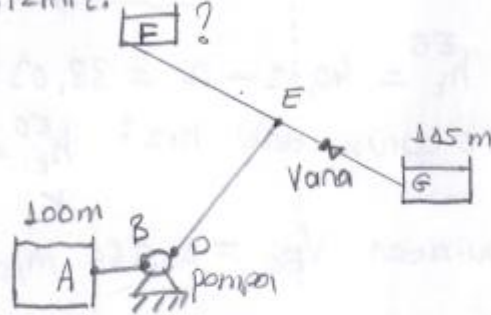


ÖRNEK 2 Şekildeki hane-boru-pompa sistemi verilmektedir. pompanın yüksettiği debi $Q = 100 \text{ L/s}$ ve pompa yüksekliği 100 BG 'dir. Boruların karakteristikleri aşağıda verilmiştir. Bütün borulardaki sürtünme katsayıları $f = 0,02$ varadeti kayıp 2 m kabul ederek

- a) F harnesinin kodunu bulunuz.
b) Enerji girişini giriniz.

Boru	L, m	D, mm
AB	100	300
DE	3000	300
EG	4000	200
EF	2000	200



a) AB borusunda hız : $V_{AB} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 0,1}{\pi \cdot 0,3^2} = 1,41 \text{ m/s}$

AB borusunda sürekli yük kaybı

$$h_{f,AB} = f \frac{L_{AB}}{D_{AB}} \cdot \frac{V_{AB}^2}{2g} = 0,02 \frac{100}{0,3} \frac{1,41^2}{19,62} = 0,675 \text{ m}$$

Pompanın yükü potansiyel formülünden.

$$W = 100 \text{ BG} \equiv 74,58 \text{ kW} \quad W = \rho g Q H \rightarrow H = \frac{W}{\rho g Q}$$

$$H_p = \frac{74,58 \times 10^3}{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 76 \text{ m}$$

Pompa çıkışı D enerji seviyesi

$$E_D = 100 - 0,675 + 76 = 175,32 \text{ m}$$

DE borusundaki sürekli yük kaybı

$$V_{AR} = V_{DE}, \quad h_k^{DE} = 0,02 \cdot \frac{3000}{0,3} \cdot \frac{1,411^2}{19,62} = 20,29 \text{ m}$$

E'de enerji seviyesi $E_E = 175,32 - 20,29 = \underline{155,03 \text{ m}}$

EG borusundaki toplam kayıp; $h_k^{EG} = E_E - 115 = 40,03 \text{ m}$

EG borusundaki sürekli yük kaybı:

$$h_k^{EG} = 40,03 - 2 = 38,03 \text{ m}$$

EG borusundaki hız: $h_k^{EG} = f \cdot \frac{L_{EG}}{D_{EG}} \cdot \frac{V_{EG}^2}{2,8}$

buradan $V_{EG} = 1,366 \text{ m/s}$

EG borusundaki debi $Q_{EG} = V_{EG} \cdot A_{EG} = 1,366 \cdot \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4}$

$$Q_{EG} = 0,0429 \text{ m}^3/\text{s} \approx 42,91 \text{ L/s}$$

Ef borusundaki debi:

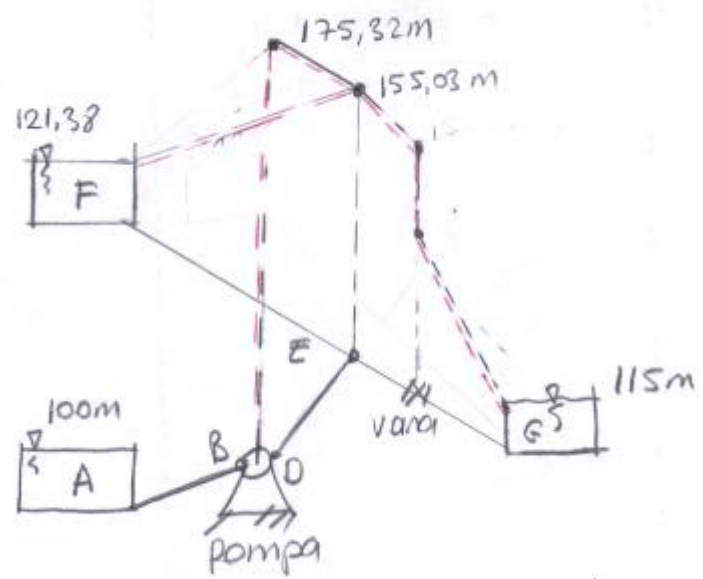
$$Q_{Ef} = Q - Q_{EG} = 100 - 42,91 = 57,09 \text{ L} \approx 0,05709 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ef borunun hızı ise: $V_{Ef} = \frac{4 \cdot Q_{Ef}}{\pi D_{Ef}^2} = 1,817 \text{ m/s}$

EF borusundaki sürekli yük kaybı

$$h_k^{EF} = f \cdot \frac{L_{EF}}{D_{EF}} \cdot \frac{V_{EF}^2}{2,8} = 0,02 \cdot \frac{2000}{0,2} \cdot \frac{1,817^2}{19,62} = \underline{33,65 \text{ m}}$$

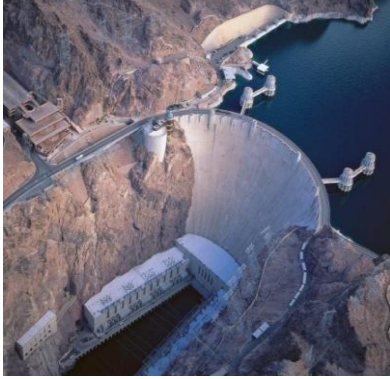
Fhazmesinin kaybı: $155,03 - 33,65 = \underline{\underline{121,38 \text{ m}}}$



Hidrolik enerji

Hidrolik enerji kendini sürekli yenileyen bir enerji kaynağıdır. Enerji üretimi ise suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanmaktadır.

Hidroelektrik sistemlerde suyun akım enerjisinden faydalanmak için, su bir cebri boru veya kanal yardımıyla yüksek bir yerden alınarak türbine verilmekte ve mekanik enerjiye çevrilmektedir. Türbinlere tahrik ettiği jeneratörlerin dönmesi ile de elektrik enerjisi üretilmektedir. Ancak, bir su türbininden su kuvveti yardımıyla enerji üretebilmek için gerekli olan su hızını elde etmek üzere mutlaka bir düşme yüksekliğine (hidrolik düşüye) ve bu su düşüşüne uygun bir basınç farkının bulunmasına gerek vardır. Türbinden elde edilen güç, suyun düşü (üst ve alt kotlar arasındaki düşey mesafe) ve debisine (türbinlere birim zamanda verilen su miktarı) bağlıdır.



1)	Atatürk Barajı ve HES	Şanlıurfa	EÜAŞ	2.405 MW
2)	Karakaya Barajı ve HES	Diyarbakır	EÜAŞ	1.800 MW
3)	Keban Barajı ve HES	Elazığ	EÜAŞ	1.330 MW
4)	Altınkaya Barajı ve HES	Samsun	EÜAŞ	703 MW
5)	Birecik Barajı ve HES	Şanlıurfa	EÜAŞ	672 MW
6)	Deriner Barajı ve HES	Artvin	EÜAŞ	670 MW
7)	Beyhan Barajı ve HES	Elazığ	Cengiz Enerji	582 MW
8)	Oymapınar Barajı ve HES	Antalya	Cengiz Enerji	540 MW
9)	Boyabat Barajı ve HES	Sinop	Boyabat Elektrik	513 MW
10)	Berke Barajı ve HES	Osmaniye	EÜAŞ	510 MW
11)	Hasan Uğurlu Barajı ve HES	Samsun	EÜAŞ	500 MW

HİDROELEKTRİK SİSTEMLERDE KULLANILAN TÜRBİNLER

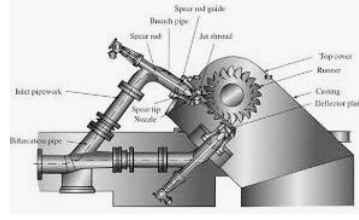
Türbinler, akışkanın hidrolik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Basit olarak bir mil ve mil üzerindeki kanatçıklardan oluşurlar. Kullanılan akışkana göre türbinin yapısı değişmektedir. Genel olarak şu prensiple çalışırlar; Sistemdeki akışkan (su) türbinin kanatçıklarına çarparak türbin miline hareket verir, hareket milin çıkışında mekanik işe dönüşür ve mekanik işten jeneratörler vasıtasıyla elektrik üretilir. Hidroelektrik güç tesislerinde kullanılan türbinlere hidrolik türbinler veya su türbinleri adı verilir. Su türbinleri kullanım alanlarına, ürettikleri güce, güç üretme biçimlerine göre birçok şekilde sınıflandırılabilirler.

- Düşüye Göre Sınıflandırma;

- H 300 m Yüksek basınçlı su türbini,
- 400 m H 20 m Orta basınçlı su türbini,
- H 50 m Düşük basınçlı su türbini.

- Türbin Çıkış Güçlerine Göre;

- Yüksek güçlü hidrolik türbinler (> 100 MW)
- Orta güçlü hidrolik türbinler (20 – 100 MW arası)
- Küçük güçlü hidrolik türbinler (1 – 20 MW arası)
- Mini Hidrolik türbinler (100 KW – 1 MW arası)
- Mikro hidrolik türbinler (5 KW – 100 KW arası)
- Piko hidrolik türbinler (< 5 KW)



Pelton



Banki

- Türbin Milinin Durumuna Göre;

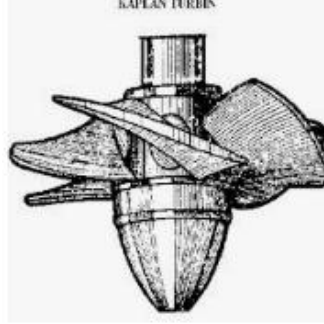
- Yatay eksenli türbinler
- Dikey eksenli türbinler
- Eğik eksenli türbinler

- Suyun Akış Doğrultusuna Göre;

- Eksenel akışlı türbinler (Kaplan, Uskur)
- Radyal akışlı türbinler (Francis)
- Diyagonal akışlı türbinler (Yüksek Hızlı Francis)
- Teğetsel akışlı türbinler (Pelton, Banki)
- Saptırılmış akışlı türbinler (Turgo)



Turgo Turbine - Chongqing ...



Kaplan

- Suyun Etki Şekline Göre;

- Aksiyon tipi türbinler (Pelton, Turgo, Banki)
- Reaksiyon tipi türbinler (Francis, Kaplan, Uskur, Boru)

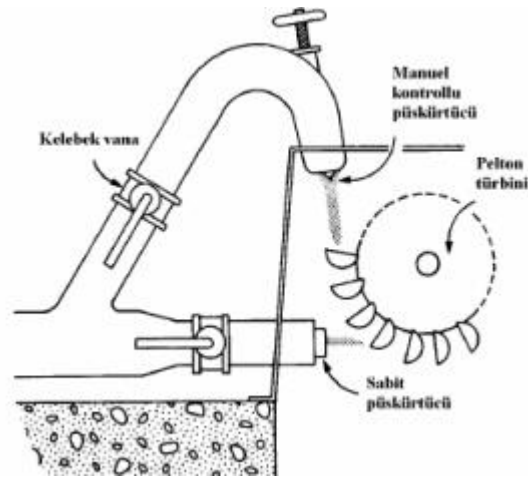
Etki Tipi (Aksiyon) Türbinler;

Bu türbinlerde akışkan kepçelere veya çarka atmosfer basıncında girip yine atmosfer basıncında çıkar. Bu yüzden bu tip türbinlere eş basınçlı türbinler adı verilmiştir.

Pelton Türbinleri:

Büyük hidroelektrik sistemlerde 150 m brüt düşünün üzerinde Pelton türbini uygulaması yapılmaktadır. Mikro hidrolik sistemlerde daha alçak düşülerde de bu türbin kullanılabilir. Örneğin yüksek hızda dönmekte olan küçük çaplı bir Pelton türbini, 1 kW güç üretmek için 20m'nin altında düşülerde kullanılabilir. Yüksek güç ve düşük debide hız çok azalır bu da türbin boyutunu artırır.

Bu tip türbinlerde suyun enerjisi önce, uygun şekle sahip bir borudan geçirilip, çıkış ağzında su jeti haline getirilerek, kinetik enerjiye dönüştürülür. Daha sonra bu jet, kap şeklindeki rotor kanatlarına püskürtülür. Kapların geometrisi, su jetinin enerjisini en yüksek oranda emecek biçimde tasarlanmış ve ortalarından geçen dikey bölücü plakalar, suyun iki yana doğru düzgün dağılmasını sağlıyor. Pelton türbinleri, dikey veya yatay olarak konumlandırılabilir. Jetlerin sayısını arttırmak suretiyle, tek bir rotordan sağlanan gücü arttırmak mümkündür. Yatay konum için genellikle iki olan jet sayısı, dikey konumlar için, çoğunlukla dört veya daha fazla olabiliyor. Yatay konumlandırma halinde, tek bir jeneratörü süren aynı shaft üzerine, bir yerine iki rotor yerleştirmek de mümkündür.



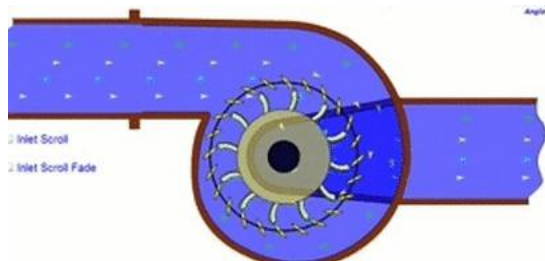
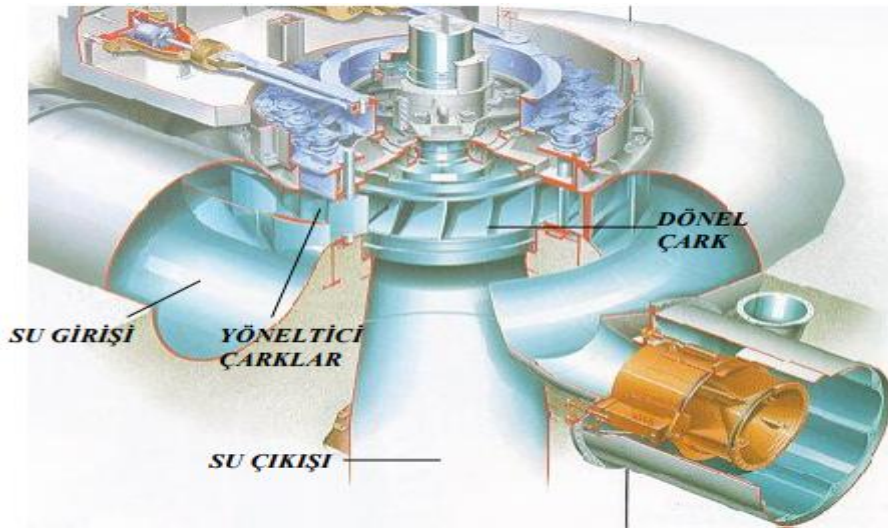
Reaksiyon Tipi Türbinler;

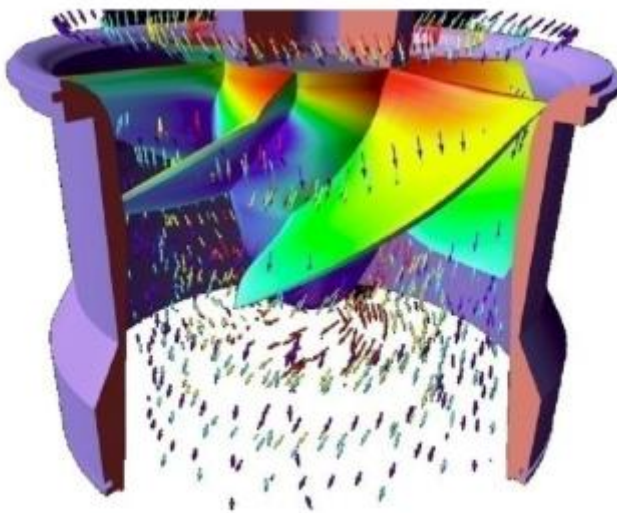
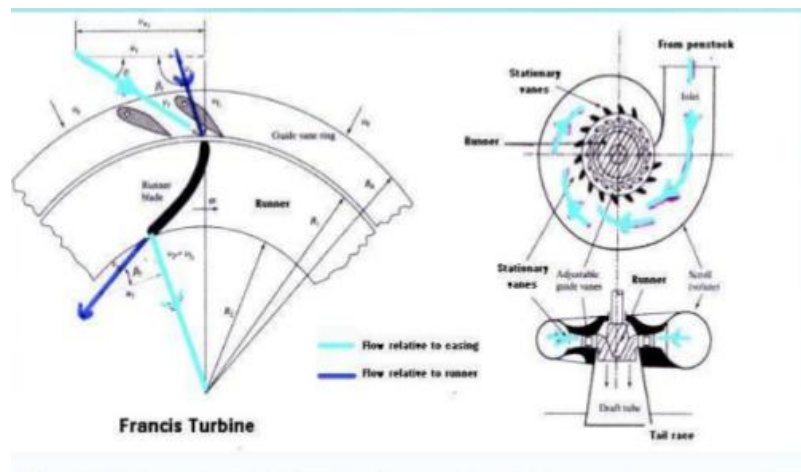
Reaksiyon türbinleri aynı düşü ve debi değerinde aksiyon türbinlerinden daha hızlı döner. Burada kullanılan türbinler Francis, Uskur ya da Kaplan türbinleridir. Yapımları aksiyon türbinlerine göre daha zordur, Bu nedenle mikro hidrolik sistemlerde daha az kullanılmaktadır. Ayrıca bu türbinlerde kavitasyon tehlikesi de vardır. Değişken debilerde de düşük verim verirler. Net düşü ve özgül hız bakımından oldukça geniş kullanım alanı olan reaksiyon tipi su türbinleri suyun hem kinetik hem de

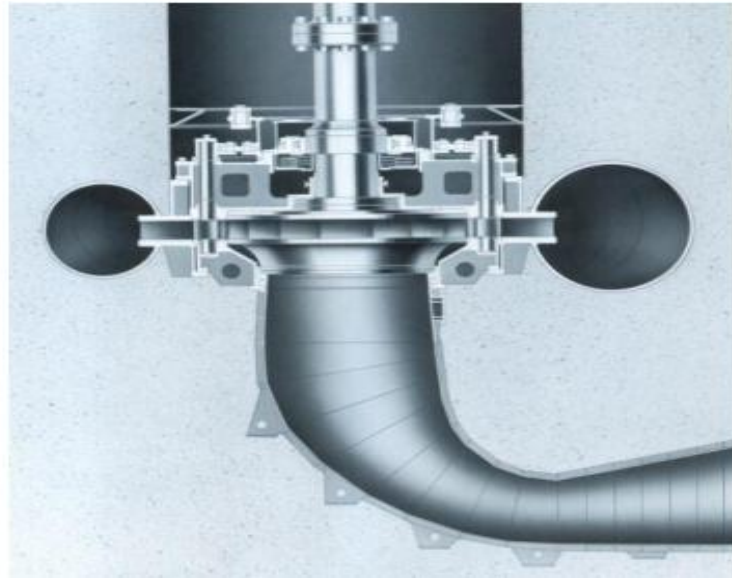
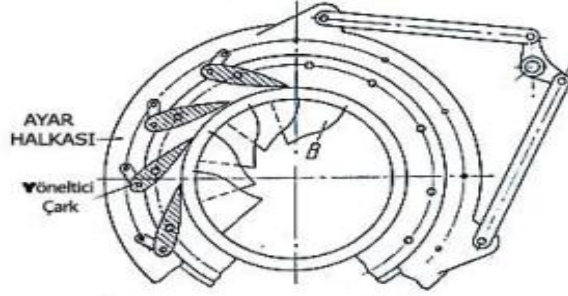
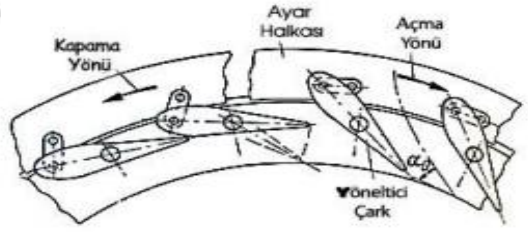
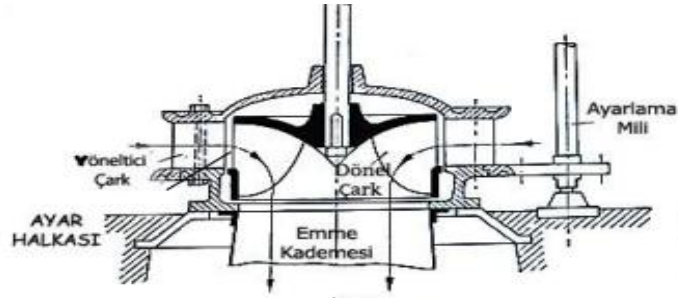
potansiyel enerjisinden yararlanırlar. Bu nedenle, çarka girişteki basınç çıkıştaki basınçtan çok daha büyük olur. Bu yüzden, suyun kapalı kanallar içinden akma zorunluluğu vardır.

Francis Türbini:

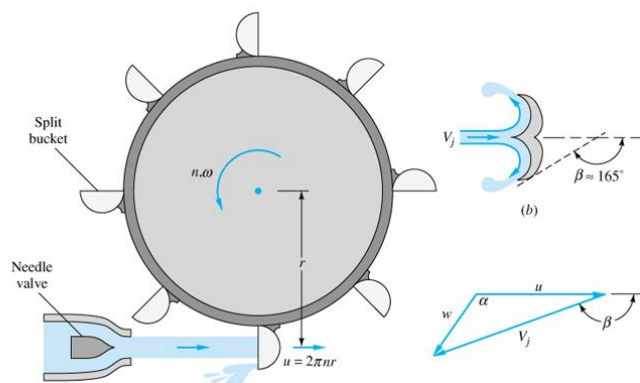
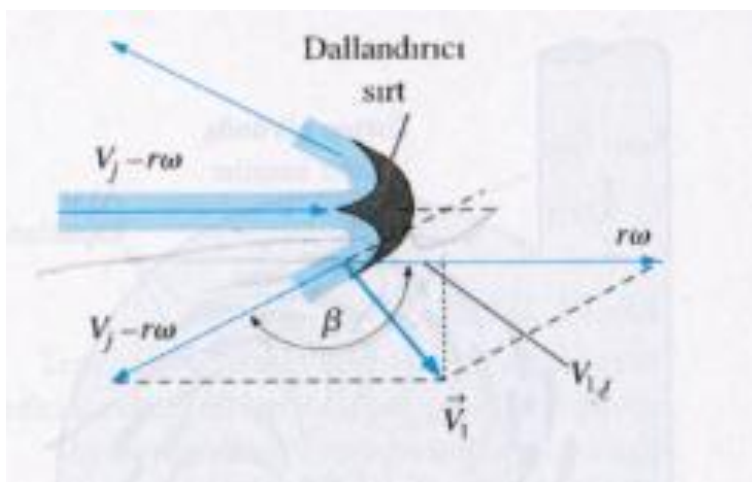
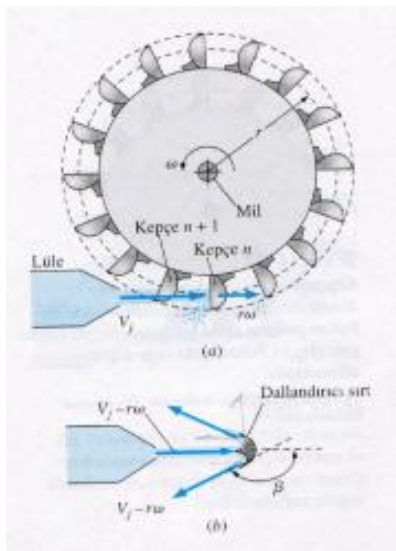
Francis türbinine su, yönlendirici çarktan dönel çarka dıştan girip, çark kanatları boyunca aşağıya doğru giderek çarkı terk eder. Türbin tipi karşı basınçlıdır. (Reaksiyon tipi) Francis tipi türbinleri 600 m düşüye kadar çalışırlar ve 500 MW'a kadar güç elde edilebilmektedir. Bu türbin tipinin Pelton türbinine göre avantajı, daha küçük boyutlarda imal edilerek, daha yüksek dönme sayılarında çalıştırmak mümkündür. Bu suretle imalattan dolayı bir hayli ekonomi sağlanır. Yurdumuzda Devlet Su İşlerinin denetiminde bulunan su türbini tesislerin büyük çoğunluğunda Francis tipi türbin kullanılmaktadır. Küçük güçlerde örnek olarak 200 kW'a kadar olan güçlerde ve 5 m düşüden daha az yerlerde kamara tipi denilen ve düşey eksenli Francis türbini kullanılır.



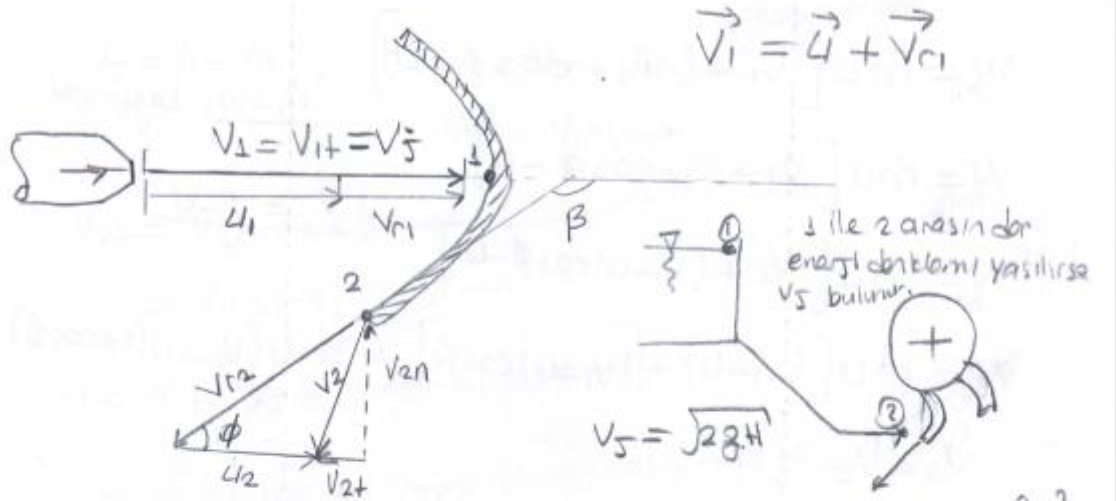




Etki türbinleri



Etki Türbinleri (Aksiyon türbinler), Pelton.



Giriş kuvveti = $\dot{m} \cdot V_{1t}$
 Çıkış kuvveti = $\dot{m} \cdot V_{2t}$

Giriş kuvvetin momenti $\rightarrow M_1 = r_1 \cdot (\dot{m} \cdot V_{1t})$

Çıkış kuvvetin momenti $\rightarrow M_2 = r_2 \cdot (\dot{m} \cdot V_{2t})$

Momentum değişimi = Tork = $M_1 - M_2$

$= r_1 \cdot \dot{m} \cdot V_{1t} - (-r_2 \cdot \dot{m} \cdot V_{2t})$

$= \dot{m} \cdot r_1 \cdot V_{1t} + \dot{m} \cdot r_2 \cdot V_{2t}$

Güç = Tork \times açısal hız = $\omega \cdot T$

$\dot{W} = \dot{m} r_1 \omega \cdot V_{1t} + \dot{m} r_2 \omega \cdot V_{2t} = \dot{m} \cdot U_1 \cdot V_{1t} + \dot{m} U_2 \cdot V_{2t}$

$U_1 = U_2$, $\boxed{U = r \cdot \omega}$

$\dot{W} = \dot{m} U (V_{1t} + V_{2t})$

Kayıp yok ise

$\frac{\rho}{2} \cdot \frac{V_1^2}{2} + z_1 = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{V_2^2}{2} + z_2$
 $\frac{V_1^2}{2g} = \frac{(z_1 - z_2)}{1.5}$ net yok
 $V_5 = \sqrt{2gH}$

$$V_{r1} = V_{r2}$$

$$W_{mil} = \dot{m}u [V_1 + (V_{r2} \cdot \cos \phi - u)]$$

$V_{r1} = V_{r2}$ kayboluk

$$W_{mil} = \dot{m}u [V_1 + V_{r1} \cos \phi - u]$$

$V_{r1} = V_1 - u$

$$W_{mil} = \dot{m}u [V_1 + (V_1 - u) \cos \phi - u]$$

$$W_{mil} = \dot{m}u [(V_1 - u) + (V_1 - u) \cos \phi] = \dot{m}u (V_1 - u)(1 + \cos \phi)$$

$$V_2 = V_3$$

$$W_{mil} = \dot{m}u [(V_3 - u)(1 + \cos \phi)] \quad \text{veya}$$

$$W_{mil} = \rho Q u [(V_3 - u)(1 + \cos \phi)]$$

Hidrolik verim $\eta_h = \frac{W_{mil}}{W_{in}} = \frac{\rho Q u (V_3 - u)(1 + \cos \phi)}{\frac{1}{2} \rho Q V_3^2}$

$$\eta_h = \frac{2u(V_3 - u)(1 + \cos \phi)}{V_3^2}$$

Eğer relativ hızlarda kayıp olursa denklem

$$V_{2t} = V_{1t} = V_{1t}, \quad V_{2r} = V_{1r} - V_{1r} \cdot k \rightarrow \text{kayıp oranı}$$

$$V_{2r} = V_{1r}(1-k)$$

$$V_{2t} = V_{2r} \cdot \cos \phi - u$$

$$= V_{1r}(1-k) \cos \phi - u$$

$$\dot{W} = \dot{m} u [V_{2t} + V_{1r}(1-k) \cos \phi - u]$$

$$= \dot{m} u [V_{2t} + (V_{2t} - u)(1-k) \cos \phi - u] =$$

$$\dot{W} = \dot{m} u [(V_{2t} - u)(1 + (1-k) \cos \phi)] \quad \text{veya}$$

$$\dot{W} = \dot{m} u (V_{2t} - u)(1 - (1-k) \cos \beta)$$

$\beta = \text{kepçe sapma açısı}$

$$W_{\text{mil}} = \rho r \omega Q (V_j - r \omega) (1 - \cos \beta)$$

$$U = r \omega$$

Teorik olarak maksimum güç $\beta=180^\circ$ olur fakat pratikte maksimum güç $\beta=160^\circ-165^\circ$ arasında oluşur.

Bir pelton türbini ile ulaşılabilecek teorik maksimum güç çark $\omega = \frac{V_j}{2r}$ hızıyla dönerken yani kepçe su jetinin yarı hızıyla hareket ederken oluşur. iyi tasarlanmış bir pelton çarklı türbinin verini %90 'a yaklaşabilir.

Kepçe sayısı için araştırmacılar aşağıdaki denklemleri önermişlerdir.

$$z_{KS} = \frac{D_1 \cdot \pi}{2 \cdot d_1}$$

$$z_{KS} = \frac{D_1}{2 \cdot d_1} + 14 \text{ den } 16 \text{ ya kadar}$$


Çaplar oranına bağlı olarak kepçe sayısının değişimi.

Çaplar Oranı (d_1/D_1)	1/6	1/8	1/10	1/15	1/20	1/25
Kepçe Sayısı z_{KS}	17- 21	18-22	19-24	22- 27	24-30	26-33

Örnek:

Bir pelton çarkı hidroelektrik güç üretmek için kullanılmaktadır. Çarkın ortalama yarıçapı 1,83 m olup 10 cm ağız çapına sahip lüleden çıkan su jetinin hızı 102 m/s dir. Kepçelerin döndürme açısı $\beta=165^\circ$ dir.

- Türbinden geçen hacimsel debiyi
- Maksimum güç için çarkın optimum dönme hızı hesaplayınız.
- Türbin verimi yüzde 82 olması halinde milden alınan gücü MW olarak bulunuz.

a) $Q = V_j \cdot A$ 
 $Q = V_j \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_j^2$
 $Q = 102 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,1^2 = 0,804 \text{ m}^3/\text{s}$

b) maksimum güç $u = w \cdot r = \frac{V_j}{2}$ olmalı
 $w = \frac{V_j}{2 \cdot r} = \frac{102}{2 \cdot 1,83} = 27,86 \text{ rad/s}$
 $w = \frac{2 \pi n}{60} \rightarrow n = \frac{w \cdot 60}{2 \cdot \pi} = 266 \text{ d/d}$

c) $W_{ideal} = \rho \cdot w \cdot r \cdot Q [V_j - w \cdot r] (1 - \cos \beta)$
 $= 998 \cdot 27,86 \cdot 1,83 \cdot 0,804 \cdot [102 - 27,86 \cdot 1,83] (1 - \cos 165)$

$W_{ideal} = 4,087 \text{ MW}$ (W_{th} enerjisi)

$\eta = \frac{W_{mil}}{W_{th}}$

$W_{mil} = \eta \cdot W_{th}$

$W_{mil} = 0,82 \cdot 4,087 = 3,351 \text{ MW}$

diklat edilmesini geçen
türbin verimi pompası
tersidir ?

Örnek:

Verilen bir jet hızı, hacimsel debi, dönme açısı ve çark yarıçapı için, pelton çarkı ile üretilen maksimum mil gücü türbin kepçesinin hızı jet hızının yarısı olduğunda gerçekleşir bunu ispata ediniz.

Çözüm:

$$W_{mil} = \rho r w a [V_j - r w] (1 - \cos \beta)$$

denkleminin w göre türevini alıp sıfıra eşitlersek

$$\frac{dW_{mil}}{dw} = 0 \rightarrow \frac{d}{dw} (w V_j - r w^2) = 0$$

$$V_j - 2 w r = 0$$

$$w r = \frac{V_j}{2}$$

$$u = \frac{V_j}{2}$$