

- Bazı basınç birimleri arasındaki pratik dönüşümler

1 atm	= 1.01325 bar
	= 1013250 dyne/cm <sup>2</sup>
	= 10332.3 kg-f/m <sup>2</sup>
	= 101.325 kPa
	= 101325 N/m <sup>2</sup>
	= 760 mmHg
	= 1033.2 cmSS

### ÖDEV 1

$H_0 = 55.5$  m net düşü altında  $Q = 2.5$  m<sup>3</sup>/s lik debi ile 300 d/dak dönme hızında çalışacak bir su türbini imal edilecektir. Model türbin deneylerinin yapılacağı laboratuvarında en çok 5 m lik bir net düşü ile 30 lt/s lik bir debi elde edilebildiğine göre benzeşim kurallarını kullanarak model türbinin dönme hızı ne olmalıdır.

Görüşüm 1:  $A \rightarrow \text{model}$   
 $B \rightarrow \text{mevcut}$

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{n_A}{n_B} \cdot \left(\frac{D_A}{D_B}\right)^3 \quad \text{--- (1)} \quad \frac{H_A}{H_B} = \left(\frac{n_A}{n_B}\right)^2 \cdot \left(\frac{D_A}{D_B}\right)^2 \quad \text{--- (2)}$$

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{Q_A/Q_B}{\left(\frac{D_A}{D_B}\right)^3} \quad \text{), } \frac{n_A}{n_B} = \sqrt{\frac{H_A/H_B}{\left(\frac{D_A}{D_B}\right)^2}}$$

Bu iki denklem birbirine eşittir.

$$\frac{30 \times 10^{-3} / 2.5}{\left(\frac{D_A}{D_B}\right)^3} = \frac{(5/55.5)^{1/2}}{\left(\frac{D_A}{D_B}\right)}$$

$$\frac{0.012}{0.3} = \left(\frac{D_A}{D_B}\right)^3 \cdot \left(\frac{D_A}{D_B}\right)^{-1} = \left(\frac{D_A}{D_B}\right)^2$$

$$0.2 = \left(\frac{D_A}{D_B}\right)$$

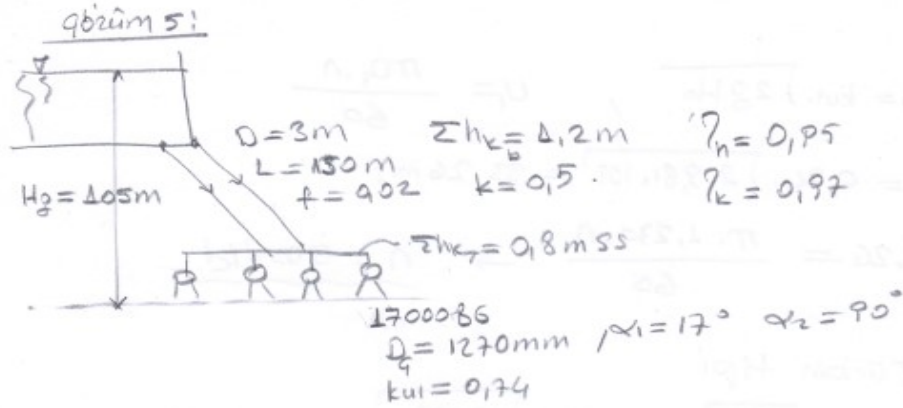
Denklem (1) yerine karsak

$$(0.012) = \frac{n_A}{300} \cdot 0.2^3 \rightarrow \boxed{n_A = 450 \text{ d/dak}}$$

## ÖDEV 2

Boşalma kanalındaki su seviyesi ile yükleme odasındaki su seviyesi arasında  $H_g=105$  m'lik yükselti farkı bulunan bir hidroelektrik santralinde çalışan birbirinin aynı 4 reaksiyon su türbini iki ana cebri boru ile beslenmektedir. Çapı 3 m uzunluğu 150 m yük kaybı katsayısı  $f=0.02$  olan her ana cebri boruda toplam yük kaybı 1.2 mSS, lokal enerji kayıp toplamı 0.5 olup türbinlere ayrılan kolların her birinde türbin girişine kadar meydana gelen yük kaybı toplamı 0.8 mSS kadardır. Bir türbinden 17000 BG 'lük güç alınmaktadır. Bu çalışma noktasında türbinin hidrolik verimini 0.95, kaçak verimi 0.97 olduğu tahmin edilmektedir. Türbin çark çapı 1270 mm, çarkın girişteki teğet sel hız katsayısı  $ku_1=0.74$ ,  $\alpha_1=17^\circ$ , çıkış  $\alpha_2=90^\circ$  olması halinde;

- Türbinin net düşüsünü
- Bir türbinin debisini
- Bir türbinin genel verimini ve mekanik verimin
- Türbinleri devir sayısını
- Türbinlerin tipini
- Çarka giriş açısını ( $\beta_1$ ) bulunuz. Giriş hız üçgenini ölçekli çiziniz.



$$a) \quad H_0 = H_2 - \Sigma h_{kT} = H_2 - (\Sigma h_{kb} + \Sigma h_{kt}) = 105 - (1.2 + 0.8) \\ H_0 = 103 \text{ m}$$

$$b) \quad \Sigma h_{kT} = K \frac{V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = \left[ 0.5 + 0.02 \frac{150}{3} \right] \frac{V^2}{2g} = 1.2 \\ V = 3.96 \text{ m/s} \quad Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot V = \frac{\pi (3)^2}{4} \cdot 3.96 = 28 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Tek türbinin debisi} \quad Q_{kT} = \frac{Q_T}{4} = \frac{2 \cdot 28}{4} = 14 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c) \quad W_{mil} = 17000 \text{ BG} = 12500 \text{ kW} \\ \eta_g = \frac{W_{mil}}{W_h} = \frac{12500 \text{ kW}}{P_{QH}} = \frac{12500 \times 10^3}{9810 \cdot 14 \cdot 103} = 0.893 \\ \eta_p = \eta_h \cdot \eta_m \cdot \eta_k \rightarrow \eta_m = \frac{\eta_p}{\eta_h \cdot \eta_k} = \frac{0.893}{0.95 \cdot 0.97} = 0.958$$

d)

$$u_1 = \text{kul.} \sqrt{2gH_0}, \quad u_1 = \frac{\pi D_1 \cdot n}{60}$$

$$u_1 = 0,74 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 103} = 33,26 \text{ m/s}$$

$$33,26 = \frac{\pi \cdot 1,27 \cdot n}{60} \rightarrow \underline{n = 500 \text{ d/d}}$$

e) Türbin tipi

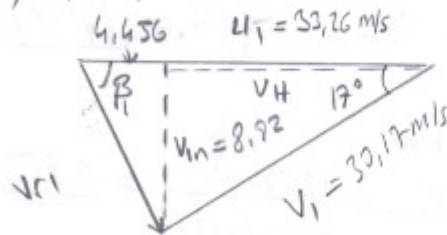
$$N_{st} = \frac{n \sqrt{Wm}}{H_0^{5/4}} = \frac{500 \cdot \sqrt{12500}}{103^{5/4}} = \underline{170,36}$$

Francis türbin

Diğer Ver.

$$N_{st} = \frac{w \cdot (W_{mil})^{1/2}}{\rho^{1/2} \cdot (g \cdot H_0)^{5/4}} = 1,027$$

f)  $\beta_1 = ?$



$$\eta_n = \frac{u_1 \cdot V_{1t} - u_2 \cdot V_{2t}}{g \cdot H_0}$$

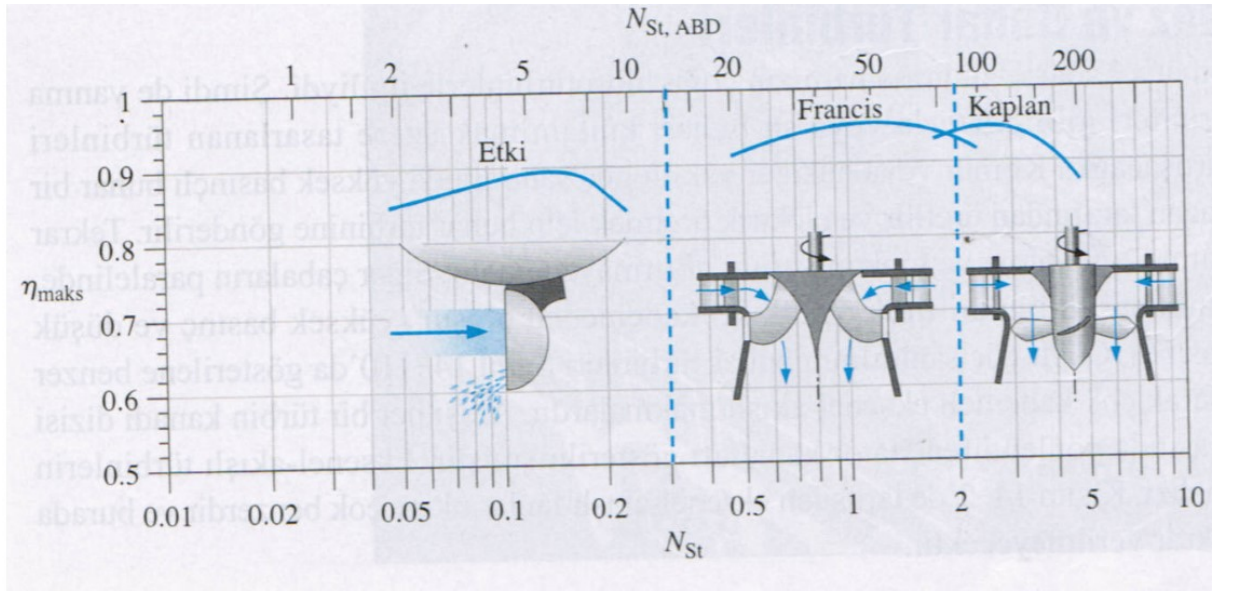
$$V_{1t} = \eta_n \cdot g \cdot H_0 / u_1 = \frac{0,95 \cdot 9,81 \cdot 103}{33,26}$$

$$V_{1t} = 28,80 \text{ m/s} \Rightarrow V_{1t} = V_1 \cdot \cos 17^\circ$$

$$V_1 = \frac{V_{1t}}{\cos 17^\circ} = 30,17 \text{ m/s}$$

$$V_{1n} = V_1 \cdot \sin 17^\circ = 8,8236 \text{ m/s}$$

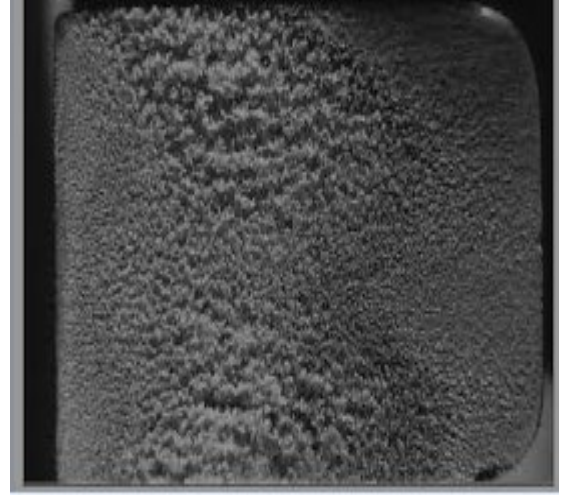
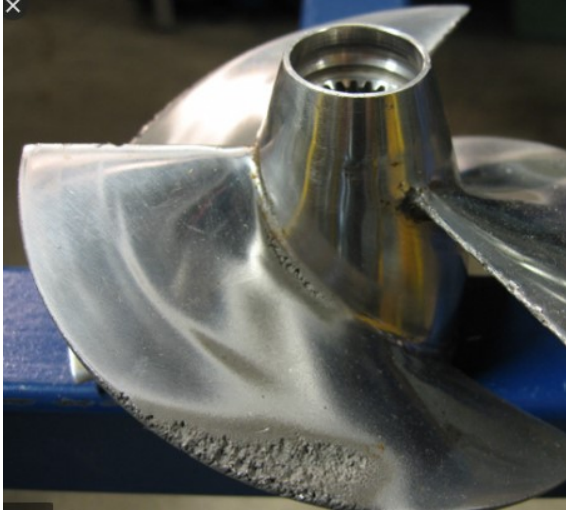
$$\beta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{-8,8236}{4,456} \right) = \underline{\underline{63,2^\circ}}$$



Türbin Tipi	Özellik / m
Pelton	42-30
Turgo	20-70
Cross-flow	20-80
Francis	80-400
Kaplan	340-1000

### Türbinlerde kavitasyon:

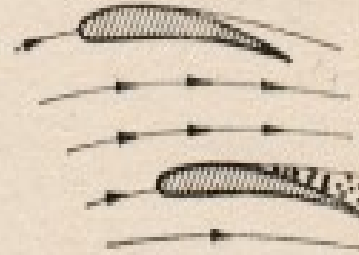
Bir akışkan akımı ortamının her hangi bir yerindeki basınç, akışkanının buharlaşma basıncına kadar düşecek olursa, basıncın düştüğü bu yerdeki akışkan buharlaşacak ve akışkan akımı içerisinde içi dolmuş su buharı ile dolu olan çok düşük basınçlı (vakumlu) hacimcikliler meydana gelecektir. Meydana gelen düşük basınçlı hacimciklerin içerisinde bulunan su zerrecikleri, vakumlu hacimciklerin etrafındaki yüksek basınçlı akışkanın dalgalanmasına uyarak basıncın azalıp-çoğalması ve vakumlu hacimciklerin sık sık ve süratle büzülüp-genleşmeleri ve yer değiştirmeleri ve birleşip-ayrılmaları yüzünden, malzeme üzerine ses hızına yakın bir hızla çarpacaklardır. Sıvının buharlaşması-yoğunlaşması çevrimi saniyede 300-400 kez olmakta ve lokal olarak 4000 bara kadar ani basınç yükselmeleri meydana gelmektedir. Vakumlu hacimciklerin su zerreciklerinin ses hızına yakın bir hızla ve milyonlarca defa malzeme üzerine çarpmaları sonunda malzeme yüzeyinde önce bir karıncılaşma, pürüzlenme ve daha sonra da küçük küçük oyukçuklar meydana gelecektir. Malzeme yüzeyinde meydana gelen bu küçük oyukçuklar aynı olay nedeni ile zamanla büyüüp derinleşecekler ve bir müddet sonra da malzeme adeta süngerleşecektir. Malzemenin süngerleşen kısımları zayıflayacağı için koparak yok olacak ve kavitasyon olayı tahribatı ilerleyip gidecektir.



## SU TÜRBİNLERİNDE KAVİTASYON

### 1. OLAY :

Akışkanın hareketi esnasında bir bölgede basınç, buharlaşma basıncının altına inerse o bölgede yerel bir buharlaşma olur ve kabarcıklar oluşur. İlk oluşan habbecikler su içinde erimiş bulunan gazlardan doğar. Bunlar suyun hızı ile sürüklenerek daha yüksek basınçlı bölgeye gireceklerdir. Burada bunların yoğunlaşması dolayısıyla boşalan yerlere su hücum eder ve bu suretle darbeler husule gelir. Olay gelişince cidara yakın bölgede binlerce taneciğin bu şekilde hareketi bu bölgede aktif akış hareketine engel olur. Bu suretle akış kesidi küçüldüğünden olay daha da büyür. Sonuç olarak çakıl taşlarının cidara vurmasına benzeyen karakteristik kavitasyon sesleri duyulur ve cidar malzemesinin kısa zamanda harap olduğu görülür.



Şek. 19

Kavitasyon bugün su makinaları alanında makina hızını ve ekonomikliğı sınırlayan en önemli etkidir.



Bir fizikçinin kavitasyon anlayışı ile su makinası konstrüktörünün anlayışı arasında esaslı farklar vardır. Fizikçi için çok yerel ve yalnız hava kabarcıklarının teşekkülünden ibaret bir olay dahi prensip olarak önemlidir. Makina mühendisi için ise olay ancak teknik ve ekonomik bakımdan zararlı olduğu zaman önem taşır. Hafif bir kavitasyona çok kez göz yumulabilir.

## 2. KAVİTASYONUN DOĞURDUĞU SONUÇLAR :

1. *Gürültü ve titreşim* : Olayın bünyesi nedeniyle doğan darbeler ve yoğunlaşmalar bir gürültü ve titreşim doğurmaktadır. Şiddetli bir kavitasyonda titreşim makina için tehlikeli bir düzeye çıkabilir.

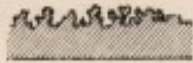
Kısmi yüklerde kavitasyon özellikle Francis türbinlerinde kararsız çalışmayı kamçılar. Türbin gücünde büyük çalkalanmalara neden olur.

Türbin içine az miktarda hava vermek çoğu zaman kavitasyonu hafifletmekte ve gürültü ile titreşimi kesmektedir. Kavitasyona hassas tesislerde kısmi yüklerde çarkın ortasına otomatik olarak hava verme işlemi yapılır.

2. *Verimdeki düşme* : Su türbinlerinde ve tulumalarda kavitasyon etkisi ile verimde büyük düşmeler görülür. Bu düşmenin iki nedeni vardır. Bu sebeplerden biri kavitasyon bölgesindeki çalkantı ve kargaşalığın yuttuğu enerji diğeri ise husule gelen ölü su muntakası dolayısıyla aktif su kesitinin küçülmesidir. Bu yüzden su hızı artar ve kayıplar anormal şekilde büyür.

3. *Yıpranma* : Kavitasyon olayına maruz kalan çark yüzeyi ilkin pürüzlenir. Sonra bu pürüzler oyuklara, oyuklar da deliklere dönüşürler. (Şek. 20)

Olay daha fazla ilerlerse yüzey sünger gibi olur ve malzeme harap olur. Bu etkinin nedeni ilkin fizikseldir. Zira husule gelen ufak darbelerin şiddeti  $1000 \text{ Kg/sm}^2$  yi bulabilir. Fakat buna rağmen kimyasal bir etkiyi göz önüne almayacak olursak, şiddetli kavitasyona maruz bir çarkın hayret uyandırıcı hızını izah edemeyiz. Yıpranma hususunda birçok teoriler mevcuttur.



Şek. 20. Kavitasyona uğramış yüzey

*Wislicenus* darbelerden doğan yüksek sıcaklığın etkisinin de büyük olduğunu ileri sürmektedir. Yüksek sıcaklığa dayanan ve içinde % 18 Cr; % 8 Ni bulunan paslanmaz çeliklerin kavitasyon dirençlerinin de yüksekliği bu fikri kuvvetlendirmektedir.

### 3. KAVİTASYONA ETKİYEN FAKTÖRLER VE ÖNLEMLER :

#### 1° Emme yüksekliği ( $h_s$ ) :

Kavitasyon olayının başlaması için bir bölgede basıncın, buharlaşma basıncına kadar düşmesi gerektiğini söylemiştik. Çark içindeki basınç ise çarktan çıkış basıncı ile ilgili olup  $p_s$  değeri ne kadar küçülürse kavitasyon tehlikesi de o oranda artacaktır.

Çarktan çıkış basıncını hesap etmek üzere aşağıdaki denklemi kuralım (Şek. 21) :

$$\frac{p_2}{\gamma} + h_s + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + \xi_{23}$$

Burada basınç çekilirse :

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_s}{\gamma} - h_s - \left( \frac{V_2^2 - V_3^2}{2g} \right) + \xi_{23}$$

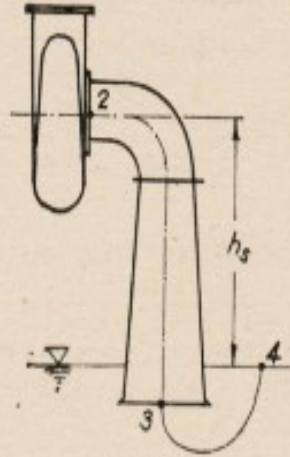
yazılır. Yayıcı verimi için :

$$\eta_d = 1 - \frac{\xi_{23}}{\frac{V_2^2 - V_3^2}{2g}}$$

tanımı kullanılarak.

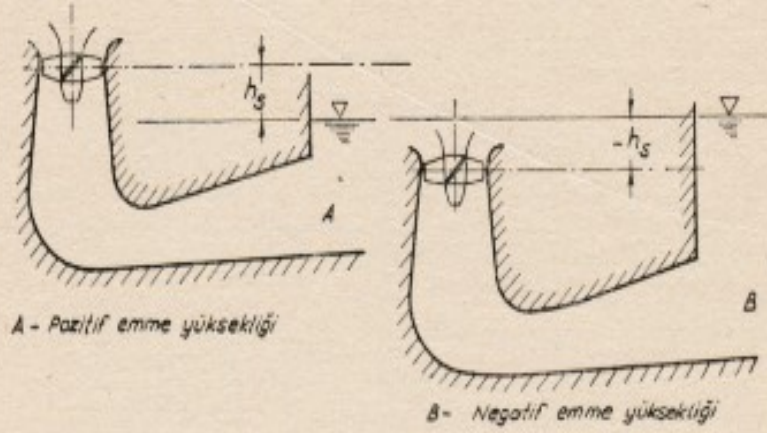
$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_s}{\gamma} - \left( \frac{V_2^2 - V_3^2}{2g} \right) \eta_d - h_s$$

bağıntısı elde edilir. Buradan görüldüğü gibi  $h_s$  emme yüksekliği büyüdükçe  $p_2$  basıncı değişecektir. O halde çarkın çıkışındaki basıncı tehlikeli değere düşürmemek için emme yüksekliğini küçük seçmeliyiz. Yüksek özgül hızlı büyük modern gruplarda  $h_s$  değeri negatif dahi olabilir. Yani başka bir sözle türbin çarkı boşalma kanalındaki su seviyesinden daha aşağı monte edilir. Fakat bu kez çarkın daha aşağı monte edilmesiyle şekil 22 de görüldüğü gibi kazı masrafları artar. Bu yüzden optimum çözüme gidilmesi gerekir.



Şek. 21





Şek. 22

### 2° Yükselti (Deniz seviyesinden yükseklik) :

Çıkış basıncını veren yukarıdaki formülden açıkça görülmektedir ki atmosferik basıncın küçülmesi çıkış mutlak basıncını da aynı derecede küçültür. O halde santralin bulunduğu kota göre kavitasyon tehlikesi de değişecektir.

Deniz seviyesinden yüksekliğe göre atmosferik basıncı su sütunu cinsinden aşağıdaki ampirik formüller ile hesap edebiliriz. (Z metre cinsinden tesisin deniz seviyesinden yüksekliğini göstermek üzere).

$$H_a = 10 - 0,0012 Z$$

veya

$$H_a = 10,33 - \frac{Z}{900}$$

formülleri kullanılabilir. Burada Z metre,  $H_a$  m.s.s. cinsindendir.

### 3° Hız :

Çıkış basıncı sabit kaldığı halde su hızı arttırılırsa B. Teoremine göre çarkın içindeki bir noktadaki basıncın gittikçe düşeceği aşikârdır. Aynı şekilde Türbin devir adedinin yüksekliği izafi hızları büyültür ve dolayısıyla çark içinde alçak basınç bölgelerinin meydana gelişini kolaylaştırır. O halde kavitasyon devir adedini tahdit eden bir etken olarak ortaya çıkar. Kavitasyon tehlikesi yüzünden gurubumuza istediğimiz kadar yüksek bir hız verememekteyiz.

#### 4° Sıcaklık :

Bilindiği gibi su için buharlaşma basıncının sıcaklık ile aşağıdaki ampirik bağıntıya göre değiştiği kabul edilebilir.

$$\frac{p_v}{p_a} = \left( \frac{t}{100} \right)^4 \quad t \rightarrow C^0$$

Buharlaşma basıncı ne kadar yüksek ise bu basınca düşme olanağında o derece kolaylaşmış ve kavitasyon tehlikesi o oranda artmış olacaktır. O halde sıcaklığın yükselmesi kavitasyon tehlikesini artırır.

#### 5° Profil :

Bir kanat etrafındaki harekette kanadın her noktasında basıncın aynı olmadığı açıktır. Bu yüzden kanat üzerinde öyle noktalar vardır ki bu noktalarda basınç  $p_2$  çark çıkış basıncından aşağı olur. Böyle noktaların bulunuşu ve basınç düşüklüğünün derecesi türbin çarkının tipine ve aynı tip için profilin durumuna ve şekline bağlıdır. İşte bu yüzden çıkıştaki basınç kavitasyon yaratacak kadar düşük olmadığı halde türbin çarkı kanadı üzerinde kavitasyon meydana gelebilir.

Yüksek özgül hızlı türbin kanatları için bu söylenilen daha fazla göze çarpar. Türbin konstrüktörleri sipariş aldıkları büyük bir türbinin imalatına geçmeden evvel model üzerinde yaptıkları deneylerle çarkın kavitasyona karşı durumunu belirtirler ve gerekirse kanatların formlarını değiştirerek kavitasyonu önlemeye çalışırlar.

#### 6° Düşü :

Bir türbinin emme yüksekliği, devir sayısı, diğer şartlar sabit kalmak ve türbin kendisine benzer şartlarda çalışmak üzere düşüsü büyütülse türbinin daha kolay kavite ettiğini görmekteyiz. Bunun nedeni türbin düşüsü büyüdükçe kanatların yüklerinin artması ve kanat ön ve arka yüzleri arasındaki basınç farklarının büyümesine bağlanabilir. Basınç farklarının büyümesi kanat içinde kritik bölgelerde depresyonların büyümesine neden olur.

Düşü, emme yüksekliği, sıcaklık, rakım gibi etkileri ileride «Kavitasyon faktörü» adı altında toplayacağız.

#### 7° Özel çalışma şartları :

Türbin optimum çalışma noktasında kavitasyon yapmadığı halde optimum noktadan uzaklaşınca hidrodinamik şartlar bozulur ve bu yüzden



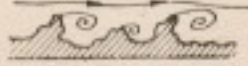
kavitasyon bağliyabilir. Francis türbinlerinin kanat girişlerinde kısmi yüklerde görülen kavitasyon bu türdendir.

Yine türbin çıkışında optimum çalışma noktasından uzak çalışma durumlarında büyük teğetsel hız bileşenleri nedeniyle, ilâve bir dönme (vorteks) hareketi ile karşılaşılır. Bu ise eksene yakın noktalarda basıncın düşmesine ve kavitasyona sebep olur. Eksen civarında husule gelen silindirik bir bölge su buharı ve hava ile dolar. Daha ileri gidildiği zaman bu vorteks çekirdeği kararsız bir durum alır ve eksenden ayrılarak bir halat gibi dönmeye başlar. Bu hal türbinin çalışmasında güç çalkantılarına ve kararsızlıklara neden olur.

Bu halleri önlemek için, optimum noktadan çok uzaklaşmamak yani türbinin yük ve düşü alanını limitlemek ilk uygulanan önlemdir. Ayrıca türbin ortasına hava vermek, difüzör girişine dönmeyi frenleyecek kaburgalar yerleştirmek yollarına da gidilmektedir.

#### 8° Yüzey pürüzlülüğü :

Pürüzlü bir cidar düz bir cidara oranla kavitasyona daha yatkındır. Zira pürüzler cidardan ufak ayrılmalar ve bu nedenle basınç düşüklükleri doğururlar. (Şek. 23).



Şek. 23

Pelton türbinlerinin kepçelerinde husule gelen kavitasyonun gelişmesi bu şekilde açıklanır.

#### 9° Malzeme :

Evvelce de söylediğimiz gibi her malzemenin kavitasyona duyarlılığı başka başkadır. Yani fiziksel olarak kavitasyon olayı aynen olduğu halde bu olayın malzeme üzerindeki oyucu ve yıpratıcı etkisi malzemenin cinsine bağlıdır.

Bu gün birçok reaksiyon türbini tesislerinde türbin çarkının basıncı en düşük kısımları (kavitasyon etkisindeki bölgeler) özel olarak kavitasyona dayanıklı malzeme ile doldurulur.

#### Süper Kavitasyon :

Yukarıda kavitasyona etkiyen faktörleri ve bunlara ait önlemleri sayarken gördük ki, hızları düşürmek,  $h_s$  i küçültmek ve türbini gömmek kavitasyon tehlikesini azaltıcı etkenlerdir. Ancak bu etkenleri zorlamak

ekonomik bakımdan doğru olmayabilir. Özellikle pompalarda ve gemi pervanelerinde kavitasyona hidrolik olarak müsaade edip onun zararlı etkilerinden kurtulmak ve diğer taraftan yüksek hızlı, ekonomik makineler yapmak için «Süper Kavitasyon» a gidilir. Kanat üzerinde basınç buharlaşma basıncı altına indikten sonra meydana gelen kabarcıkların tekrar «kollaps» i için basıncın yüksek olduğu bölgeye girmeleri gerekir. Süper Kavitasyonda, kanada verilen uygun form ile kollaps kanadın dışındaki boşlukta gerçekleştirilir. Kanatlar normal çalışmaya göre çok büyük bir yük altında çalıştırıldıkları halde kanat içi akışı bozulmaz ve kanatlar üzerinde kavitasyon oyulması olmaz.

#### 4. KAVİTASYON FAKTÖRÜ :

Bir türbinin modelinde gördüğümüz kavitasyon emniyetini esas türbinde de görmek isteriz. O halde bu iki hali kavitasyona duyarlılık bakımından benzer kılacak bir faktör bulmalıyız.

Kavitasyon tehlikesinin türbin çıkışındaki mutlak basıncın buharlaşma basıncından olan farkı ile ilişkisi olduğunu görmüştük. Bu farkın su sütunu cinsinden değeri: (Şek. 21), statik halde

$$H_s = H_a - h_s - h_b$$

şeklinde ifade edilir. (Burada  $H_a$  barometrik basıncı,  $h_b$  buharlaşma basıncını göstermektedir.) Diğer taraftan çıkış basıncı ve dolayısıyla  $H_s$  sabit kaldığı halde net düşünün büyümesinin kanat üzerindeki alçak basınç bölgesinin basıncını daha da azaltacağı gerek teorik gerekse deneysel bakımdan ispat edilir.

*Thoma* bu iki esas etkiyi bir faktör üzerinde toplamak üzere aşağıdaki boyutsuz sayıyı tanımlamıştır.

$$\sigma = \frac{H_s - h_s - h_b}{H_o}$$

Bu sayıya *Thoma kavitasyon sayısı* denir. Bu sayı tesisin kavitasyona karşı durumunu karakterize eder. Bu değer küçülürse türbin daha zor durumda çalışır. O halde her türbinin dayanabileceği kritik bir  $\sigma_k$  sınırı mevcuttur. Türbin konstrüktörleri model deneylerinde bu değeri bulmaya ve kanat formlarında yapılan gelişme ile sınırı yükseltmeye çalışırlar.



Kavitasyon olmaması için

$$\sigma > \sigma_{kr}$$

şartı gerçekleşmelidir. Şimdi  $\sigma_{kr}$  değerinin kabaca bir ifadesini bulmaya çalışalım.

Türbin çıkışı ve yayıcı girişi olan (2) noktasındaki basıncı veren formülü tekrar ele alalım,  $V_2^2$  hızı  $V_2^2$  yanında ihmal edilerek

$$\frac{p_2}{\gamma} = \frac{p_s}{\gamma} - \eta_d \cdot \frac{V_2^2}{2g} - h_s$$

yazılır. Kanat içinde tehlikeli  $M$  noktasında basınç bu değerden daha düşüktür. Bu basınç düşüklüğünün izafi hız ile ilgili olduğu düşünülerek,  $K$  boyutsuz ve konstrüksiyona bağlı bir katsayıyı göstermek üzere

$$\frac{p_{min}}{\gamma} = \frac{p_2}{\gamma} - K \frac{W_2^2}{2g}$$

$$\frac{p_{min}}{\gamma} = \frac{p_s}{\gamma} - h_s - \eta_d \frac{V_2^2}{2g} - K \frac{W_2^2}{2g}$$

Kavitasyon olmaması için  $M$  noktasındaki basıncın buharlaşma basıncına inmemesini istersek

$$\frac{p_{min}}{\gamma} > \frac{p_b}{\gamma} = h_b$$

$$\frac{p_s}{\gamma} - h_s - \eta_d \frac{V_2^2}{2g} - K \frac{W_2^2}{2g} > h_b$$

veya düzelterek

$$H_s - h_s - h_b > \eta_d \frac{V_2^2}{2g} - K \frac{W_2^2}{2g}$$

Her iki tarafı  $H_s$  net düşüye bölerek ve  $V_2 = C_2$  koyarak

$$\frac{H_s - h_s - h_b}{H_s} > \eta_d k_{c2}^2 - K k_{w2}^2$$

elde edilir (\*). Görüldüğü gibi kritik sigma

$$\sigma_{kr} = \eta_d k_{c2}^2 - K k_{w2}^2$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

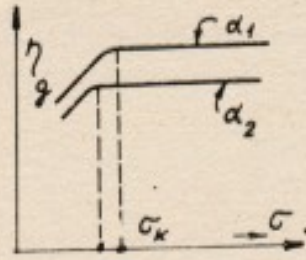
(\*)  $h_b$  normal sıcaklıkta  $H_s$  yanında çok küçük olduğu için ihmal edilir.



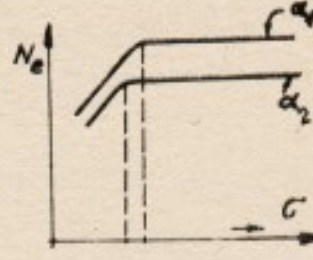
### 5. KAVİTASYON DENEYLERİ :

Bir türbin çarkı veya modeli üzerinde yapılan deneyle türbinin kavıtasyona başladığı noktayı veya kavıtasyonlu çalışmanın şartlarını etüd etmek için akla üç yol gelmektedir :

1. — *Karakteristiklerde ve özellikle verimde olan değişikliği gözlemek* : Eğer çark sabit bir hız ve sabit dağıtıcı açıklığında çalıştırılarak yalnız  $\sigma$  kavıtasyon faktörü değiştirilirse (örneğin emme yüksekliği ayarlamasıyla) şekil 24 deki gibi eğriler bulunur.



Şek. 24. a



Şek. 24. b

Yani Thoma faktörü belirli bir açıklık için belirli bir sınıra altına düşünce verim eğrisinde bir kırılma görülmektedir. Bu nokta türbinin bu açıklığı için *Kritik Thoma sayısı*ni tarif eder. Türbini daha küçük  $\sigma$  değerlerinde çalıştırmak uygun değildir. Olayın benzeri daha hafif olmak üzere  $N_e$  efektif gücü üzerinde de kendisini gösterir. Türbin imalatçısı model üzerinde yapacağı geliştirme ile  $\sigma_k$  sayısını küçültmeye çalışır.

2. — Türbin üzerinde açılan saydam bir pencereden stroboskopik tertibat ile çark kanatları etrafındaki akışı ve kavıtasyon başlangıcını görmek kabildir. Bu suretle aynı zamanda kavıtasyon bölgeleri ve kabarcıkların oluşumu saptanır.

Çıplak kulakla kavıtasyon, karakteristik gürültüsü dinlendiği gibi özel gürültü cihazları da kullanılabilir. Titreşim de özel aletlerle tesbit edilebilir, modern Lâboratuvarlarda basınç kaptörleri ile basınç titreşimleri kaydedilir.

Yalnız az miktarda gürültü ve vibrasyonun başladığı nokta  $\sigma_k$  değerine tekabül etmez, zira az miktarda kavıtasyon verimde hissedilir bir değişme yaratamaz.

### 6. ÖZGÜL HIZIN ROLÜ :

Büyük özgül hızlı türbinler kavıtasyona daha hassastırlar. Örneğin 100 özgül hızındaki bir Francis türbini 0,06 ya eşit bir Thoma sayısı ile

hiç kavitasyonsuz rahatça çalışabildiği halde 800 özgül hızlı bir Kaplan türbini 1.2 ye eşit bir *Thoma* sayısında pek fena şekilde kavitasyona uğramaktadır.

O halde *Thoma* sayısı için belirli bir özgül hızda bugünkü tekniğin daha altına inmesini sağlık vermediği bir sınır vardır. Buna  $\sigma_k$  diyelim. Her türbin imalatçısı bu sınırı genişletmek için tecrübeler yapmakta ve kavitasyon rekabeti bu alanda olmaktadır. Tabiatıyla bu sınıra yakın olmak üzere güvenli bölgesinde çalışmakta fayda vardır. Özellikle yüksek özgül hızlı türbinlerde bu kendini daha fazla hissettirir.

E.d.F. (Électricité de France) dünyadaki büyük hidrolik tesisler üzerinde yaptığı istatistiksel bir etüd sonucunda aşağıdaki ampirik ifadeyi elde etmiştir.

( $\sigma$  tarifinde her zaman suyun buharlaşma basıncını hesaplamaktan kurtulmak için bir basitleştirme yapılmıştır.)

$$\sigma_{min} = K \left( \frac{n_s}{100} \right)^{1.5} \quad \sigma = \frac{H_s - h_s}{H_0}$$

Burada  $K$  bir katsayıyı göstermekte ve adi çelikten çarklar için  $K=0.0295$  alınmaktadır. Paslanmaz çeliğin kavitasyona dayanıklılığı fazla olduğu için bu malzeme ile takviye edilen çarklarda  $K=0.024$  tavsiye edilmelidir.

Bazı firmalar belli bir tip çark üzerinde yaptıkları etüdler sayesinde bu formülün verdiği  $\sigma_k$  değerinin altına inebilmişler ve inebilmektedirler. Fakat bir avan proje hesabı için büyük tesisler halinde bu formülün kullanılması ihtiyatlı bir hareket olur.

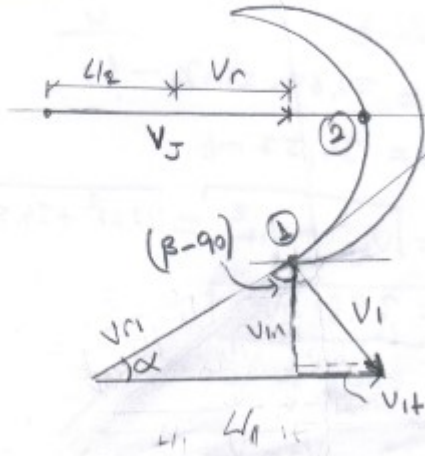
Aşağıdaki cetvel orijinleri farklı  $\sigma_k$  değerlerini mukayeseli bir şekilde vermektedir.

$n_s$	Pfleiderer	Neyrpic	Yazarın tavsiyesi
80	0,045	0,03	0,032
100	0,05	0,04	0,040
150	0,08	0,075	0,060
200	0,11	0,11	0,090
300	0,20	0,23	0,105
400	0,35	0,40	0,35

## Örnek 2

Jeneratör pelton türbini ile yükseklik 220m ve debisi 145 lt/s olan bir su ile döndürülmektedir. Çark hızı  $U=14$  m/s ve jet çıkış açısı  $160^\circ$  ise elde edilen gücü bulunuz.

Görünüm 2:



$$V_j = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 220}$$

$$V_j = 65,69 \text{ m/s}$$

$$W_{mil} = \rho Q [U_2 V_{2t} - U_1 V_{1t}]$$

$$V_{2t} = V_j = V_2$$

$$U = U_1$$

$$\sin(\beta - 90) = -\cos\beta$$

$$V_{1t} = U_1 - V_{1r} \sin(\beta - 90) = U - V_r (-\cos\beta) = U + V_r \cos\beta$$

$$W = \rho Q [U \cdot V_j - U(U + (V_j - U) \cos\beta)]$$

$$= \rho Q [U \cdot V_j - U^2 - U(V_j - U) \cos\beta]$$

$$= \rho Q U [V_j - U - (V_j - U) \cos\beta]$$

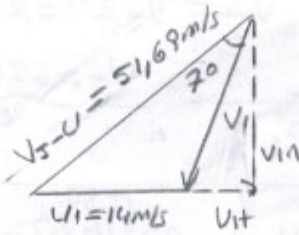
$$W = \rho Q U (V_j - U)(1 - \cos\beta) = \rho Q U (V_j - U)(1 - \cos\beta)$$

$$W = \rho Q U (V_j - U)(1 - \cos\beta)$$

$$W = 1000 \cdot 0,145 \cdot 14 (65,69 - 14)(1 - \cos 160)$$

$$W = 203,5 \text{ kW}$$

2. Yol



$$V_{1h} = 51.69 \cdot \cos 20 = 17.67 \text{ m/s}$$

$$V_{1v} = 51.69 \cdot \sin 20 = 17.67 \text{ m/s}$$

$$V_{1h} = 34.57 \text{ m/s}$$

$$V_2 = \sqrt{V_{1h}^2 + V_{1v}^2} = \sqrt{17.67^2 + 34.57^2}$$

$$V_1 = 38.81 \text{ m/s}$$

Kinetik enerji değişimi enerji dönüşecek

$$W = \rho A \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) \quad V_2 = V_j$$

$$W = 1000 \cdot 0.145 \left( \frac{65.69^2 - 38.81^2}{2} \right)$$

$$W = 203.6 \text{ kW}$$

