157 m. , \Psi_{th(ort.)} = 0,90 \rightarrow 90 mm \text{ olduğuna göre}$$

$$H = 141 m. , \Psi = 0,78 \rightarrow 78 mm \text{ olmalıdır.}$$

Kontrol:

$$157 m \rightarrow 90 mm$$

$$141 m \rightarrow 141 \cdot \frac{90}{157} = 80 mm \sim 78 mm$$

veya,

$$0,90 \rightarrow 157 m$$

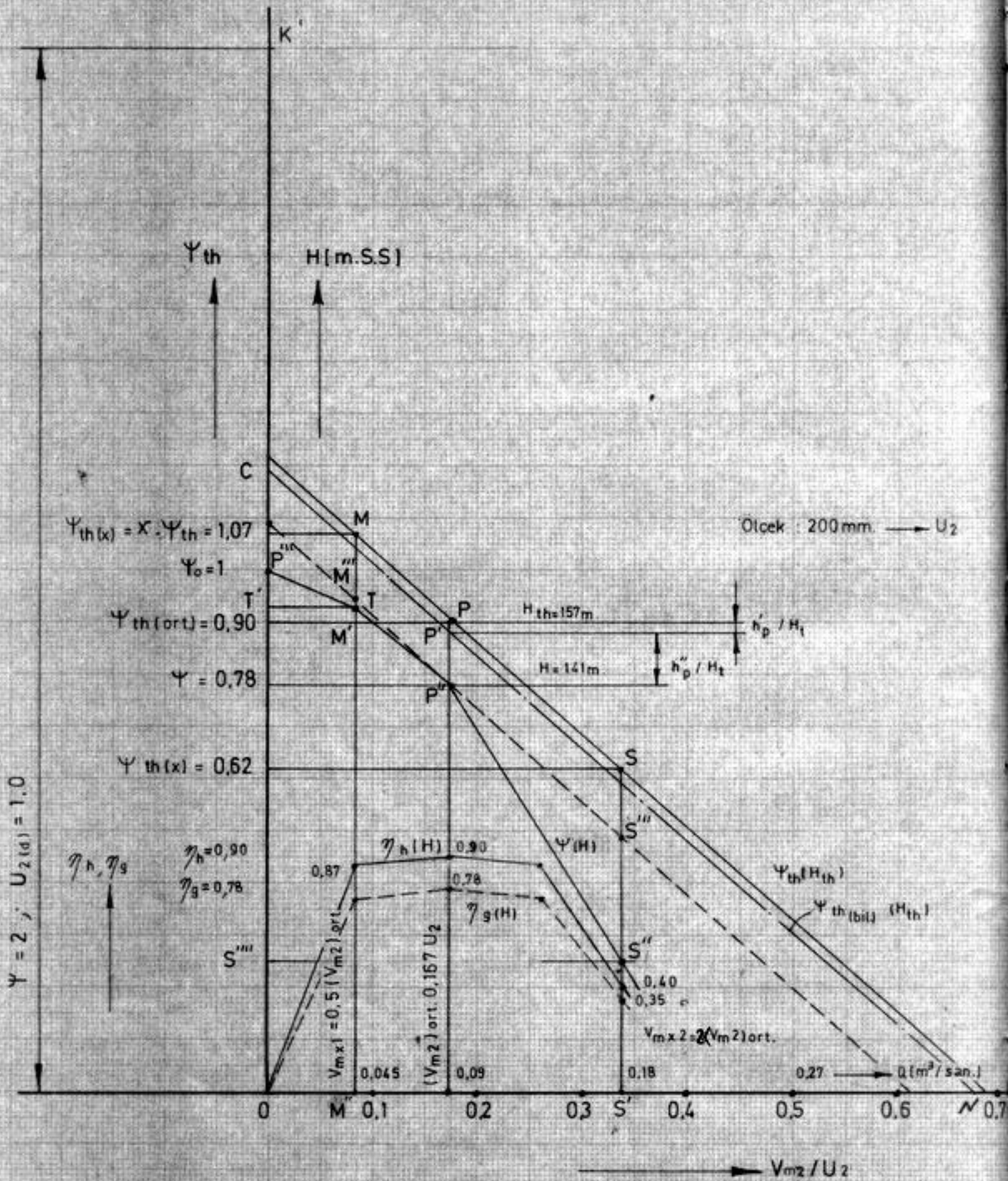
$$0,78 \rightarrow 0,78 \cdot \frac{157}{0,90} = 136 m \sim 141 m$$

(Rakamlar yuvarlatılarak ortalama değerleri alındığından, kontrol sonuçları kabul edilebilir.)

Nominal çalışma noktası $P'' (\Psi = 0,78 , H_m = 141 m.SS. ; Q = 90 lt / san.)$ olduğuna göre,

$$\overline{P''P'} = h''_p / H_t$$

dir. (Şekil 10.2 ; 10.5 ; 10.7 ve Eşitlik 9/9)



Şekil 10.7 Karakteristik eğrinin çizimi

h_p'' - Kanatlarla cidarların oluşturdukları kanallardaki sürtünme kaybı.
(Kısım 9)

$$\overline{PP'} = 2,5 \text{ mm (Ölçülen Şekil 10.7)}$$

$$H_t = 157 \text{ m.SS.} \rightarrow 90 \text{ mm}$$

$$\frac{2,5}{90} \cong 0,03$$

$$\frac{h_p'}{H_t} = 0,03$$

ve

$$\eta_h = 1 - \frac{h_p}{H_t} \quad (\text{Eşitlik 10/4})$$

$$\eta_h = 1 - \frac{h_p' + h_p''}{H_t} \quad (\text{Eşitlik 9/9})$$

$$\frac{h_p''}{H_t} = 1 - 0,90 - 0,03$$

$$\frac{h_p''}{H_t} = 0,07$$

bulunur.

$(h_p' + h_p'')$ hidrolik kaybını, yaklaşık ortalama sonuçlar veren denklemlerle de hesaplayabiliriz şöyle ki ;

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(\text{Çark})}} = \left(1 - \frac{\Psi}{4}\right) \cdot 0,05 + \lambda \left[0,125 \cdot \frac{X}{\Psi} \cdot \left(\frac{0,64 \cdot Z}{(1+A) \cdot \sin \beta_m} + \frac{B}{1,3} \right) \cdot \left(\frac{1+A-0,75 \cdot \Psi}{\cos \beta_m} \right)^2 \right] \quad (\text{Eşitlik 9/2})$$

Ortalama değer alalım (yani $\alpha_1 - \alpha_2$ akışkan ipçığı için),

$$A = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)_\alpha = \frac{110}{188,5} \cong 0,58$$

$$B = \left(\frac{D_2}{b_2} \right)_\alpha = \frac{188,5}{28} = 6,73$$

$$X = \left(\frac{L}{D_2} \right)_\alpha = \frac{98,43}{188,5} = 0,52$$

$$\beta_{(m)\alpha} = 23,5^0$$

$$Z = 7$$

$$\lambda = 0,0225 \quad (b_2 = 0,028 \text{ m. Pompa: Font. Şekil 10.8})$$

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(\zeta_{ark})}} = \left(1 - \frac{0,78}{4}\right) \cdot 0,05 + 0,0225 \left[0,125 \cdot \frac{0,52}{0,78} \cdot \left(\frac{0,64 \cdot 7}{(1 + 0,58) \cdot \text{Sin}23,5^0} + \frac{6,73}{1,3} \right) \cdot \left(\frac{1 + 0,58 - 0,75 \cdot 0,78}{\text{Cos}23,5^0} \right)^2 \right]$$

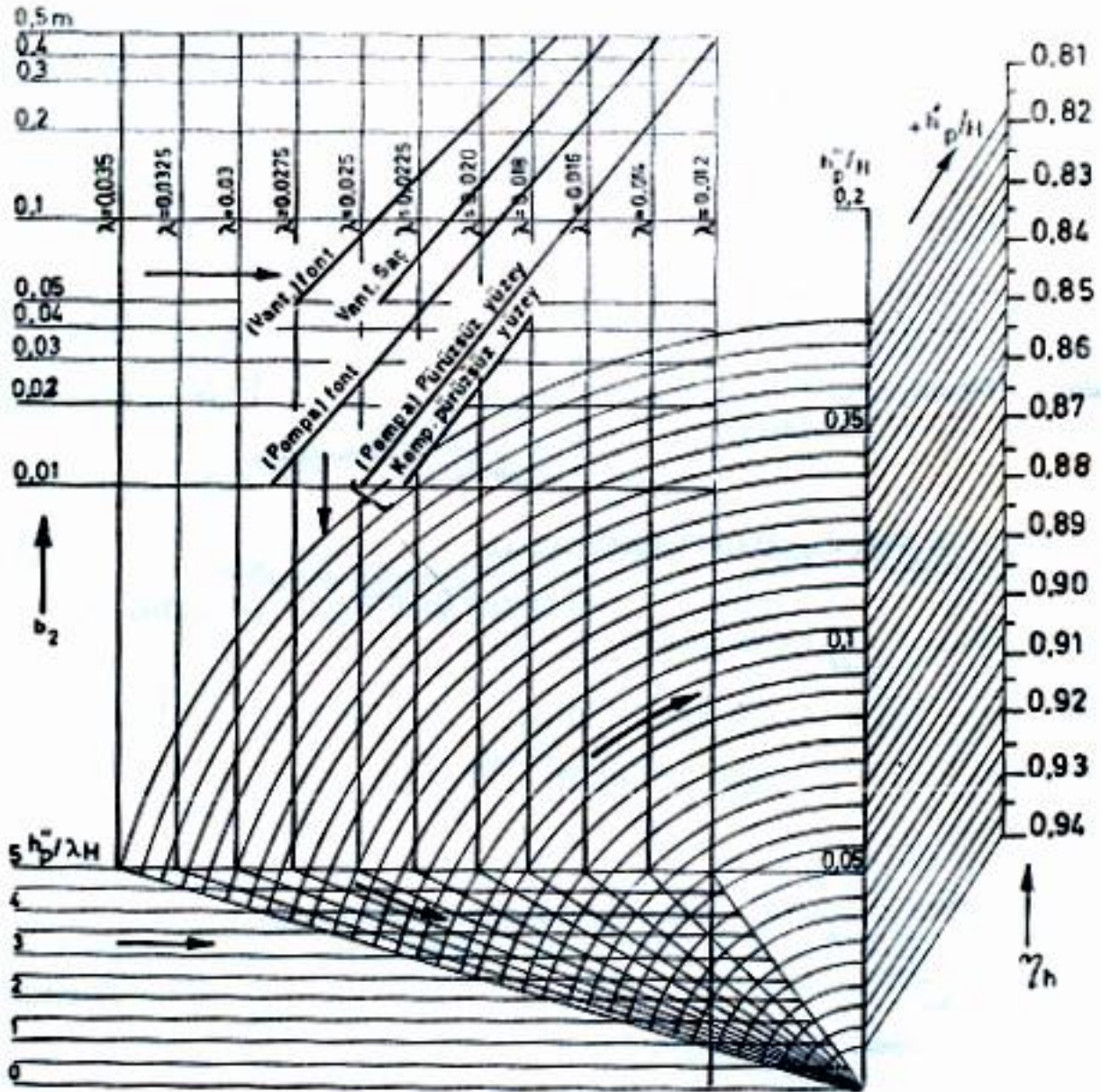
$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(\zeta_{ark})}} = 0,067$$

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(dif.)}} = 0,05 \cdot \frac{\Psi}{4} + \lambda \cdot \frac{0,01 \cdot \Psi}{\text{Sin} \alpha \cdot \text{Cos}^2 \alpha} \cdot \left(\frac{0,27 \cdot Z_d}{\text{Sin} \alpha} + B \right) \quad (\text{Eşitlik 9/7})$$

$$\left. \begin{array}{l} Z_d = 8 \\ \alpha_{ort.} = 11^0 \end{array} \right\} (\text{Resim No: F-876 / 14 MAZ})$$

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(dif.)}} = 0,05 \cdot \frac{0,78}{4} + 0,0225 \cdot \frac{0,01 \cdot 0,78}{\text{Sin}11^0 \cdot (\text{Cos}11^0)^2} \cdot \left(\frac{0,27 \cdot 8}{\text{Sin}11^0} + 6,73 \right)$$

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_{(dif.)}} = 0,027$$



Şekil 10.8 - Santrifüj çarkların verimlerini tespit etmek için grafik (Çarkın b_2 genişliğine karşılık gelen λ değeri aranır; h_p/H ve λ doğrularının kesim noktasından geçen daire yayı ve onu takip eden eğik doğru takip edilerek η ölçek doğrusu üzerinden verim okunur.)

Toplam olarak ta,

$$\frac{(h' + h_p'')}{H} = 0,067 + 0,027 = 0,094$$

$$\frac{(h_p' + h_p'')}{H_t} = 0,094$$

bulunur. (Denklemler %2 ile 3 yaklaşıklıkla ortalama sonuçlar verdiğiinden, H yerine sonuçta H_t aldık).

Şekil 10.8 deki diyagramı tersten kullanalım ;

$$\eta_h = 0,90 \text{ için } \rightarrow \frac{h_p''}{H} \cong 0,08 \text{ okunur.}$$

$$\frac{h_p'}{H} = 1 - 0,9 - 0,08 = 0,02$$

$$\frac{h_p''}{\lambda \cdot H} = 2,6 \text{ okunur. } (b_2 = 0,028m ; \text{ Pompa:Font})$$

$$\frac{h_p''}{H} = 2,6 \cdot 0,0225 \cong 0,06$$

bulunur.

Görüldüğü gibi elde edilen kayıp değerleri birbirine çok yakın

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h_p'}{H_t} = 0,03 \\ \frac{h_p''}{H_t} = 0,07 \end{array} \right\} \text{ Kabul edilebilir.}$$

Şu halde, başlangıçta kayıplar bilinmiyor veya kabul edilmemiş ise, yukarıdaki değerlerle karakteristik eğri çizilmeye başlanır.

Kapalı vana halinde (yani $V_{m2} = 0$ iken) adaptasyon (çalışma) noktasındaki $\Psi = 0,78$ değerine karşılık gelen,

$$\underline{\underline{\Psi_0 \cong 1}} \quad (\text{Şekil 10.3})$$

dir.

$\Psi(H)$ eğrisi ; $P'''(V_{m2} = 0, \Psi_0 = 1)$ ve $P''(V_{m2} = 0,167 \cdot U_2, \Psi = 0,78)$ noktalarından geçer.

h_p''' ve h_p'''' kayıplarını hesaplayalım.

h_p''' – Difüzörde oluşan ilave yük kaybı

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_x = 0,2 \cdot \Psi_t \cdot \left[X - 1 + \varepsilon_d \cdot \left(1 - \frac{V_{mx}}{V_m} \right) \right]^2 \quad (\text{Eşitlik 10/26})$$

• $V_{mx} = 0,5 \cdot V_{m2}$ alalım.

Çarkın hesaplanmış olduğu $P (H_h = 157 \text{ m.S.S.}, \Psi_{th} = 0,90, Q = 0,09 \text{ m}^3 / \text{san.})$ noktasında,

$$X = 1$$

dir.

$$\Psi_x = \left[X - \left(\frac{h_p'}{H_t} + \frac{h_p''}{H_t} + \frac{h_p'''}{H_t} + \frac{h_p''''}{H_t} \right) \right] \cdot \Psi_t \quad (\text{Eşitlik 10/31})$$

$X = 1$ için,

$$\Psi_x = \Psi_t \cdot \left(1 - \frac{h_p'}{H_t} - \frac{h_p''}{H_t} \right) \quad (\text{Eşitlik 10/33})$$

$$\Psi_x = \Psi_t \cdot \eta_h = \Psi$$

yazılarak,

$$\overline{M' M'} = \Psi_{th(ort.)} = 0,90 \quad (90 \text{ mm ölçülen})$$

$$\overline{M' M} = \Psi_{th(x)} = X \cdot \Psi_{th} = 1,07 \quad (107 \text{ mm ölçülen})$$

$$X \cdot 0,90 = 1,07$$

$$\underline{\underline{X \cong 1,19}}$$

bulunur.

$$\varepsilon_d = \frac{S_{d2}}{S_2} \quad (\text{Eşitlik 10/28})$$

$$\underline{\underline{\varepsilon_d \cong 0,7}} \quad (\text{Resim No: F-876/14 MAZ})$$

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_{x1} = 0,2 \cdot 0,90 \cdot [1,19 - 1 + 0,7 \cdot (1 - 0,5)]^2$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_{x1} \cong 0,05}}$$

h_p''' – Darbe kaybı

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_x = \frac{1}{\Psi_t} \cdot \left(\frac{W_1}{U_2} \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} \right)^2 \cdot \text{Sin} \Delta \beta_{1kx} \quad (\text{Eşitlik 10/29})$$

W_1 – Akışkanın giriş izafi hızı

Ortalama değer olması için $(\alpha_1 - \alpha_2)$ akışkanına ait Şekil 5.12 yi kullanalım;

$$\underline{\underline{W_1 = W_{\alpha1\alpha} \cong 0,59 \cdot U_2}} \quad (\text{Ölçülen: } 118 \text{ mm. } 118 / 200 = 0,59)$$

$$\Delta \beta_{1kx} = \beta_{1k} - \beta_{1kx} \quad (\text{Eşitlik 10/30})$$

$V_{m1} = 0,5 \cdot V_{m2}$ aldık. Öyleyse $0,5 \cdot Q$ debisine göre yeniden V_{m1} değerini hesaplayalım.

$$(V_{m1})_{x1} = k_{cm1} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_m} \quad (\text{Eşitlik 4/23})$$

$$n_s = 3,65 \cdot n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H_m^{3/4}} \quad (\text{Eşitlik 3/3})$$

$$n_s = 222,15 \text{ d/d} \quad (\text{Sayfa : 27})$$

$Q \rightarrow 0,5 \cdot Q$ için.

$$(n_s)_{x1} = 222,15 \cdot (1/2)^{1/2}$$

$$\underline{\underline{(n_s)_{x1} \cong 157 \text{ d/d}}}$$

ve

$$k_{cm1} = 0,192 \quad (\text{Şekil 4.4})$$

$$(V_{m1})_{x1} = 0,192 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 141/4}$$

$$\underline{\underline{(V_{m1})_{x1} \cong 5 \text{ m/sn.}}}$$

dolayısıyla,

$$\text{tg} \beta_{1x1} = \frac{(V_{m1})_{x1}}{U_1} = \frac{(5/29,81) \cdot U_2}{0,567 \cdot U_2} \quad (\text{Şekil 5.12})$$

$$\beta_{1x1} = 16,48^\circ$$

$$\beta_{\alpha1\alpha} = 19,43^\circ \quad (\text{Sayfa : 116})$$

$$\beta_{1k} = 19,43^\circ + 0,57^\circ = 20^\circ \quad (\text{Sayfa:121})$$

Açıları, akışkan ipçiği için alabiliriz. (Fark hesaplandığından)

$$\Delta\beta_{1kx1} \cong \beta_{\alpha1\alpha} - \beta_{1,x1} = 19,43 - 16,48$$

$$\underline{\underline{\Delta\beta_{1kx1} \cong 3^0}}$$

bulunur.

$$\left(\frac{h_p''''}{H_t}\right)_{x1} = \frac{1}{0,90} \cdot \left(\frac{0,59 \cdot U_2}{U_2} \cdot 0,5\right)^2 \cdot \text{Sin}3^0$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{h_p''''}{H_t}\right)_{x1} = 0,005}}$$

elde edilir.

Bulunan kayıp değerleri toplu olarak yazalım,

$$\left(\frac{h_p'}{H_t}\right) = 0,03 \quad , \quad \left(\frac{h_p''}{H_t}\right) = 0,07$$

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t}\right)_{x1} = 0,05 \quad , \quad \left(\frac{h_p''''}{H_t}\right)_{x1} = 0,005$$

$$(h_p' + h_p'' + h_p''' + h_p''') = 0,155 \cdot H_t$$

$H_t \rightarrow 90 \text{ mm.}$ olduğuna göre,

$$\overline{MT} = 0,155 \cdot 90$$

$$\underline{\underline{\overline{MT} \cong 14 \text{ mm.}}}$$

$\Psi(H)$ eğrisi T noktasından da geçer.

- $V_{mx} = 2 \cdot V_{m2}$ alalım.

$$\overline{S'S} = \Psi_{th(x)} = X \cdot \Psi_{th} = 0,62 \quad (62 \text{ mm ölçülen})$$

$$X \cdot 0,90 = 0,62$$

$$\underline{\underline{X \cong 0,69}}$$

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_x = 0,2 \cdot \Psi_t \cdot \left[X - 1 + \varepsilon_d \cdot \left(1 - \frac{V_{mx}}{V_m} \right) \right]^2 \quad (\text{Eşitlik 10/26})$$

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_{x2} = 0,2 \cdot 0,90 \cdot [0,69 - 1 + 0,7 \cdot (1 - 2)]^2$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_{x2} = 0,18}}$$

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t} \right)_x = \frac{1}{\Psi_t} \cdot \left(\frac{W_1}{U_2} \cdot \frac{V_{mx}}{V_m} \right)^2 \cdot \text{Sin} \Delta \beta_{1kx} \quad (\text{Eşitlik 10/29})$$

$$(V_m)_{x2} = \varepsilon \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_m} \quad (\text{Eşitlik 4/22})$$

$$(n_q)_{x2} = n_q \cdot (2)^{1/2} = 60,86 \cdot (2)^{1/2}$$

$$(n_q)_{x2} = 86 \text{ d/d}$$

$$\varepsilon = 0,3 \quad (\text{Şekil 4.3})$$

$$(V_m)_{x2} = 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 141/4}$$

$$\underline{\underline{(V_m)_{x2} = 7,89 \text{ m/sn.}}}$$

$$tg\beta_{1x2} = \frac{(V_{m1})_{x2}}{U_1} = \frac{(7,89/29,81) \cdot U_2}{0,567 \cdot U_2}$$

$$\beta_{1x2} = 25^{\circ}$$

$$\beta_{\alpha1\alpha} = 19,43^{\circ}$$

$$\beta_{1k} = 19,43^{\circ} + 0,57^{\circ} = 20^{\circ}$$

$$\Delta\beta_{1kx2} = 25^{\circ} - 19,43^{\circ}$$

$$\underline{\underline{\Delta\beta_{1kx2} \cong 5^{\circ}}}$$

$$\left(\frac{h_p''''}{H_t}\right)_{x2} = \frac{1}{0,90} \cdot \left(\frac{0,59 \cdot U_2}{U_2} \cdot 2\right)^2 \cdot \text{Sin}5^{\circ}$$

$$\underline{\underline{\left(\frac{h_p''''}{H_t}\right)_{x2} = 0,13}}$$

Kayıp değerlerini toplu olarak yazalım,

$$\left(\frac{h_p'}{H_t}\right) = 0,03 \quad , \quad \left(\frac{h_p''}{H_t}\right) = 0,07$$

$$\left(\frac{h_p'''}{H_t}\right)_{x2} = 0,18 \quad , \quad \left(\frac{h_p''''}{H_t}\right)_{x2} = 0,13$$

(h_p' ve h_p'' aynı değerler alınmıştır.)

$$(h_p' + h_p'' + h_p''' + h_p''') = 0,41 \cdot H_t$$

$H_t \rightarrow 90 \text{ mm.}$ olduğuna göre,

$$\overline{SS''} = 0,41 \cdot 90$$

$$\underline{\underline{\overline{SS''} \cong 37 \text{ mm.}}}$$

$\Psi(H)$ eğrisi S'' noktasından da geçer.

Sonuç olarak $\Psi(H)$ eğrisi üzerinde bulunan noktalar;

$$P''', T, P'', S''$$

$$T \rightarrow \overline{MT} = 93 \text{ mm} \quad H_t = 157 \text{ m.S.S. (90 mm)}$$

$$H_T = \frac{157}{90} \cdot 93$$

$$\underline{\underline{H_T \cong 162 \text{ m.S.S}}}$$

$$\underline{\underline{Q_T = 0,045 \text{ m}^3 / \text{sn.}}}$$

$$P'' \rightarrow \underline{\underline{H_{P''} = 141 \text{ m.S.S.}}}$$

$$Q_{P''} = 0,090 \text{ m}^3 / \text{sn.}$$

$$S'' \rightarrow \overline{S'S''} = 25 \text{ mm}$$

$$H_{S''} = \frac{157}{90} \cdot 25$$

$$\underline{\underline{H_{S''} \cong 44 \text{ m.S.S}}}$$

$$\underline{\underline{Q_{S''} = 0,18 \text{ m}^3 / \text{sn.}}}$$

Not: $\Psi(H)$ eğrisi çizilirken,

$(h_p' + h_p'')/H_t = \overline{PP''} = \overline{MM''} = \overline{SS''}$ alındı. (yaklaşık olarak). Farklı olsaydı; M'' , P'' ve S'' noktaları doğru yerine bir eğri üzerinde bulunurdu.

5⁰- $\eta_h(H)$ verim eğrisinin çizimi (Şekil 10.7) :

T noktası ;

$$\eta_{hx1} = \frac{H_T}{H_{(th)x1}} = \frac{\overline{M''T}}{\overline{M''M}} = \frac{93}{107}$$

$$\underline{\underline{\eta_{hx1} \cong 0,87}}$$

P'' noktası ;

$$\eta_{hort.} = \frac{H_{P''}}{H_{th}} = \frac{141}{157}$$

$$\underline{\underline{\eta_{hort.} = 0,90}}$$

S'' noktası ;

$$\eta_{hx2} = \frac{H_{S''}}{H_{(th)x2}} = \frac{\overline{S'S''}}{\overline{S'S}} = \frac{25}{62}$$

$$\underline{\underline{\eta_{hx2} = 0,40}}$$

6⁰ - $\eta_g(H)$ genel verim eğrisinin çizimi (Şekil 10.7) :

$$\eta_g = \underbrace{\eta_k \cdot \eta_m}_{\eta} \cdot \eta_h \quad (\text{Eşitlik 3/21})$$

$$0,78 = \eta \cdot 0,90$$

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_m \cong 0,87$$

T noktası ;

$$\eta_{gx1} = 0,87 \cdot \eta_{hx1} = 0,87 \cdot 0,87$$

$$\underline{\underline{\eta_{gx1} = 0,75}}$$

P'' noktası ;

$$\eta_g = 0,87 \cdot \eta_h = 0,87 \cdot 0,90$$

$$\underline{\underline{\eta_g = 0,78}}$$

S'' noktası ;

$$\eta_{gx2} = 0,87 \cdot \eta_{hx2} = 0,87 \cdot 0,40$$

$$\underline{\underline{\eta_{gx2} = 0,35}}$$

bulunur.

LİTERATÜR

- [1] A. de KOVATS - G. DESMUR
Cahit ÖZGÜR -Hasan Fehmi YAZICI
“Pompalar ,Vantilatörler,Kompresörler”
İ.T.Ü. Makina Fakültesi Ofset Atölyesi -1994
- [2] Kaya BAYSAL
“Tam Santrifüj Pompalar”
İ.T.Ü. Matbaası Gümüşsuyu - 1975
- [3] Tuncer ÖZKAN
“Helisel Alın Dişli Çarklar”
T.T.K. Maden Makinaları Fabrika Müdürlüğü - 1990
- [4] K.S.B - POMPA,ARMATÜR Yayınları
- [5] “Technisches Handbuch PUMPEN”
VEB VERLAG TECHNIK Berlin - 1972
- [6] 2.POMPA KONGRESİ VE SERGİSİ
“BİLDİRİLER KİTABI”
Teknik Yayıncılık Tanıtım A.Ş.
İstanbul - 1996
- [7] BİRİNCİ ULUSAL POMPA KONGRESİ
“BİLDİRİLER - TARTIŞMALAR - KONFERANSLAR”
İ.T.Ü. Makina Fakültesi - TB TAK - İSO - 1979
- [8] Fahrettin SÖNMEZ
“Santrifüj Pompalar”
Ankara Matbaası - 1961
- [9] Bülent OYMAK
“POMPA EL KİTABI”
T.M.M.O.B. Makina Mühendisleri Odası
Yayın No:102 Ankara - 1976
- [10] Aziz ERGİN
“SANTRİFÜJ TULUMBA SORU VE CEVAPLARI”
İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı : 507 İstanbul - 1962
- [11] Ahmet Turan GÖKELİM
“POMPALAR”
Apraz Matbaacılık , İstanbul - 1976
- [12] Hasan Fehmi YAZICI
“SU MAKİNALARI PROBLEMLERİ”
İ.T.Ü. Matbaası Gümüşsuyu – 1983
- [13] Cahit ÖZGÜR - Mete ŞEN
“RADYAL TURBOMAKİNA ÇARK KASKATLARINA AİT BİR
ETÜT”
T.B.T.A.K. Proje No. MAG.241

- [14] Aziz ERGİN
“SU MAKİNALARI DERS NOTLARI”
İ.T.Ü. Matbaası Gümüşsuyu -1968
- [15] Yılmaz MUSLU
“ TERFİ MERKEZLERİ VE İSALE HATLARI”
İ.T.Ü. Matbaası Gümüşsuyu - 1976
- [16] Yılmaz MUSLU
“Su Getirme ve Kullanılmış Suları Uzaklaştırma Esasları”
Matbaa teknisyenleri Koll. Şti. İstanbul - 1973
- [17] Süha SEVÜK - Doğan ALTINBİLEK
“SU DAĞITIM ŞEBEKELERİ PROJELENDİRME
VE BİLGİSAYARLA ÇÖZÜM ESASLARI”
Orta Doğu Teknik Üniversitesi - 1977
- [18] Süha SEVÜK - Doğan ALTINBİLEK
“SU DAĞITIM ŞEBEKELERİ PROJELENDİRME
VE BİLGİSAYARLA ÇÖZÜM ESASLARI
KURSU EK NOTLARI ”
E.K.İ. İnsangücü -Eğitim Müdürlüğü
- [19] Cahit ÖZGÜR
“DeneySEL HİDROMEKANİK”
İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı : 660 İstanbul - 1966
- [20] Cahit ÖZGÜR
“Pratik HİDROLİK PROBLEMLERİ”
İ.T.Ü. Matbaası - 1967
- [21] DUBBEL
“Taschenbuch für den Maschinenbau”
Springier - Verlag Berlin Heidelberg Newyork - 1970 , 1981