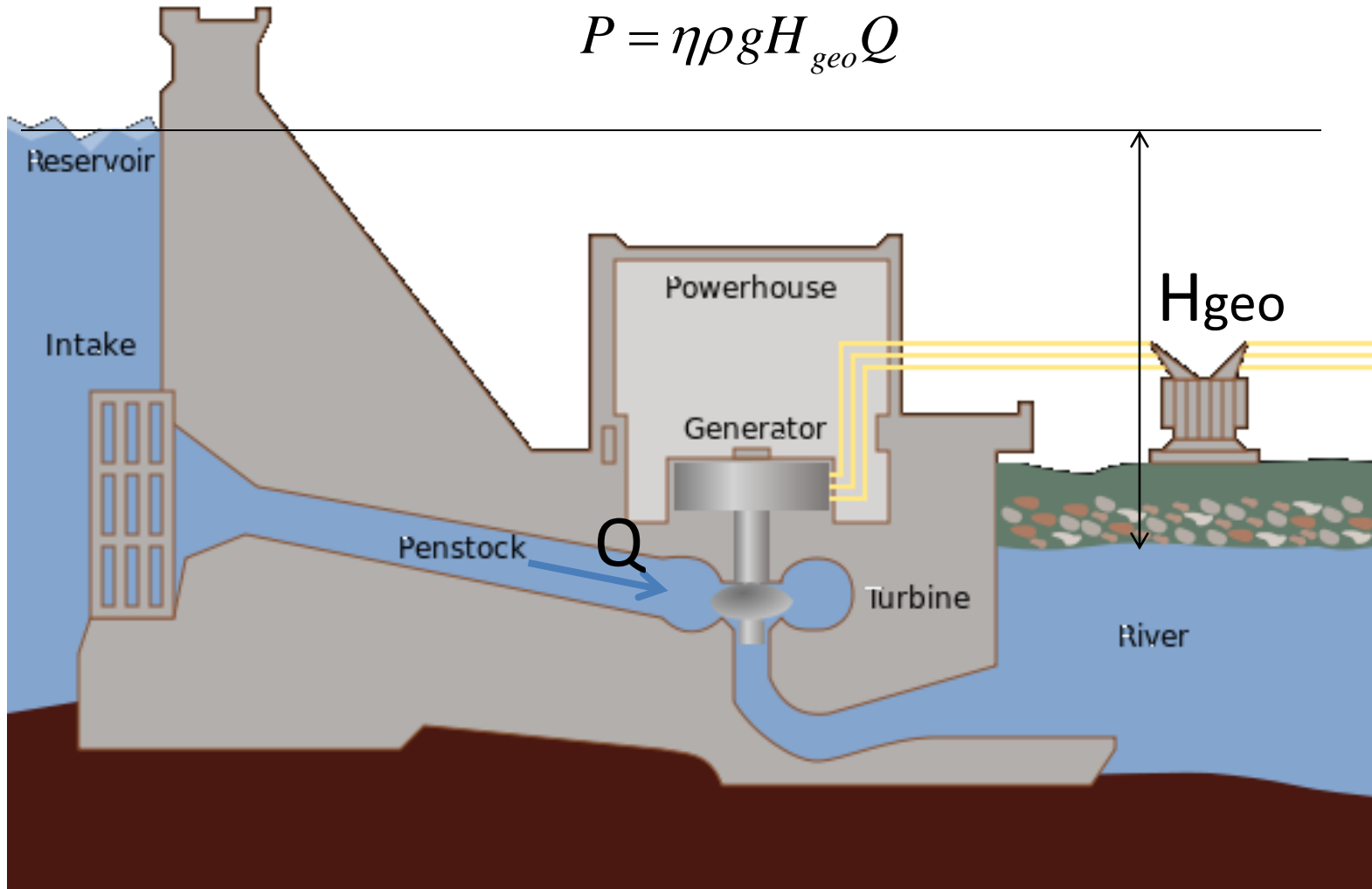


Основи на механика на флуиди

Доц. Д-р Емил Заев

Хидроцентрала

$$P = \eta \rho g H_{geo} Q$$



Основни физички величини на флуидите

- Густина. Претставува однос помеѓу масата на материјата и волуменот во кого таа се содржи.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

- Зависи од притисокот p и температурата T . При атмосферски притисок $p=1 \text{ bar}$ ($1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$) и температура од $T=20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\rho_{voda} \approx 1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad \rho_{vozduh} \approx 1.2 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

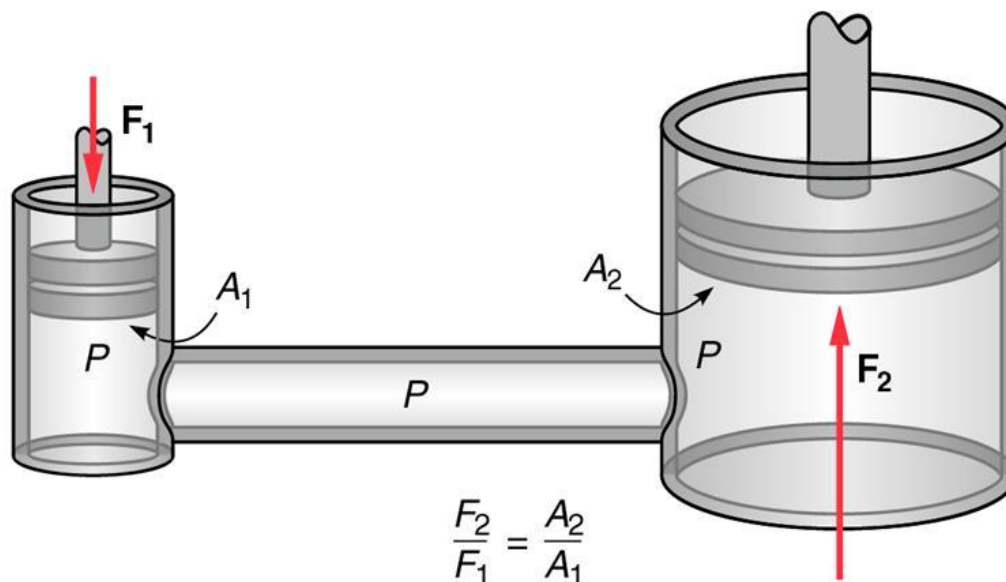
- Прашање: дали $1l = 1 \text{ kg}$ течност? А за вода?

Притисок

Дефиниција: Сила на единица површина

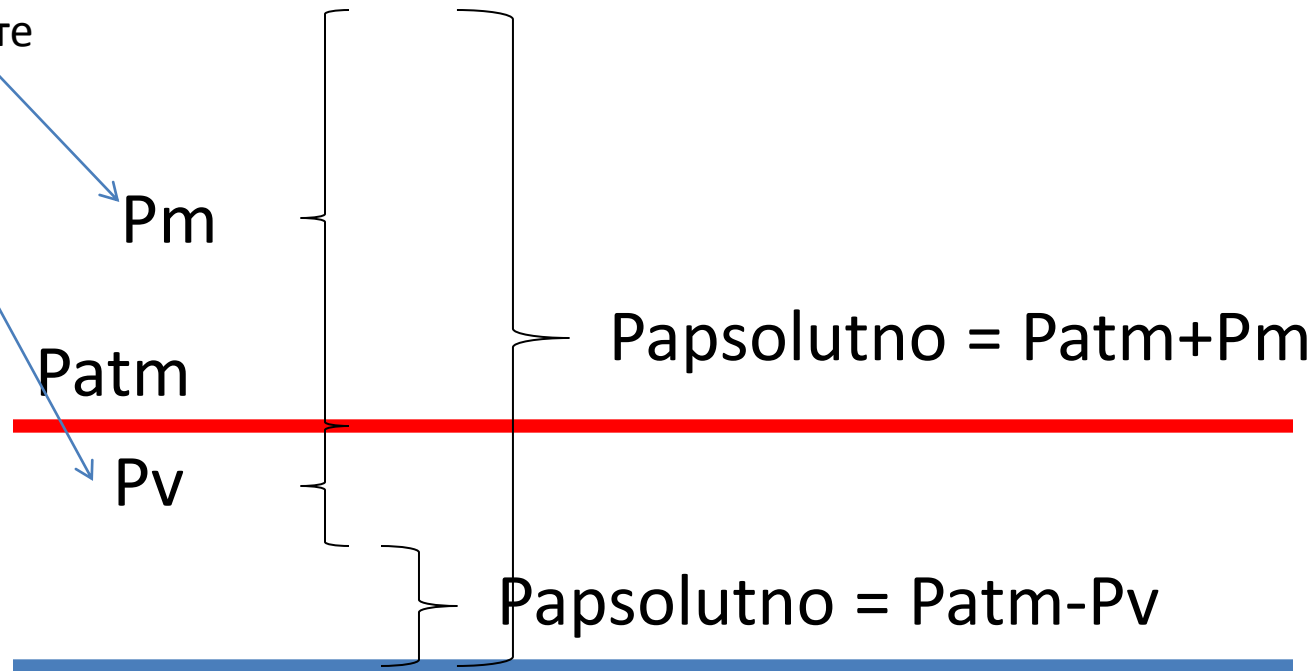
$$p = \frac{F}{A} \quad \left[\frac{N}{m^2}\right] \left[\frac{kg}{s^2 m}\right] [Pa] [bar]$$

- Паскалов закон: Во течност, промената на притисокот во една точка се пренесува еднакво во сите нејзини точки но, и на ѕидовите на садот. Силата од притисокот дејствува нормално на површините.



Надпритисок и потпритисок. Апсолутен притисок

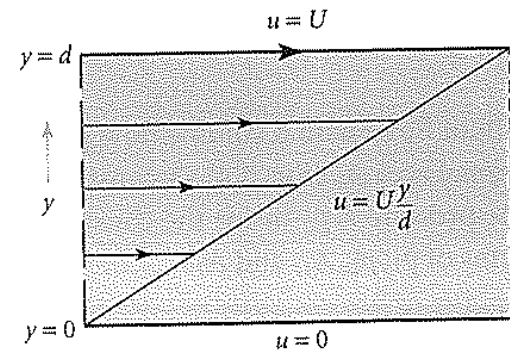
Притисок кој го мерат
инструментите



Вискозитет

- Дефиниција: Силата на триење помеѓу честичките на течноста се нарекува **ВИСКОЗНОСТ**.

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \frac{\partial v}{\partial n} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right]$$



- Динамичка и кинематичка вискозитет

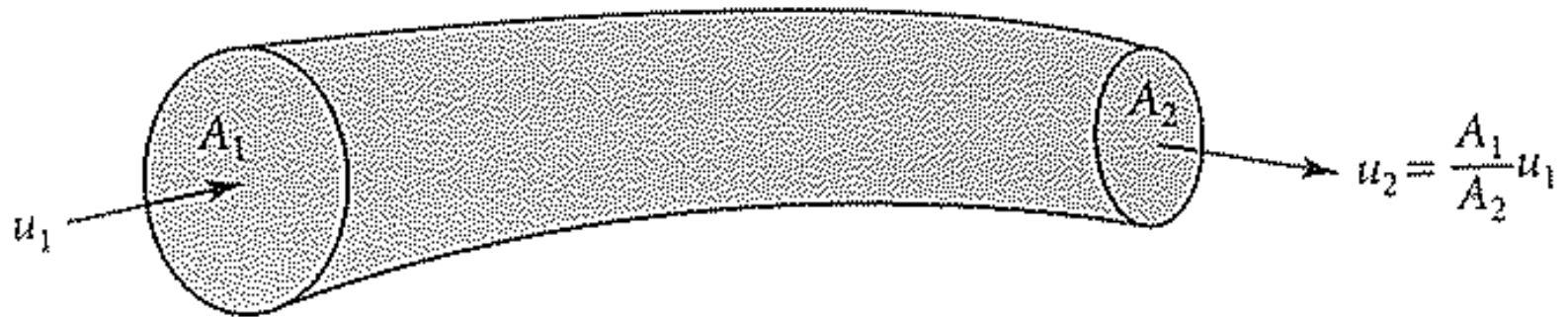
$$\eta = \left[\frac{Ns}{m^2} \right] \left[\frac{kg}{ms} \right]$$

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad \text{Stoks } St = \left[\frac{cm^2}{s} \right]$$

Равенка на континуитет

$$Q = v_1 A_1 = v_2 A_2 = \textit{konst} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

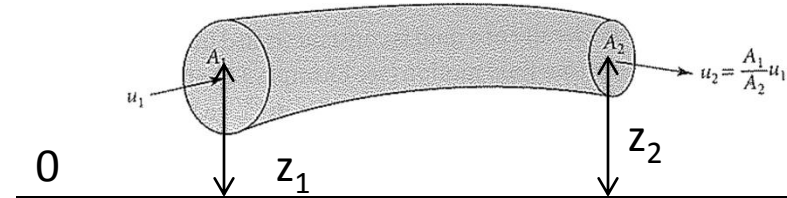
Важи за некомп्रेसибилен флуид. Количеството на течност кое излегува од пресекот A_2 , е еднакво на количеството на течност кое влегува низ пресекот A_1 . Кај компресибилен флуид, исто само со масениот проток.



Бернулиева равенка

- Енергетска равенка. Равенка за одржување на енергијата.

$$E_1 = E_2 = konst \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$



$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + gz_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + \Delta E_{1-2} \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 + \Delta h_{1-2} \quad [m]$$

$$\rho \frac{v_1^2}{2} + p_1 + \rho gz_1 = \rho \frac{v_2^2}{2} + p_2 + \rho gz_2 + \Delta p_{1-2} \quad [Pa]$$

За неподвижна течност. Равенка на хидростатски притисок:

$$p_1 + \rho gz_1 = p_2 + \rho gz_2$$

Пример 3.2

- Колку изнесува притисокот на длабочина од 10 м во едно езеро?

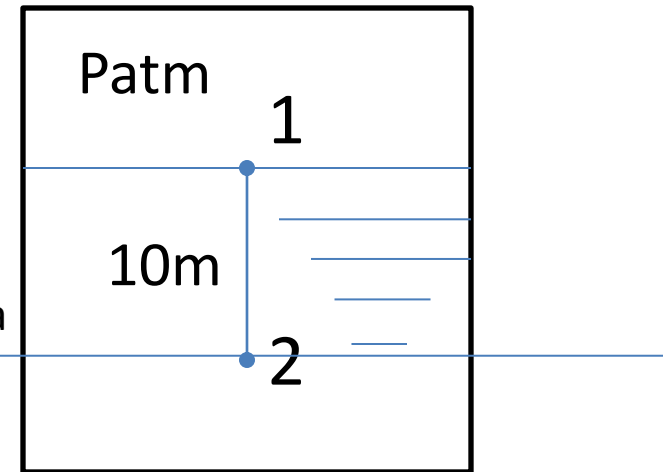
$$p_1 + \rho g z_1 = p_2 + \rho g z_2 [Pa]$$

$$z_2 = 0m, z_1 = 10m, P_1 = P_{atm} = 1 \cdot 10^5 Pa$$

$$1 \cdot 10^5 + 1000 \cdot 9.81 \cdot 10 = p_2$$

Нулта линија

$$p_2 \approx 2 \cdot 10^5 Pa = 2bar = 2atmosveri$$



Вежби Задача 3.9

Истекување низ мал отвор

- Колкава е брзината на истекување низ пресек 2?

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \quad [m]$$

$$v_1 \approx 0, p_1 = p_2 = p_{atm}, z_1 = h, z_2 = 0$$

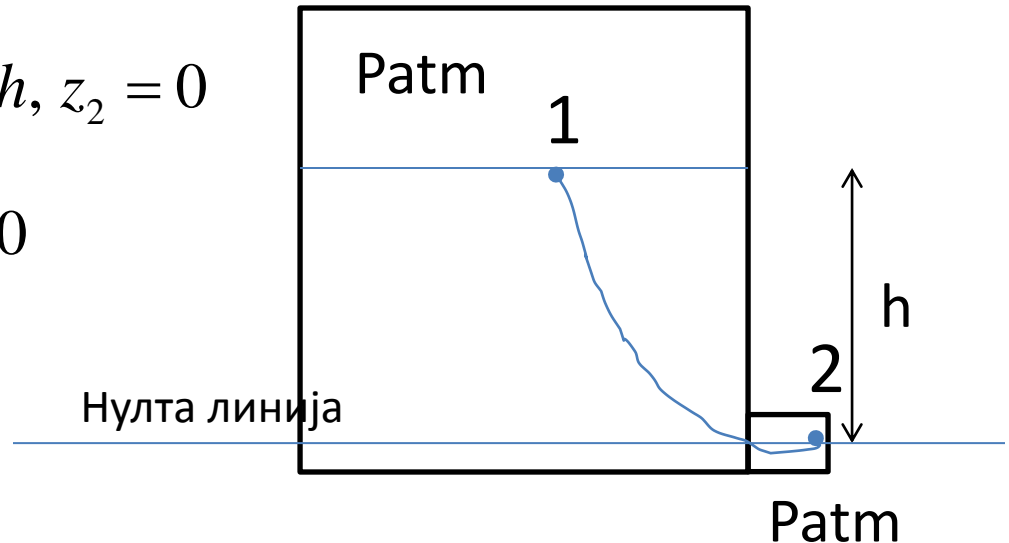
$$0 + \frac{p_{atm}}{\rho g} + h = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_{atm}}{\rho g} + 0$$

$$v_2^2 = 2gh$$

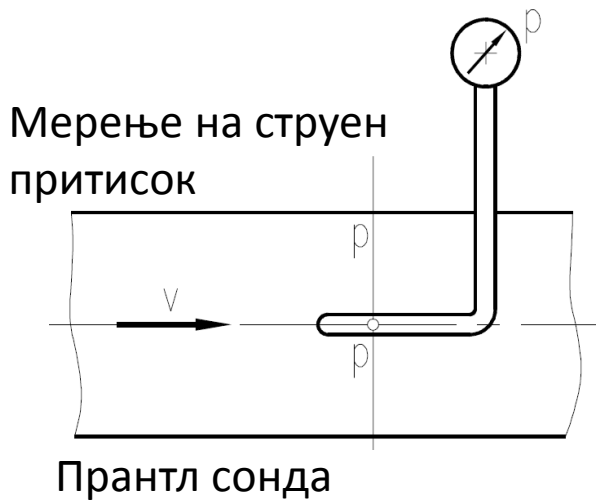
$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Равенка на Торичели.

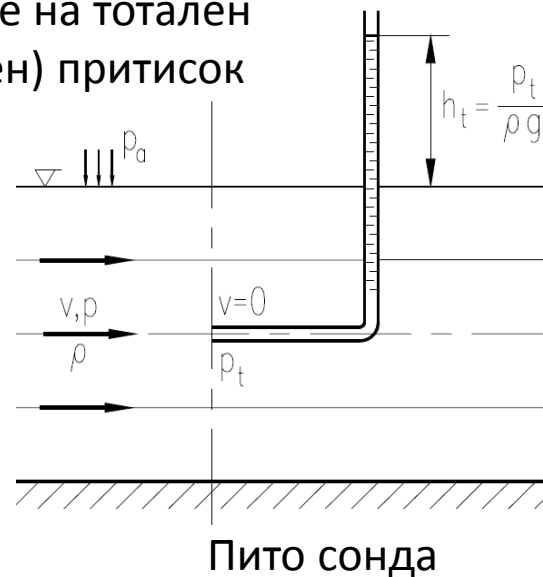
$$Q = \mu A \sqrt{2gh}$$



Уред за мерење на брзината на струење. Прантл-Питот цевка



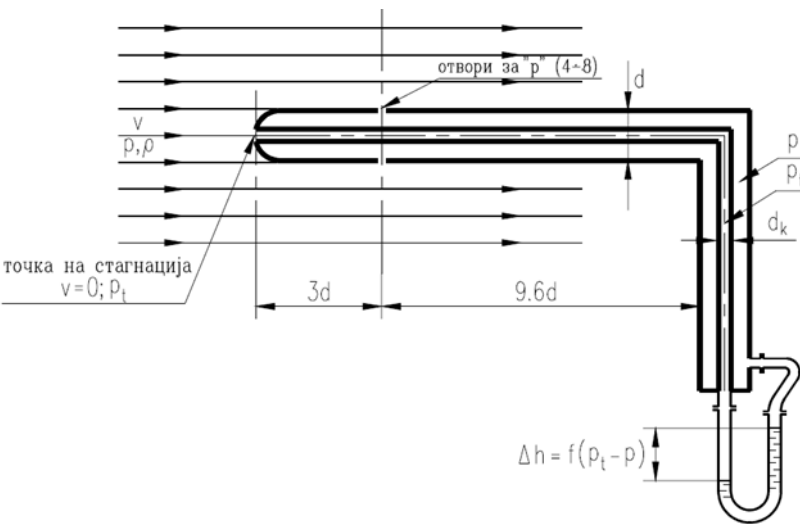
Мерење на тотален (запирен) притисок



Прантл- Пито сонда. Директно мерење на брзината

Мерење на брзина на флуид

Прантл-Питот цевка



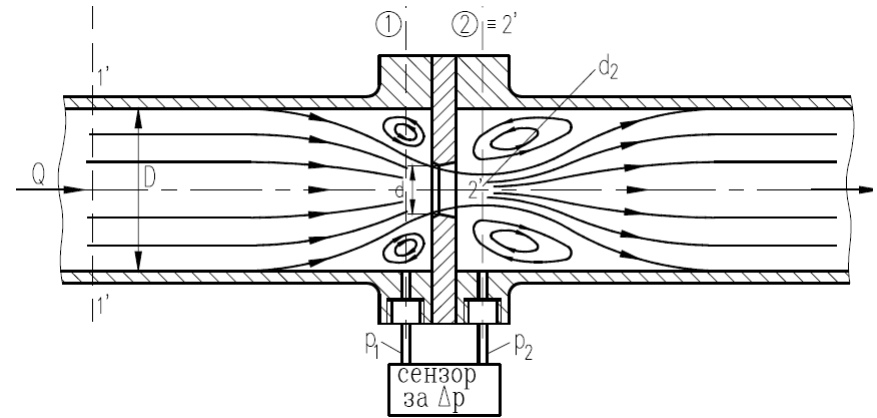
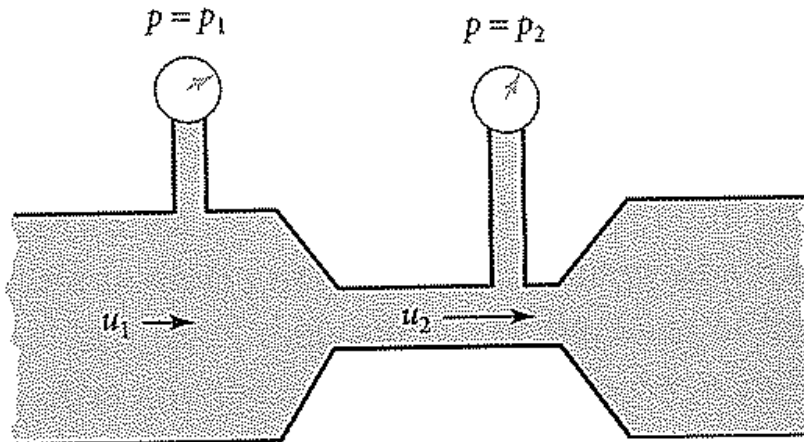
$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + z_2 \quad [m]$$

$$v_1 \approx 0, p_1 = p_s, z_1 = z_2 = h, p_2 = p_0 = p_{stat}$$

$$0 + \frac{p_t}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_0}{\rho g}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(p_t - p_0)}{\rho}}$$

Мерење на брзина на течност. Вентуриметар.



$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} \quad [m]$$

$$\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2, \quad v_1 = \frac{A_2}{A_1} v_2, \quad z_1 = z_2 = h$$

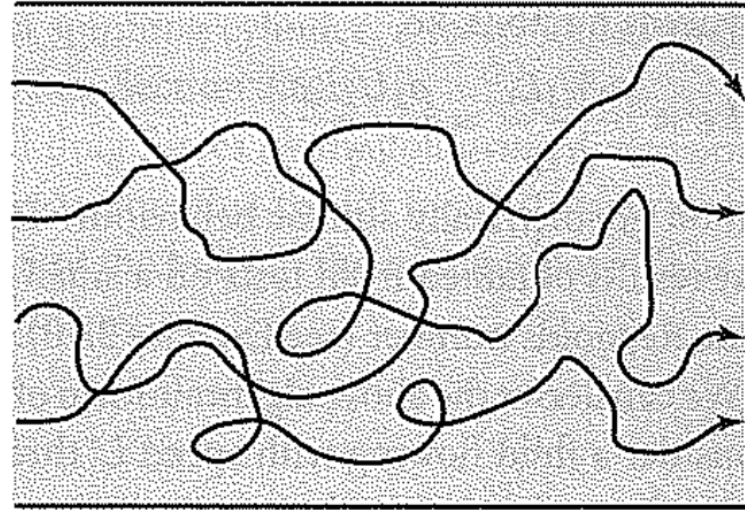
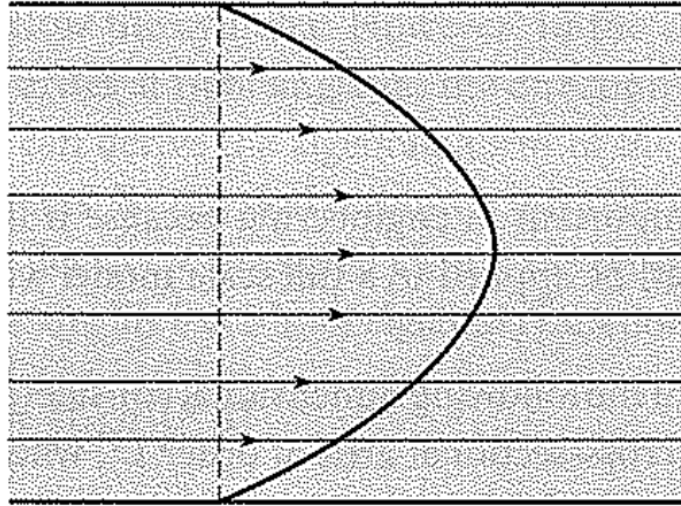
$$\frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{\left(\frac{A_2}{A_1} v_2\right)^2}{2g}$$

$$\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho} = \left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right) v^2$$

$$v_2 = \frac{1}{\left(1 - \frac{A_2^2}{A_1^2}\right)} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

$$Q = v_1 \cdot A_1 = A^* \cdot \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

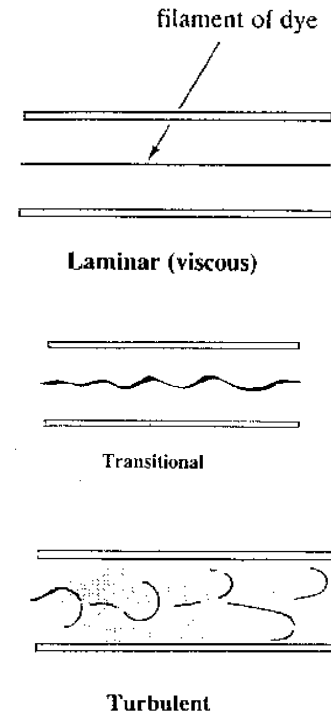
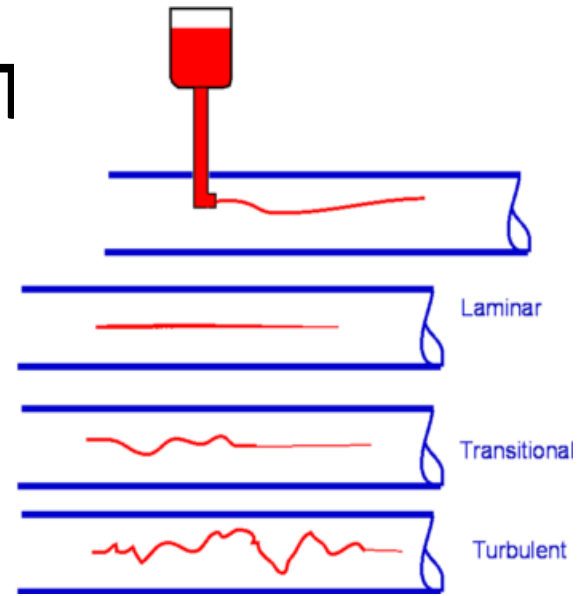
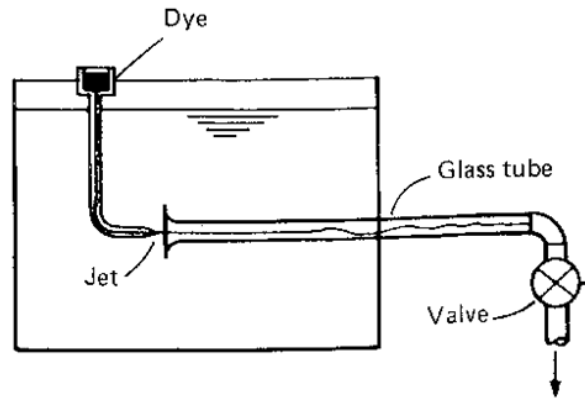
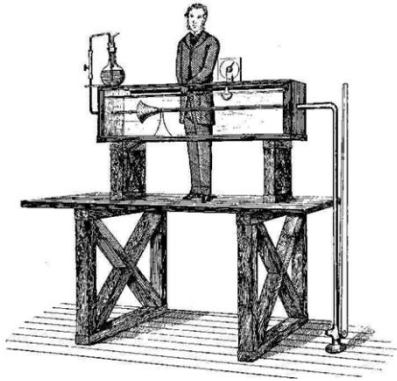
Ламинарно и турболентно струење



Струењето на вискозниот флуид (реален флуид) може да биде:

- 1) Ламинарно. Кај ламинарниот струење, честичките на флуидот се движат уредно, при што сите честичките на флуидот се движат во прави линии паралелни на ѕидовите на цевката
- 2) Турболентно. Кај турболентното струење, честичките на флуидот се движат хаотично.
- 3) Пеодно.

Рејнолдсов експеримент



За експериментот Рејнолдс набљудувал струење на флуид во стаклена просирна цевка. Во цевката тој со една игла вбризгувал боја за да го утврди типот на струењето. При мали брзини, струењето било паралелно на ѕидовите од цевката, речиси права линија. **Ламинарно струење.** Со зголемување на брзината обоените струјници почувале да осцилираат, но се уште биле целосни и со мали амплитуди. **Преоден режим.** Доколку брзината на струење и понатаму се зголемува, бројот и амплитудата на осцилации на струјницата толку многу се зголемува што струјницата се растура и изгледа дека целата течност во цевката се заматува. **Турболенто струење.**

Рејнолдсов број

- Рејнолдс утврдил дека критичната брзина при која ламинарното струење преминува во турболентно зависи од дијаметарот на цевката **d**, од густината на флуидот ρ и од динамичката вискозност на флуидот μ .

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \textit{bezbimenzionalen}$$

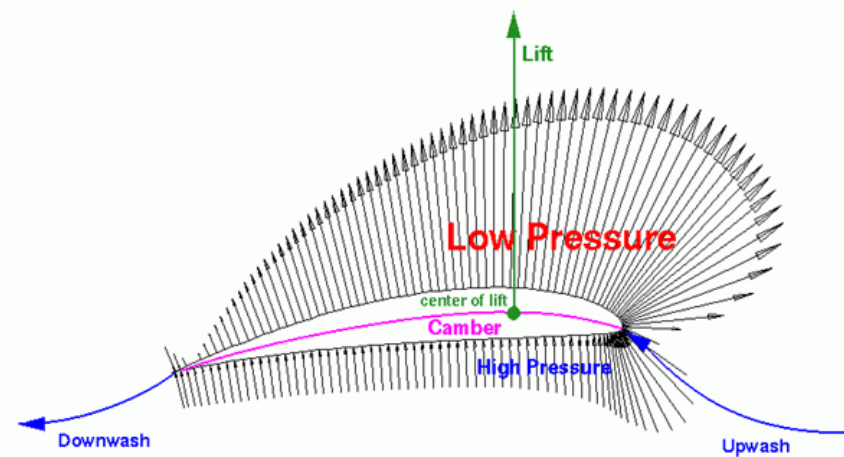
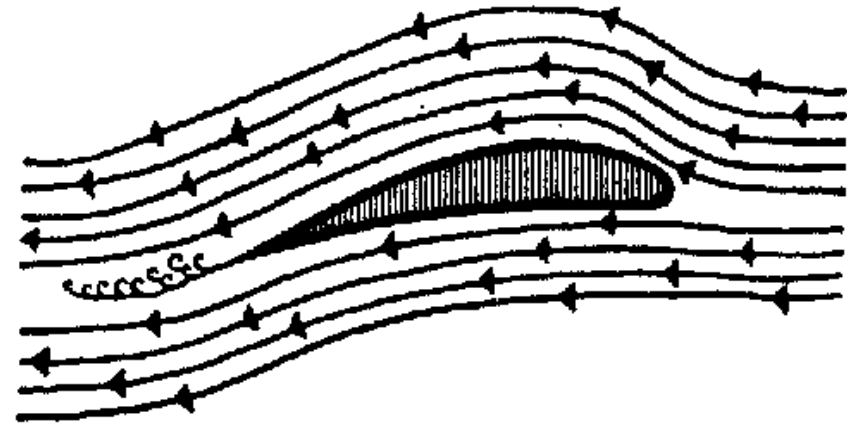
$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}$$

$$Re_{kr} = 2320$$

- $Re \leq 2000$ ламинарно, $Re = (2000, 4000)$ – преодно, $Re \geq 4000$ турболентно

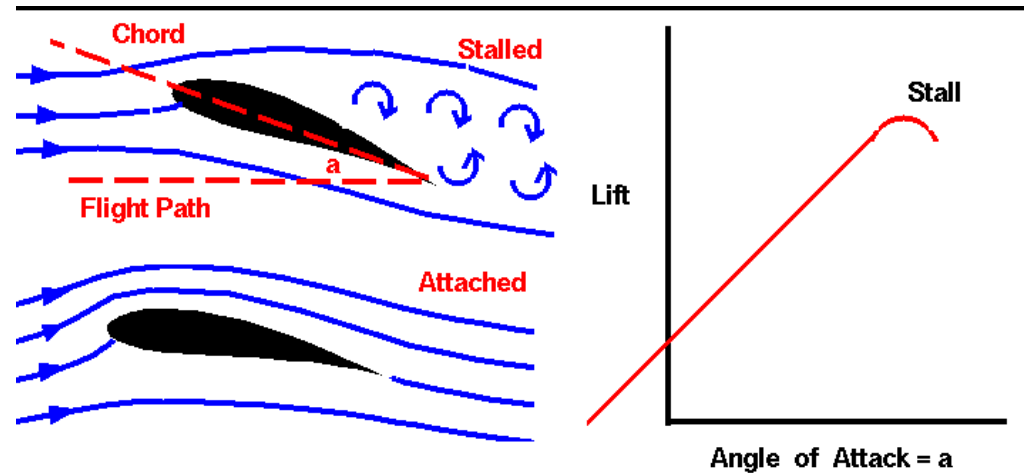
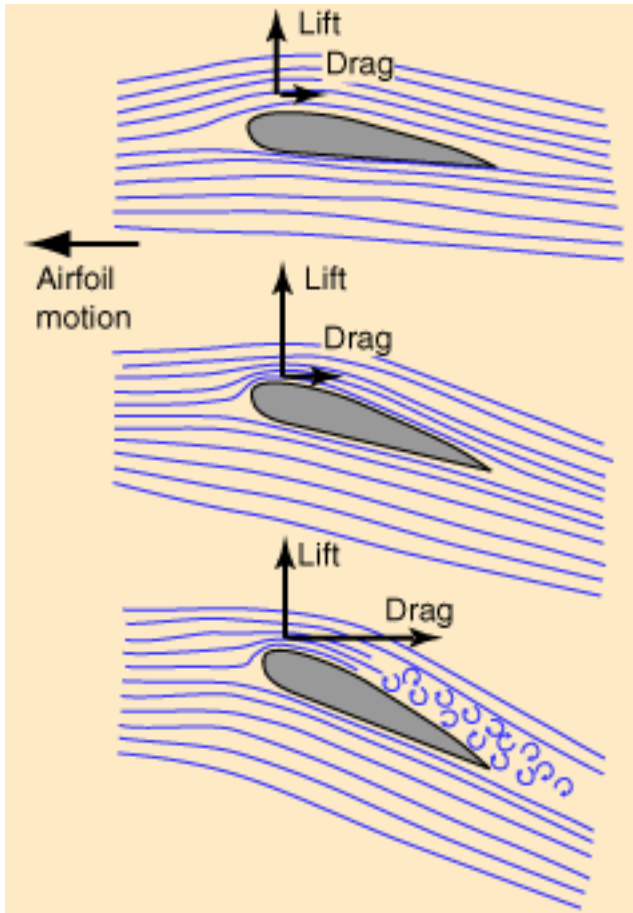
Аеродинамичко тело. Потисна сила.

Поради заоблената форма на горната површина, брзината на движење на честичките од флуидот на горната површина е поголема од онаа на долната површина, тоа значи дека притисокот на горната страна мора да е помал од притисокот на долната страна.



Pressure vectors and flow over a cambered section.

Сила на подигање во зависност од нападниот агол



For small angles, lift is related to angle.

Greater Angle = Greater Lift

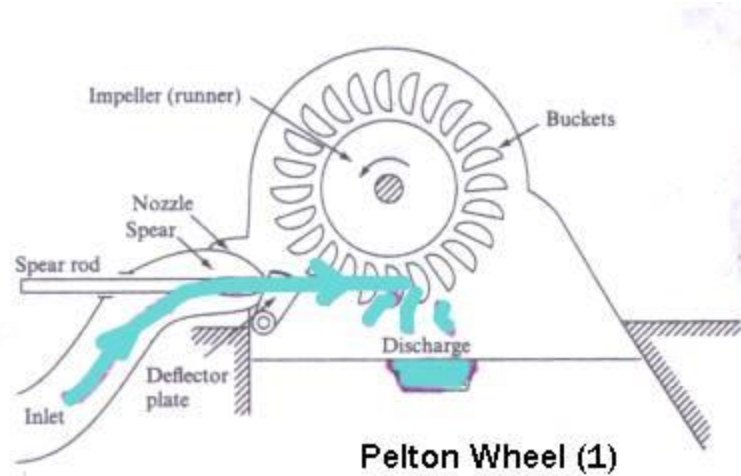
For larger angles, the lift relation is complex.

Included in Lift Coefficient

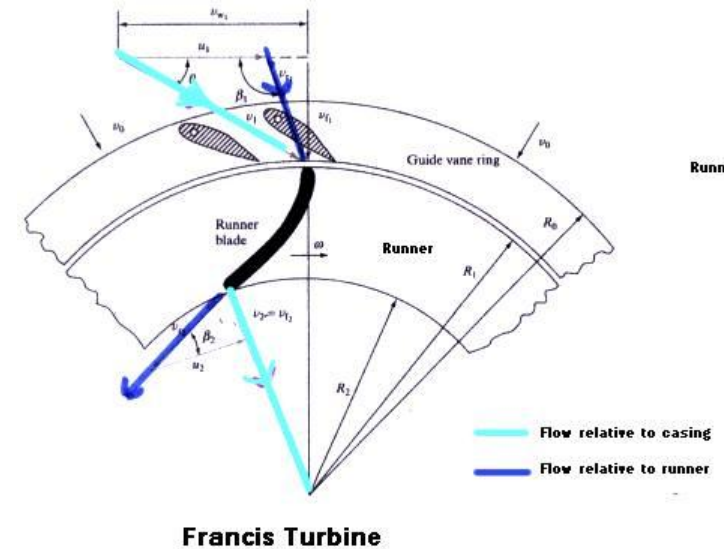
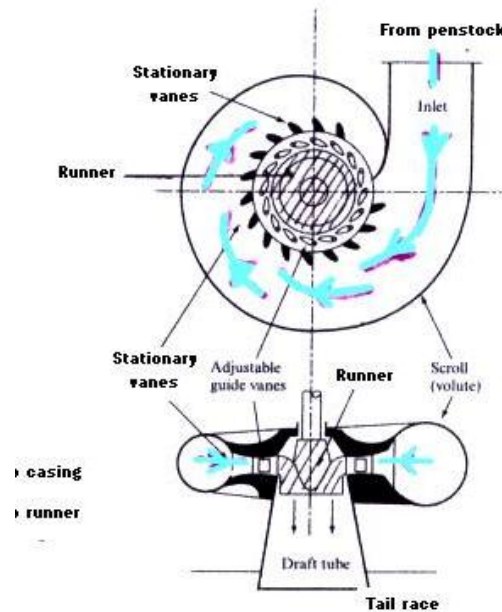
Во моментот на појавување на одлепување (stall), силата на подигање почнува да опаѓа а силата на влечење почнува да се зголемува.

Турбини

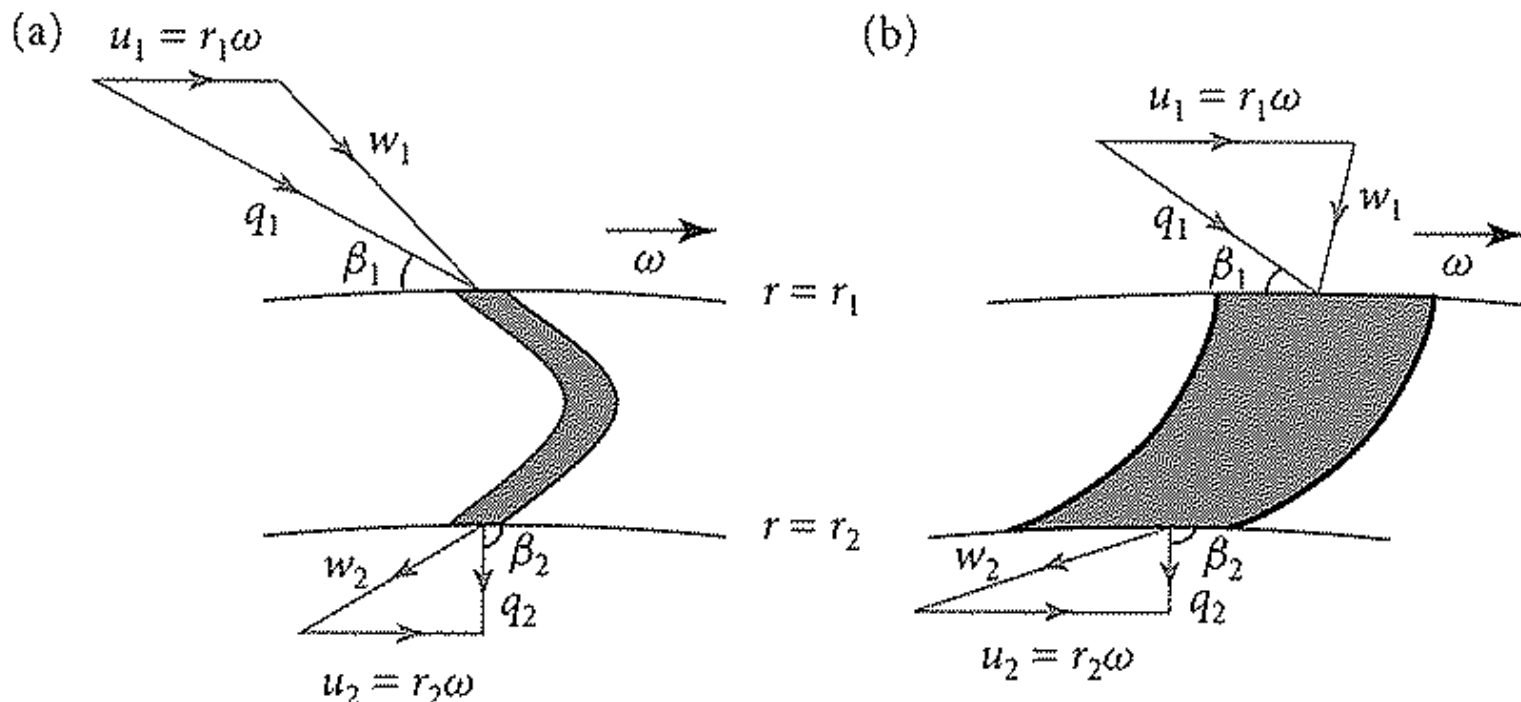
- ИМПУЛСНИ



- РЕАКЦИСКИ



Триаголници на брзини кај турбомашините



u -периферна брзина

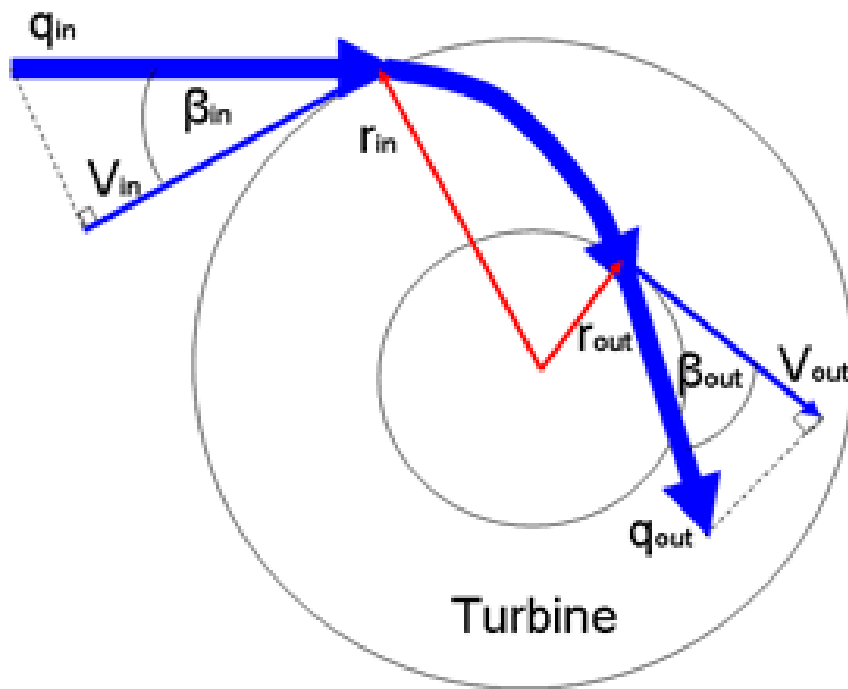
w - релативна брзина на течноста во однос на турбинската решетка

q - апсолутна брзина на течноста

Основна равенка на турбомашините.

Ојлерова равенка

Euler's Turbine Equation



Q = Fluid flow rate

ρ = Fluid density

q = Fluid velocity

β = Incidence angle

V = Tangential fluid velocity

$V = q \cos \beta$

r = Turbine radius

ω = Turbine rotational speed

T = Torque

P = Power output

$$\text{Torque } T = \rho Q (r_{in} V_{in} - r_{out} V_{out})$$

$$\text{Power } P = \omega T = \omega \rho Q (r_{in} q_{in} \cos \beta_{in} - r_{out} q_{out} \cos \beta_{out})$$

Пример 3.7

Да се пресмета максималната можна моќност од турбина која ќе работи на $f=50\text{ Hz}$, со $\rho=1000\text{ kg/m}^3$, $Q=1\text{ m}^3/\text{s}$, $r_1=1\text{ m}$, $q_1=1\text{ m/s}$, $\cos \beta_1=0.5$.

$$P = \omega \rho Q (r_1 q_1 \cos \beta_1 - r_2 q_2 \cos \beta_2)$$

Најдобри резултати се постигаат кога течноста ја напушта т. решетка во радиален правец т.е нормално на U (тангенцијална брзина)

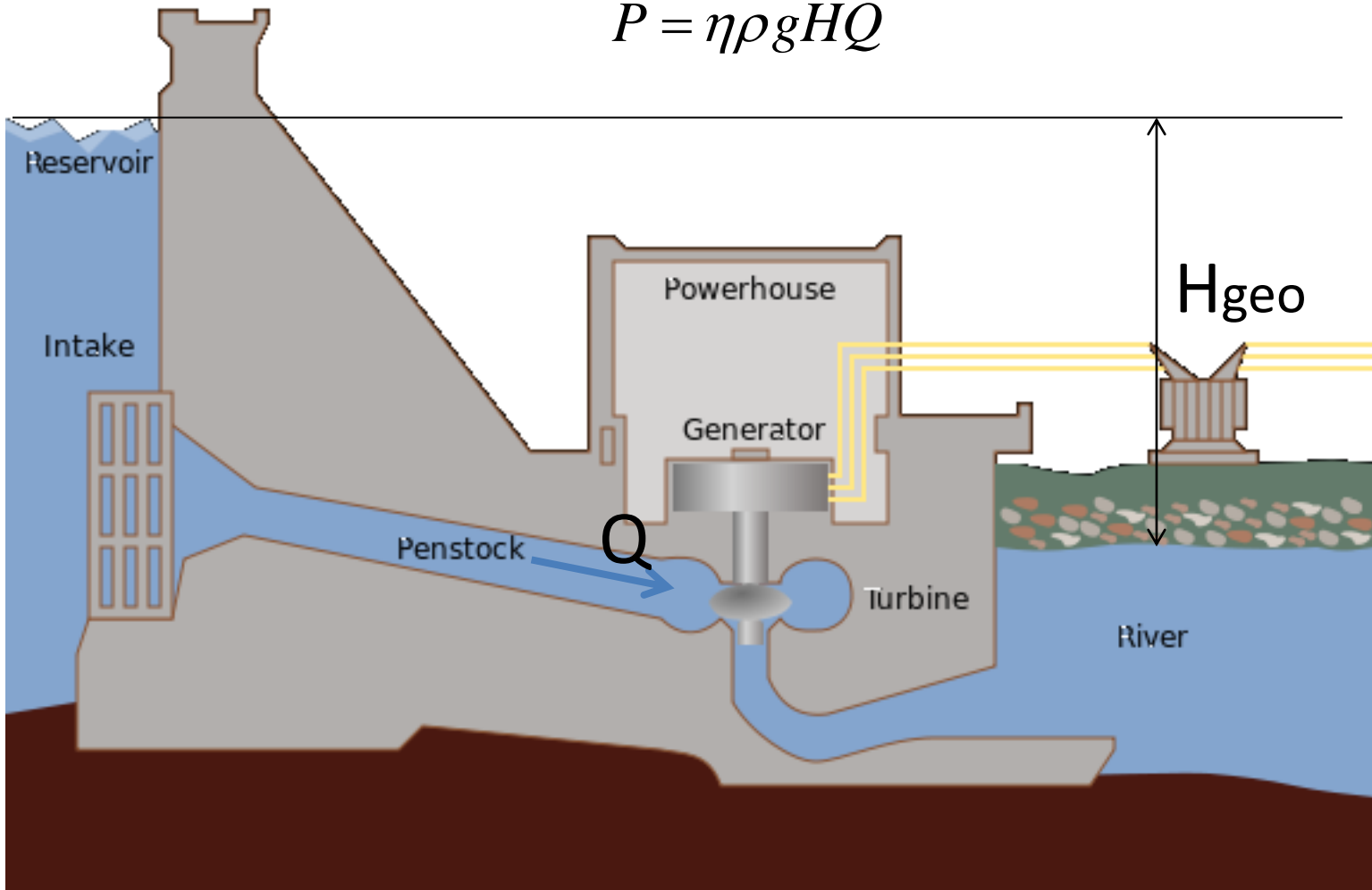
$$\cos \beta_2 = 0$$

$$P = \omega \rho Q r_1 q_1 \cos \beta_1$$

$$P = (2\pi \cdot 50) \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.5 \approx 160\text{ kW}$$

Хидроцентрали

$$P = \eta \rho g H Q$$



Пример



- Колкава е максималната можна моќност која може да се добие од една хидроелектрана, доколку расположивиот проток е $100 \text{ m}^3/\text{s}$, а нето падот е 100m (Брана Козјак во близина на Скопје).

$$P = \eta \rho g H_{geo} Q = 1 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 100 \cdot 100 \approx 100 \text{ MW}$$

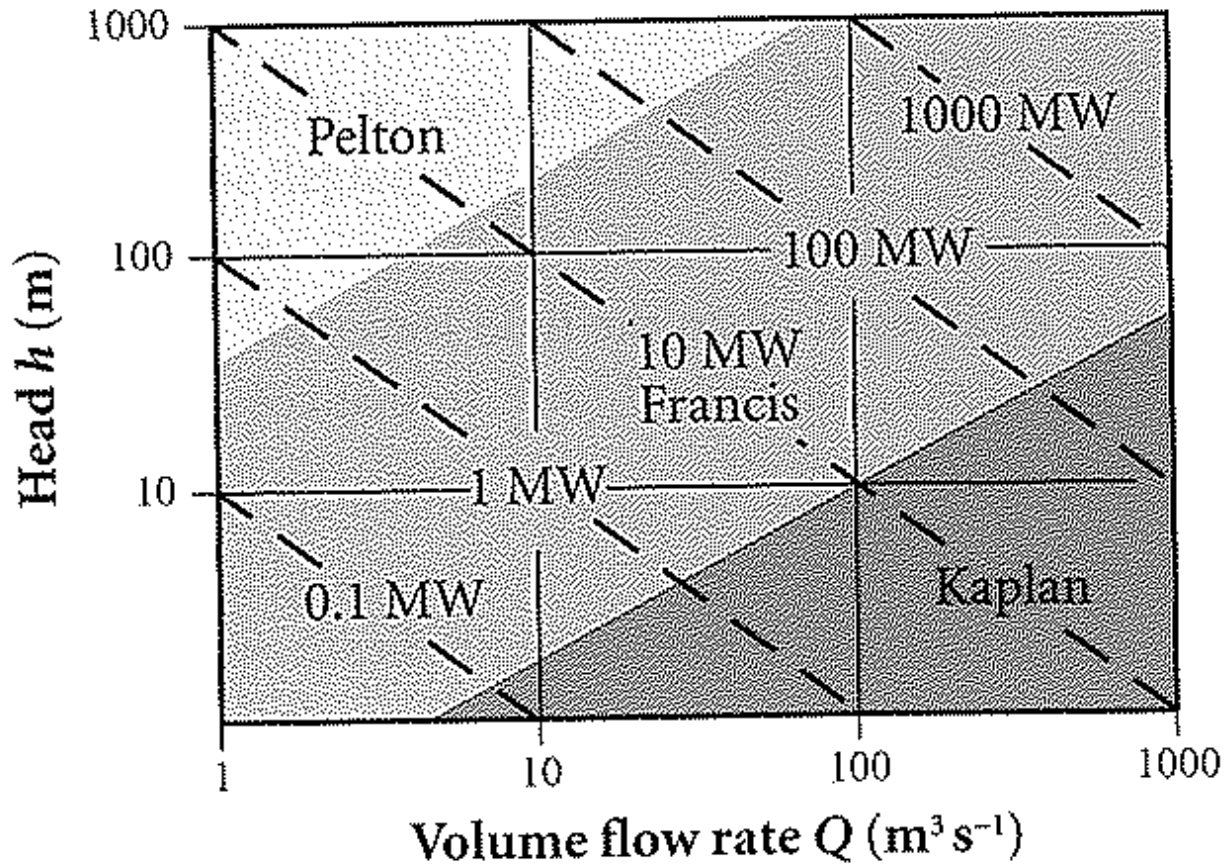
$$P_{kozjak} = 80 \text{ MW}$$

Хидроелектрани во РМ

Електрана	Q вкупно [m ³ /s]	H [m]	Моќност [MW]	Тип на турбина	Број на турбини
Козјак	100	95	80	Францис	2
Шпиље	108	91	84	Францис	3
Тиквеш	120	91	92	Францис	4
Вруток	32	525	150	Пелтон	4

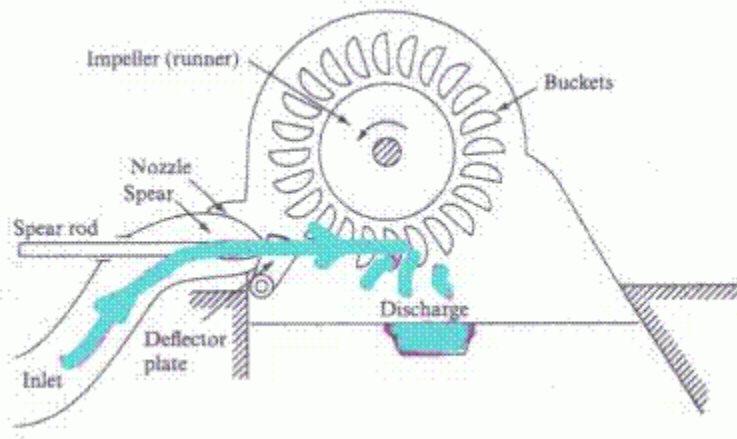
Од што зависи типот на турбината?

Избор на тип на турбина



Типови на турбини

- Импулсни турбини. Пелтон.

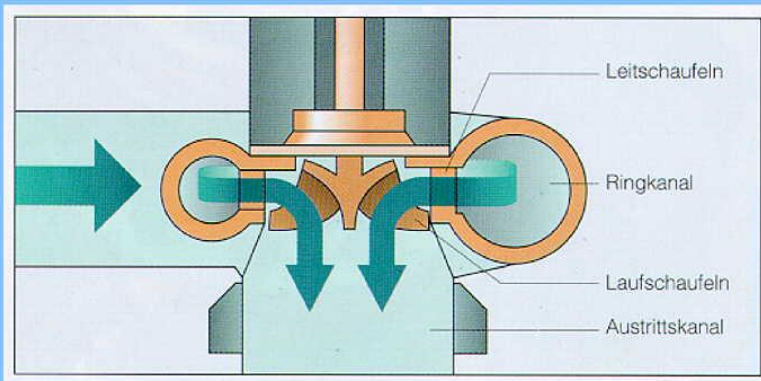


Реакциска Францис

Forschungsgruppe Wasserkraft

Universität Münster

Prinzip und Arbeitsweise einer Francis-Turbine

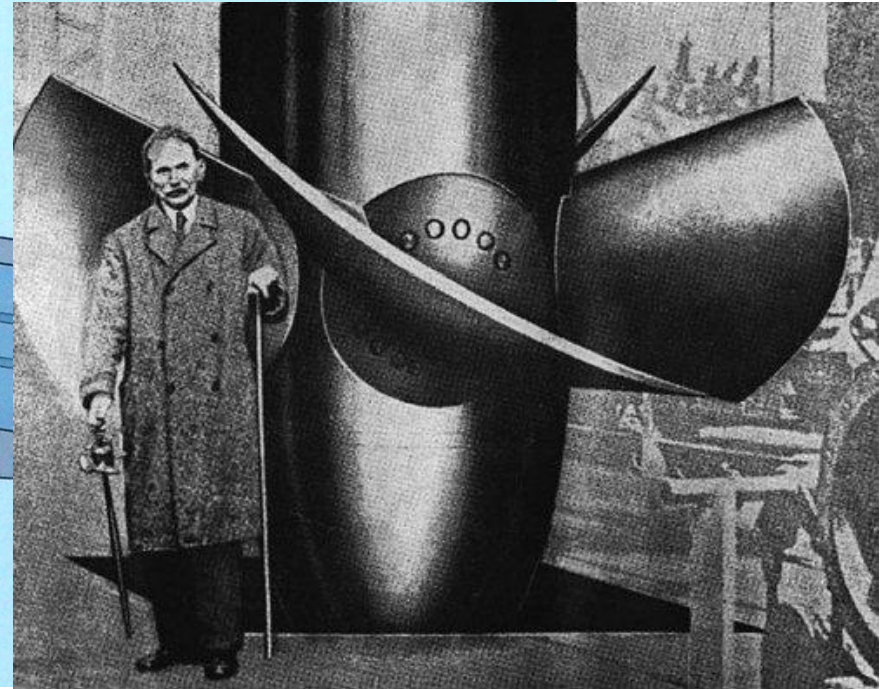
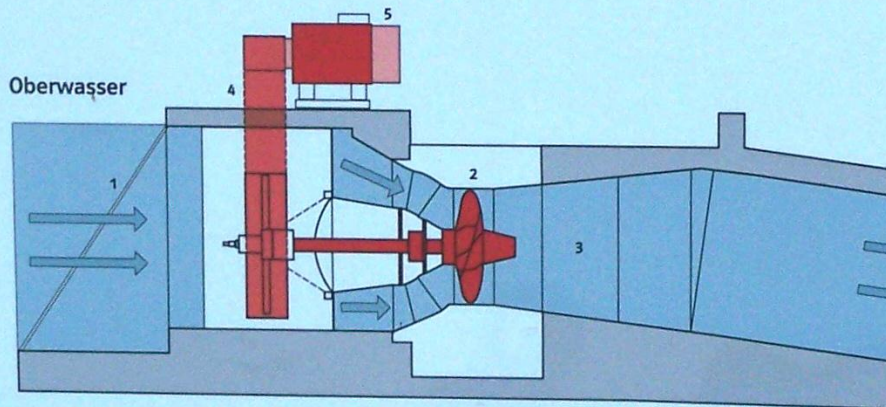


Quelle: Standpunkt / Siemens AG - Zeitschrift zu Energie und Umweltfragen, 6. Jg., H. 4/93



Реакциска Каплан

Funktionsweise der Kaplan-Turbine



Хидраулична ефикасност

Се користи при проектирање на перките на турбината

$$P = \omega \rho Q (r_1 q_1 \cos \beta_1 - r_2 q_2 \cos \beta_2) = \text{ojlerova ravenka}$$

$$P = \eta \rho g H_{geo} Q$$

$$\eta \rho g H_{geo} Q = \omega \rho Q (r_1 q_1 \cos \beta_1 - r_2 q_2 \cos \beta_2)$$

$$\eta = \frac{\omega (r_1 q_1 \cos \beta_1 - r_2 q_2 \cos \beta_2)}{g H_{geo}} = \text{hidraulicka efikasnost}$$

$$\cos \beta_2 = 0$$

$$P = \omega \rho Q r_1 q_1 \cos \beta_1$$

$$\eta = \frac{\omega (r_1 q_1 \cos \beta_1)}{g H_{geo}} = \frac{u_1 q_1 \cos \beta_1}{g H_{geo}}$$