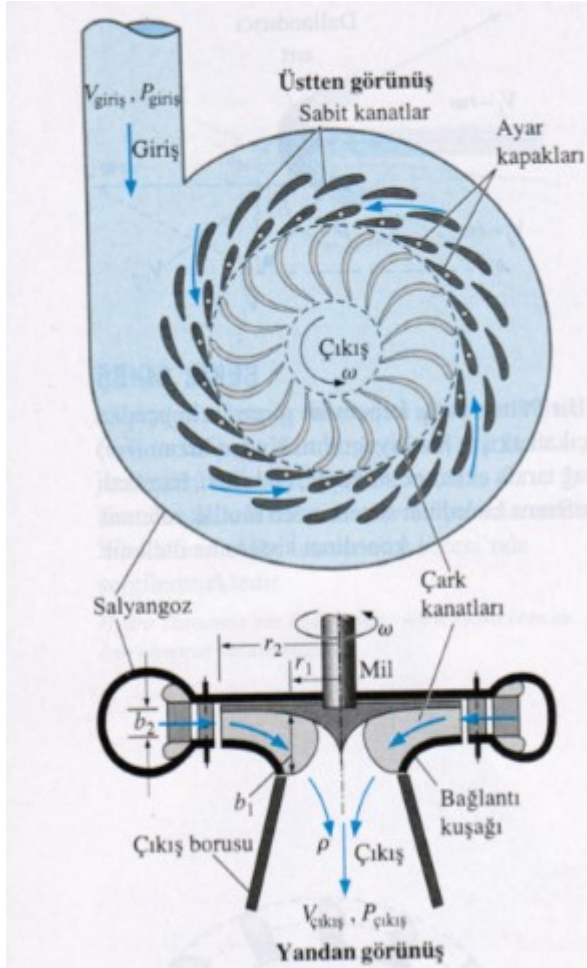
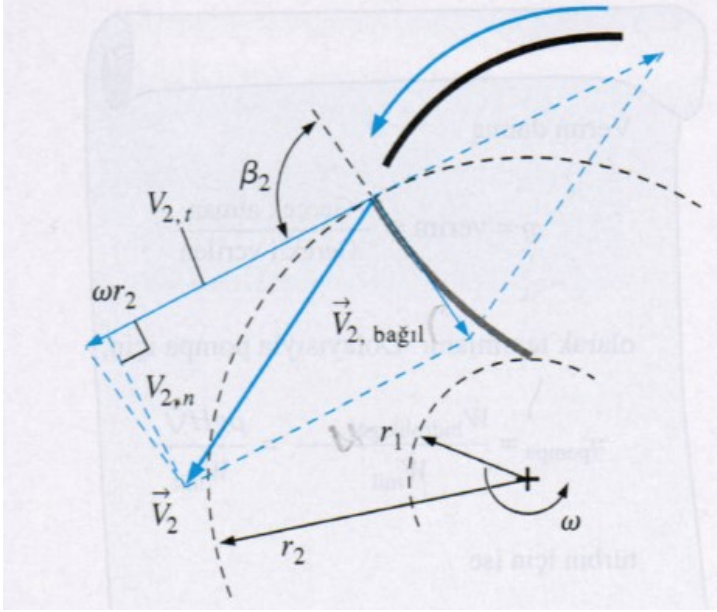


### Tepki Türbinleri (reaksiyon Türbinler)

Türbin için denklemler pompa için denklemlerle aynıdır. Sadece türbinden giriş 2 numara(enerji girişi), pompada ise 1 (enerji girişi)numarayla simgelenmiştir.



Bir *tepki türbini*, etki türbininden önemli ölçüde farklılık gösterir; su jetleri kullanmak yerine tepki türbininde *gövde* dönerek çarkı çeviren suyla dolar. Hidrotürbin uygulamalarında eksen tipik olarak diktir. Üstten ve yandan görünüşler, *sabit kanatlar* ile *ayar kapakları* dahil edilerek gösterilmiştir.

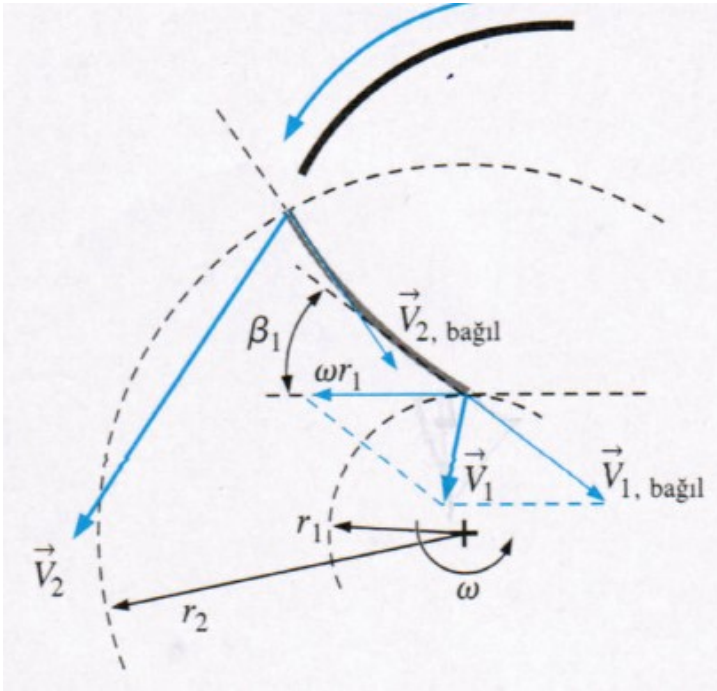


$V_{2t}$  ve  $V_{1t}$  Euler turbomakine denklemleri için

$$V_{2t} = \omega r_2 - \frac{V_{2n}}{\tan \beta_2}$$

$$V_{1t} = \omega r_1 - \frac{V_{1n}}{\tan \beta_1}$$

Bir Francis türbini çarkının çıkış yarıçapı için bağıl ve mutlak hız vektörleri ile geometri. Mutlak hız vektörleri koyu çizilmiştir.



Mil gücü ise

$$W_{mil} = \omega T_{mil} = \rho \omega Q (r_2 V_{2t} - r_1 V_{1t})$$

$$U = r \cdot \omega$$

Bir Francis türbini çarkının giriş yarıçapı için bağıl ve mutlak hız vektörleri ve geometri. Mutlak hız vektörleri koyu çizilmiştir.

Verimler:

$$\eta = \text{verim} = \frac{\text{Gerçek alınan}}{\text{Gerekli verilen}} \quad \text{Olarak tanımlanır.}$$

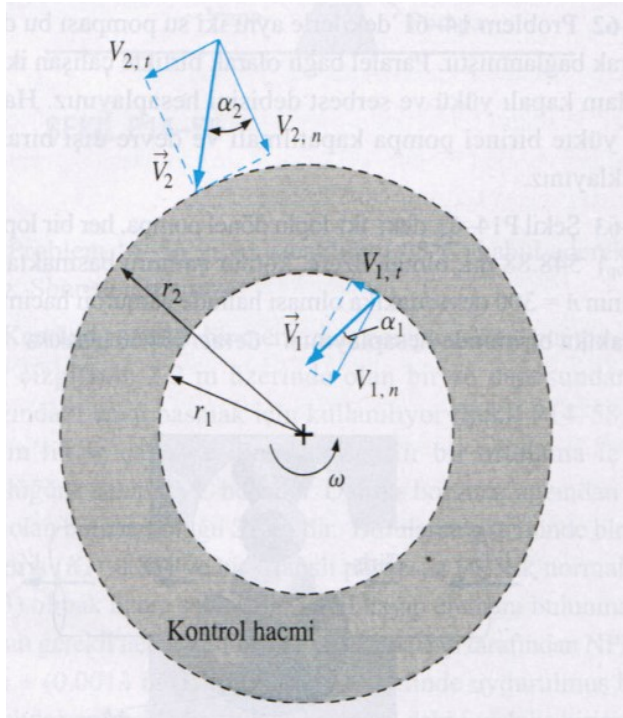
Pompalar için

$$\eta_{pompa} = \frac{W_{hidrolik\ güç}}{W_{mil}}$$

Türbinler için

$$\eta_{Türbin} = \frac{W_{mil}}{W_{hidrolik\ güç}}$$

Örnek:



Bir Francis radyal akışlı su türbini verile boyutlarda tasarlanmaktadır.  $r_2=2$  m,  $r_1=1,42$  m  $b_2=0,731$  m, ve  $b_1=2,2$  m. Türbin dönme hızı  $n=180$ d/d olarak verilmektedir. Ayar kanatları akışı türbin girişinde radyal doğrultudan  $\alpha_2=30^\circ$ lik bir açıyla, türbin çıkışında ise radyal doğrultuda  $\alpha_1=10^\circ$ lik bir açıyla döndürmektedir. Tasarım şartlarında hacimsel debi  $340$  m<sup>3</sup>/s ve barajdan sağlanan brüt yük  $H_{brüt}=90$  m dir. Ön tasarım için tersinmez kayıplar ihmal edilmektedir.

- Giriş kanat açısını ( $\beta_2$ )
- Çıkış kanat açısını ( $\beta_1$ )
- Alınan gücü bulunuz.

Gözüm:

$$V_{2n} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_2 \cdot b_2} = \frac{340}{2 \cdot \pi \cdot 2.01731} = 37 \text{ m/s}$$

$$V_{2t} = V_{2n} \cdot \tan \alpha_2 = 37 \cdot \tan 30^\circ = 21.4 \text{ m/s}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = 18.85 \text{ rad/s}$$

$$V_{2t} = \omega \cdot r_2 - \frac{V_{2n}}{\tan \beta_2}, \quad \beta_2 = \arctan \left[ \frac{V_{2n}}{\omega r_2 - V_{2t}} \right]$$

$$a) \quad \beta_2 = \arctan \left[ \frac{37}{18.85 \cdot 2 - 21.4} \right] = 66.2^\circ$$

Giriş için

$$V_{1n} = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot b_1} = \frac{340}{2 \cdot \pi \cdot 1.42 \cdot 2.2} = 17.3 \text{ m/s}$$

$$V_{1t} = V_{1n} \tan \alpha_1 = 17.3 \cdot \tan 10^\circ = 3.05 \text{ m/s}$$

$$V_{1t} = \omega r_1 - \frac{V_{1n}}{\tan \beta_1} \rightarrow \beta_1 = \tan^{-1} \left[ \frac{V_{1n}}{\omega r_1 - V_{1t}} \right]$$

$$b) \quad \beta_1 = 36.4^\circ$$

$$c) \quad W_{mil} = \rho \cdot \omega \cdot Q [r_2 V_{2t} - r_1 V_{1t}]$$

$$W_{mil} = 998 \cdot 18.85 \cdot 340 \cdot [2 \cdot 21.4 - 1.42 \cdot 3.05]$$

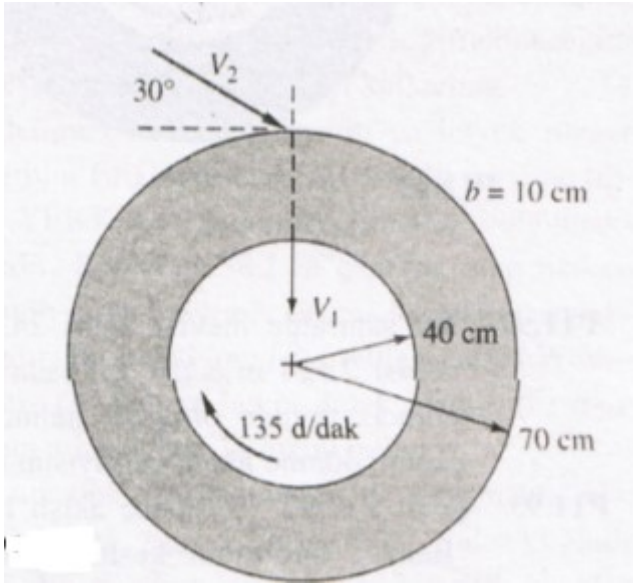
$$W_{mil} = 246 \times 10^6 \text{ W} = 246 \text{ MW}$$

Eğer türbin verimini  $\eta = 1$  kabul ederseniz  $W_{mil} = P_{g2}$

$$H = \frac{W_{mil}}{\rho g Q} = \frac{246 \times 10^6}{998.991 \cdot 340} = 73.9 \text{ m}$$



Örnek:



Bir idealleştirilmiş radyal türbin şekilde gösterilmiştir. Mutlak akış  $30^\circ$  ile girmekte ve radyal olarak çıkmaktadır.  $20^\circ\text{C}$  deki suyun debisi  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  dir kanat kalınlığı 10 cm olup sabittir. %100 verimde elde edilecek teorik gücü belirleyiniz.

Gözümü

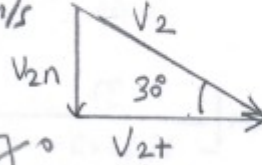
$$u_2 = \omega \cdot r_2 = 135 \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot 0,7 = 9,9 \text{ m/s}$$

$$\alpha_2 = 30^\circ$$

$$\alpha_1 = 90^\circ$$

$$V_{2n} = \frac{Q}{2\pi \cdot r_2 \cdot b_2} = \frac{3,5}{2 \cdot \pi \cdot 0,7 \cdot 0,1} = 7,96 \text{ m/s}$$

$$V_{2t} = \frac{V_{2n} \cdot \cos 30^\circ}{\sin 30^\circ} = 13,78 \text{ m/s}$$

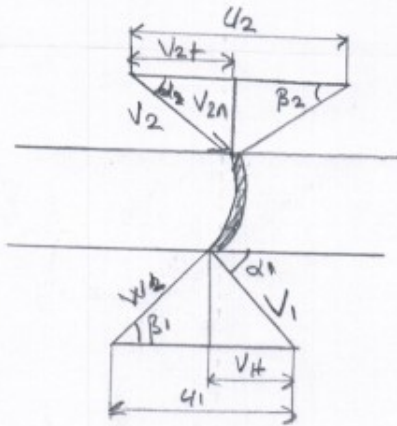


$$|X|_{\text{mil}} = \rho Q [u_2 \cdot V_{2t} - u_1 \cdot V_{1t}]$$

$$W_{\text{mil}} = \rho Q u_2 \cdot V_{2t} = 998 \cdot 3,5 \cdot 9,9 \cdot 13,78 = 476522 \text{ W}$$

Teorik,  $= 476,5 \text{ kW}$

ÖRNEK: Şekilde hız üçgeni ile diğer büyüklükleri verilen küçük göslü ve laboratuvar amaçlı bir Francis tipi su türbininde  $r_2 = 320 \text{ mm}$ ,  $r_1 = 160 \text{ mm}$ ,  $Q = 52 \text{ L/s}$   
 $\alpha_2 = 30^\circ$ ,  $\alpha_1 = 80^\circ$ ,  $V_2 = 6,4 \text{ m/s}$ ,  $V_1 = 3,2 \text{ m/s}$ ,  $\eta = 0,8$   
 $\eta_{hid} = 0,9$ ,  $\omega = 25 \text{ rad/s}$  verilmiştir. Türbin net düşüşü  $H$  ve türbin mil gücünü bulunuz.



$$u_2 = \omega \cdot r_2 = 25 \cdot 0,32 = 8 \text{ m/s}$$

$$u_1 = \omega \cdot r_1 = 25 \cdot 0,16 = 4 \text{ m/s}$$

$$V_{2t} = V_2 \cdot \cos \alpha_2 = 6,4 \cdot \cos 30^\circ$$

$$V_{2t} = 5,542 \text{ m/s}$$

$$V_{1t} = V_1 \cdot \cos \alpha_1 = 3,2 \cdot \cos 80^\circ$$

$$V_{1t} = 0,555 \text{ m/s}$$

$$\eta_{hid} = \frac{W_{mil}}{W_{in}} = \frac{\rho Q [u_2 V_{2t} - u_1 V_{1t}]}{\rho g Q H}$$

$$H = \frac{u_2 V_{2t} - u_1 V_{1t}}{g \cdot \eta_{hid}} = \frac{8 \cdot 5,54 - 4 \cdot 0,555}{9,81 \cdot 0,9}$$

$$H = 4,76 \text{ m}$$

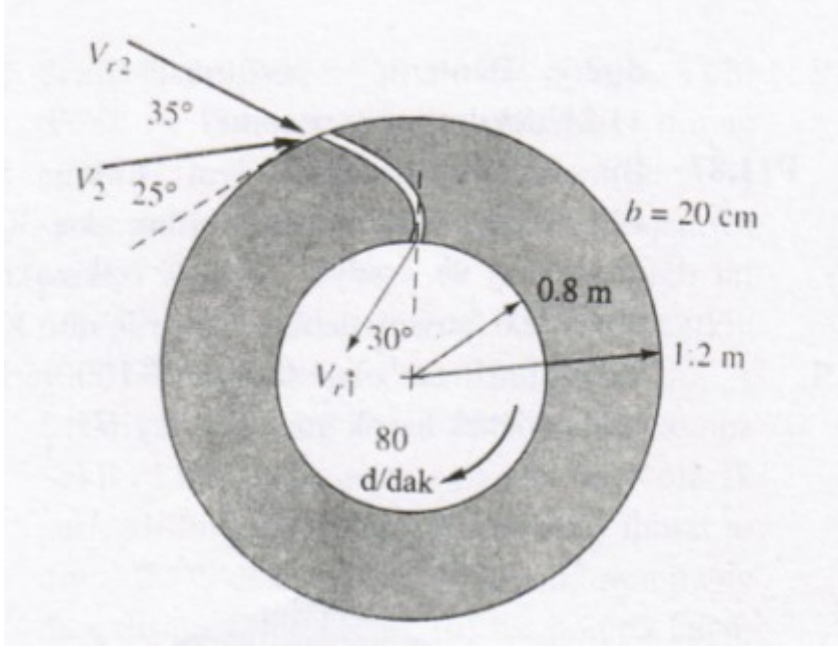
Türbin için gerekli güç  $W_{mil} = \eta \cdot \rho g Q H$

$$W_{mil} = 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{52}{1000} \cdot 4,76 \cdot 0,8 = 1942 \text{ W}$$

$$= \underline{\underline{1,942 \text{ kW}}}$$

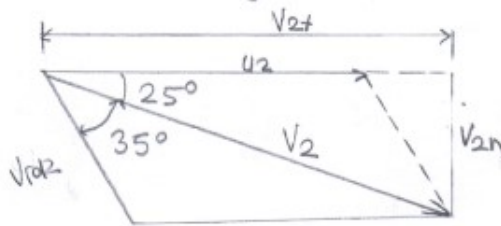
Örnek:

İdealleştirilmiş bir radyal türbin şekilde gösterilmiştir. Mutlak akış açıları gösterilen kanatlara  $25^\circ$  ile girmekte  $20^\circ\text{C}$  suyun debisi  $8\text{ m}^3/\text{s}$  dir. Kanat kalınlığı sabit ve  $20\text{ cm}$  dir. %100 verimde sağlayacak olan teorik gücü belirleyiniz.



görümlü :

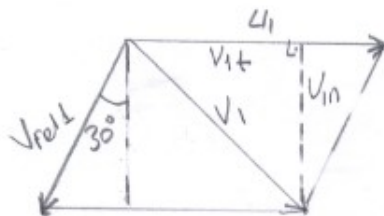
Hız Vektörleri



$$n = 800 \text{ d/d}$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot 800}{60} = 8.38 \text{ r/s}$$



$$V_{2n} = \frac{Q}{2\pi \cdot r_2 \cdot b_2} = \frac{8}{2\pi \cdot 1.2 \cdot 0.2}$$

$$V_{2n} = 5.305 \text{ m/s}$$

$$V_{1n} = \frac{Q}{2\pi \cdot r_1 \cdot b_1} = \frac{8}{2\pi \cdot 0.8 \cdot 0.2} = 7.957 \text{ m/s}$$

$$u_2 = \omega \cdot r_2 = 8.38 \cdot 1.2 = 10.05 \text{ m/s}$$

$$u_1 = \omega \cdot r_1 = 8.38 \cdot 0.8 = 6.704 \text{ m/s}$$

$$V_{2t} = \frac{V_{2n} \cdot \cos 25}{\sin 25} = 11.376 \text{ m/s}$$

$$V_{1t} = u_1 - \frac{V_{1n} \cdot \sin 30}{\cos 30} = u_1 - V_{1n} \cdot \tan 30 = 6.704 - 7.957 \cdot \tan 30$$

$$V_{1t} = 2.11 \text{ m/s}$$

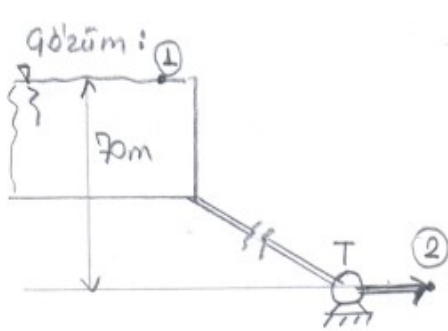
$$|K|_{\text{teorik}} = \rho Q [u_2 \cdot V_{2t} - u_1 \cdot V_{1t}] = 998.8 [10.1 \cdot 11.4 - 6.7 \cdot 2.11]$$

$$|K|_{\text{teorik}} = 806407 \text{ W} = 0.806 \text{ MW}$$



Örnek:

Şekilde görülen hidroelektrik santrale saniyede  $30 \text{ m}^3$  su girmektedir. Su türbin kanatlarını döndürdükten sonra  $1,5 \text{ m/s}$  lik bir hızla sistemden ayrılmaktadır. Sürtünmelerden dolayı sistemde oluşan toplam kayıplar  $1.5 \text{ bar}$  olduğuna göre bu santralden elde edilebilecek gücü bulunuz.



$$P = \rho g h, \quad h = \frac{P}{\gamma}$$

$$\sum h_k = \frac{\text{Toplam basınç kaybı}}{9810}$$

$$\sum h_k = 15,29 \text{ m}$$

① ve ② arasında enerji denklemini yazarsak

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \sum h_k + H_T$$

$P_1 = P_2 \rightarrow$  atmosfer basıncı,  $V_1$  ihmal.

$$H_T = (z_1 - z_2) - \frac{V_2^2}{2g} - \sum h_k = 70 - \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} - 15,29$$

$$H_T = 54,59 \text{ m}$$

$$N = \rho g Q H_T = 9810 \cdot 30 \cdot 54,59 = \underline{\underline{16,067 \text{ MW}}}$$

Hız bileşenleri hız üçgenlerinden hesaplanabilir. Bilindiği gibi özgül hıza göre değişen  $k_u, k_n, k_t, k_v$  sabit değerler alınarak hesaplanabilir. Bunlar

$$u = k_u \sqrt{2gH} \quad k_u \rightarrow \text{teğetsel hız katsayısı}$$

$$V_n = k_n \sqrt{2gH} \quad k_n \rightarrow \text{radyal hız katsayısı}$$

$$V_t = k_t \sqrt{2gH} \quad k_t \rightarrow \text{teğetsel hız katsayısı}$$

$$V = k_v \sqrt{2gH} \quad k_v \rightarrow \text{mutlak hız katsayısı}$$

#### **Türbinlerde reaksiyon derecesi**

Türbin giriş ve çıkışları arasındaki düşü ve basınç enerjisi farkının net düşüye oranıdır.

$$R_d = \frac{\left( z_1 + \frac{P_1}{\gamma} \right) - \left( z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right)}{H_o}$$

Örnek:

$H_0=8$  m düşüde  $P=150$  kW güç üreten bir Francis tipi su türbinin genel verimi  $\eta=0,8$  olarak verilmiştir. Dönel çark 150 d/d ile dönmektedir. Çarka giriş  $U_2$  hızı için  $U_2 = 0.96\sqrt{2gH_0}$  ve  $V_{2n}$  hızı için  $V_{2n} = 0.36\sqrt{2gH_0}$  eşitliğinin kullanılması önerilmiştir. Ayrıca türbinin hidrolik verimi ise 0.85 ve  $\alpha_1=0^\circ$  dir. Verilenlere göre

- $U_2, V_{2t}, V_{2n}$  hızlarını hesaplayınız.
- Dönel çark çapı ile türbinin debisini bulunuz.
- $\alpha_2$  açısını hesaplayınız.

Çözüm:

$$a) U_2 = 0.96 \sqrt{2gH_0} = 0.96 \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 8} = 12.02 \text{ m/s}$$

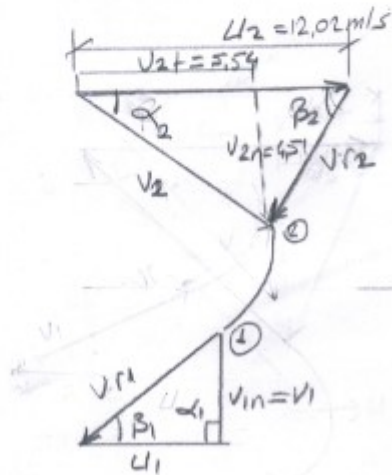
$$V_{2n} = 0.36 \sqrt{2gH_0} = 4.51 \text{ m/s}$$

$$\eta_h = \frac{U_2 V_{2t} - U_1 V_{1t}}{g H_0} \Rightarrow V_{2t} = \frac{0.85 \cdot 8}{12.02} = 5.54 \text{ m/s}$$

b) Dönel çark çapı

$$U_2 = \frac{\pi D n}{60} \Rightarrow D = \frac{U_2 \cdot 60}{\pi \cdot n} = \frac{12.02 \cdot 60}{\pi \cdot 150}$$

$$D = 1.53 \text{ m}$$



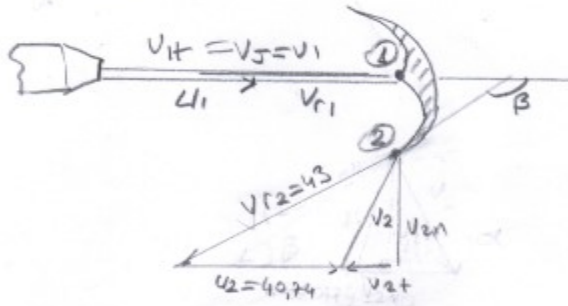
$$\tan \alpha_2 = \frac{V_{2n}}{V_{2t}} = \frac{4.51}{5.54} = 39.14^\circ$$

Örnek:

Bir Pelton türbini çarkı 720 d/d ile dönmektedir. Bu dönüş esnasında çarktan 300 kg/s lik kütleli debi geçmektedir. Türbin ile baraj gölü seviyesi 425 m olarak verilmiştir.  $B=165^\circ$ ,  $k_v=0,97$  ve  $k_u=0,46$  ayrıca keçe de relativ hızda %10 kayıp söz konusu ise

- Türbin verimini
- Çark çapı ile püskürtücü çapını
- Türbinin pelton olduğunu doğrulayınız.

Çözüm:



$$V_1 = k_v \sqrt{2g \cdot H_0}$$

$$V_1 = V_2 = 0,97 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 425}$$

$$V_1 = V_2 = 88,57 \text{ m/s}$$

$$k_u = \frac{U}{V_2} \Rightarrow U = 0,46 \cdot 88,57$$

$$U = 40,74 \text{ m/s}$$

$$V_{r1} = V_1 - U = 88,57 - 40,74$$

$$V_{r1} = 47,82 \text{ m/s} \quad , \quad V_{r2} = 0,9 \cdot V_{r1} = 43 \text{ m/s} \quad \left[ \begin{array}{l} V_{r2} = V_{r1} - k \cdot V_{r1} \\ = V_{r1}(1-k) \end{array} \right]$$

$$V_{2t} = V_{r2} \cdot \cos 15^\circ - U = 0,794 \text{ m/s}$$

$$W_{mil} = m \cdot u \cdot [V_{1t} + V_{2t}] = 300 \cdot 40,74 \cdot [88,57 + 0,794]$$

$$W_{mil} = 4092216 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{W_{mil}}{W_{akiz}} = \frac{4092216}{300 \cdot 9,81 \cdot 425} = 0,873$$

(p g a t)  
(m g t)

$$(1-k) = 1 - 0,1 = 0,9$$

$$W = m \cdot u \cdot (V_2 - u) \cdot (1 - (1-k) \cos \beta)$$

$$N_{st} = \frac{W \cdot \sqrt{W_{mil}}}{\rho \cdot V_2 \cdot (g \cdot H)^{3/4}} = 0,074 - \text{Pelton}$$

Pelton çarkı ile püskürtücü çapı

$$u_1 = \frac{\pi D n}{60} \quad , \quad D = \frac{u_1 \cdot 60}{\pi \cdot n} = 1,08 \text{ m} \quad (1080 \text{ mm})$$

$$Q = A_5 V_5 = \frac{\pi}{4} D_5^2 \cdot V_5 \Rightarrow D_5 = \sqrt{\frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot V_5}} \quad , \quad \dot{m} = \rho Q = 300 \text{ kg/s}$$

$$D_5 = \left( \frac{0,3 \cdot 4}{\pi \cdot 88,57} \right)^{1/2} = 0,065 \text{ m} = 65 \text{ mm}$$

$\rho = \frac{300 \text{ kg/s}}{1000 \text{ m}^3/\text{s}} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$

$$N_{st} = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}} = \frac{720 \sqrt{0,3}}{425^{3/4}} = 4,2 \quad \text{şekilden pelton olduğu anlaşıyor.}$$

