

## CONCEPTUL: CAVITAȚIA LA TURBINELE HIDRAULICE

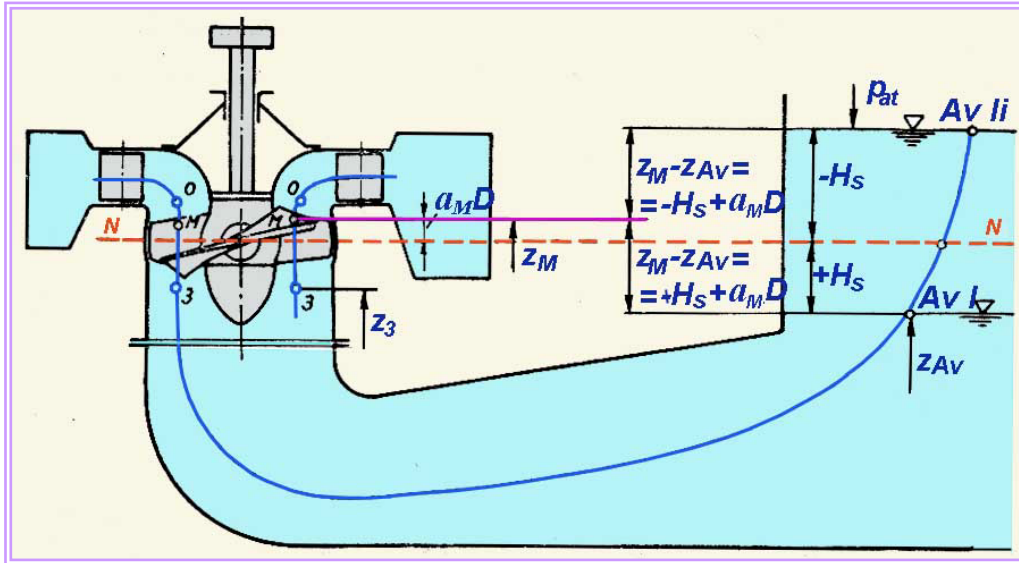
### CERINȚA: DEZVOLTAREA FENOMENULUI DE CAVITAȚIE LA TURBINELE HIDRAULICE

#### SOLUȚIE

**ENUNȚ:** Coeficienți de cavitație și curbe caracteristice de cavitație la turbinele hidraulice.

#### SOLUȚIE

Pentru traseul hidraulic al unei turbine tip Kaplan, dat în figura următoare:



se obține coeficientul de cavitație al instalației și al turbinei sub formele:

$$\sigma_{inst} = \frac{A - A_t \mp H_s}{H}$$

$$\sigma_T = k_{pmax3} \frac{W_3^2}{2gH} - k_u \frac{U_3^2}{2gH} + \eta_{ta} \frac{V_3^2}{2gH} + \frac{a_M D}{H}$$

Considerând că în punctul „M” apare presiunea minimă pe paletă  $p_M = p_{min}$ , rezultă:

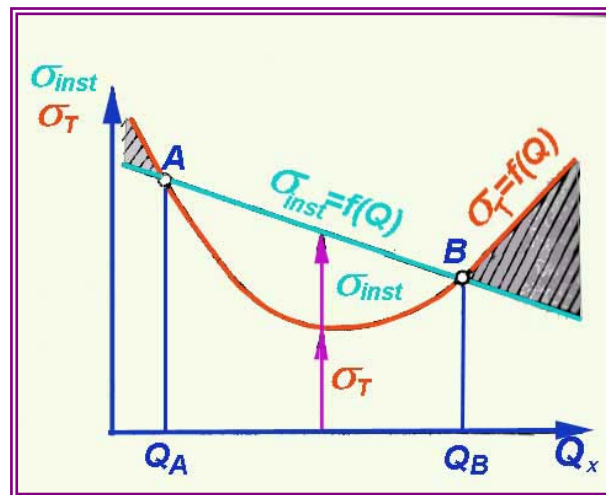
$$\sigma = \sigma_{inst} - \sigma_T = \frac{p_{min} - p_v}{\gamma H}$$

Relația de mai sus permite analizarea funcționării turbinei din punct de vedere cavitațional. Astfel, dacă:

- $p_{min} > p_v$ ,  $\sigma_{inst} > \sigma_T$  funcționarea este normală, fără cavitație;
- $p_{min} = p_v$ ,  $\sigma_{inst} = \sigma_T$  este incipiența cavitației, adică apare prima bulă în punctul M;
- $p_{min} < p_v$ ,  $\sigma_{inst} < \sigma_T$  funcționarea este în cavitație dezvoltată.

Cei doi coeficienți de cavitație depind de debitul de funcționare  $\sigma_{inst} = f(Q_x)$  și  $\sigma_T = f(Q_x)$ , iar reprezentarea lor conduce la obținerea curbei exterioare și interioare de cavitație. Prin suprapunerea curbelor caracteristice interioare și exterioare de cavitație se obțin domeniile de funcționare referitor la apariția și dezvoltarea fenomenului de cavitație în turbinele hidraulice.

În punctele A și B de intersecție a celor două curbe unde  $\sigma_T = \sigma_{inst}$  are loc incipiența cavitației. Între A și B  $\sigma_{inst} > \sigma_T$ , iar  $p_{min} > p_v$  funcționarea este normală, fără cavitație. Pentru  $Q_x < Q_A$  și  $Q_x > Q_B$ ,  $\sigma_T < \sigma_{inst}$  și  $p_{min} < p_v$  iar turbina funcționează în cavitație.



Regimurile de funcționare ale unei turbine hidraulice din punct de vedere cavitațional

Raportul  $k_\sigma = \frac{\sigma_{inst}}{\sigma_T}$  la un anumit debit  $Q_x$  caracterizează rezerva din punct de vedere cavitațional sau coeficientul de siguranță la cavitație.

### Înălțimea maximă și admisibilă de aspirație

Înălțimea de aspirație este un parametru funcțional deosebit de important al turbinelor hidraulice. O alegere defectuoasă a acesteia are repercursiuni asupra dezvoltării fenomenului de cavitație în funcționarea turbinelor, sau asupra costurilor de realizare a centralei hidroelectrice.

Înălțimea maximă de aspirație  $H_{s\max}$  se obține din condiția egalității coeficientului de cavitație al instalației cu cel al turbinei  $\sigma_{inst} = \sigma_T$ :

$$\sigma_T = \frac{A - A_t \mp H_{s\max}}{H}$$

de unde:

$$\pm H_{s\max} = A - A_t - \sigma_T H$$

iar:

$$\pm H_{s\text{ admis}} = 10,33 - \frac{\nabla}{900} - A_t - \sigma_{TQ\max} H$$

$\nabla$  fiind altitudinea locului unde se află bieful aval al centralei hidroelectrice.  $H_{s\text{ admis}}$  se calculează la debitul maxim, unde coeficientul de cavitație al turbinei devine  $\sigma_{TQ\text{ max}}$  [4].

## CONCEPTUL: CAVITAȚIA LA TURBINELE HIDRAULICE

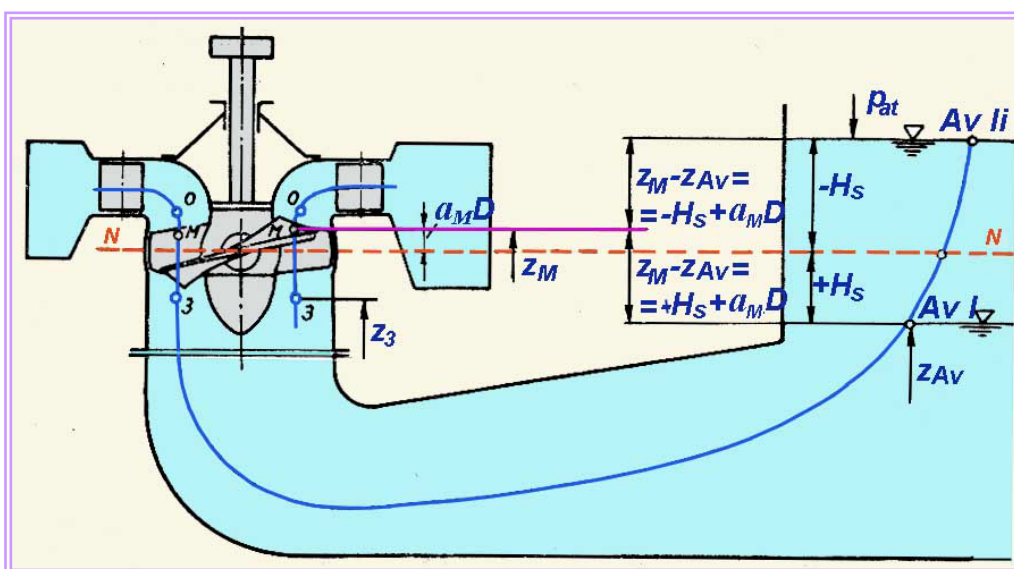
### CERINȚA: DEZVOLTAREA FENOMENULUI DE CAVITAȚIE LA TURBINELE HIDRAULICE

#### SOLUȚIE

**ENUNȚ:** Coeficienți de cavitație și curbe caracteristice de caștala trubinele hidraulice.

#### SOLUȚIE

Pentru traseul hidraulic al unei turbine tip Kaplan, dat în figura următoare:



se obține coeficientul de cavitație al instalației și al turbinei sub formele:

$$\sigma_{inst} = \frac{A - A_t \mp H_s}{H}$$

$$\sigma_T = k_{pmax3} \frac{W_3^2}{2gH} - k_u \frac{U_3^2}{2gH} + \eta_{ta} \frac{V_3^2}{2gH} + \frac{a_M D}{H}$$

Considerând că în punctul „M” apare presiunea minimă pe paletă  $p_M = p_{min}$ , rezultă:

$$\sigma = \sigma_{inst} - \sigma_T = \frac{p_{min} - p_v}{\gamma H}$$

Relația de mai sus permite analizarea funcționării turbinei din punct de vedere cavitațional. Astfel, dacă:

- $p_{min} > p_v$ ,  $\sigma_{inst} > \sigma_T$  funcționarea este normală, fără cavitație;
- $p_{min} = p_v$ ,  $\sigma_{inst} = \sigma_T$  este incipiența cavităției, adică apare prima bulă în punctul M;
- $p_{min} < p_v$ ,  $\sigma_{inst} < \sigma_T$  funcționarea este în cavitație dezvoltată.

## CONCEPTUL: ECUAȚIILE FUNDAMENTALE ALE TURBINELOR HIDRAULICE

### CERINȚA: PRINCIPIUL DE FUNCȚIONARE, EXPRESIA ECUAȚIEI FUNDAMENTALE A TURBINELOR HIDRAULICE ȘI RELAȚIILE DE SIMILITUDINE

#### SOLUȚIE

**ENUNȚ:** Care principiu de funcționare a 1 turbinelor, care este expresia ecuației EULER și ce relații de similitudine se utilizează în studiul turbinelor ?

#### SOLUȚIE

Curgerea în rotorul turbinelor este complexă din cauza formei spațiale a canalelor dintre paletel rotorului, fig.1., care sunt străbătute de vâna fluidă. Pentru analizarea ei, se consideră două sisteme de referință: unul inerțial, considerat fix, cu axa „z” așezată coliniar cu axa de rotație și unul mobil - rotitor, solidar cu rotorul, care are axa de rotație „z”, așezată la fel cu cel fix. Mișcarea fluidului raportată la sistemul inerțial este mișcarea absolută și va fi caracterizată de viteza absolută „ $\vec{v}$ ”. Mișcarea fluidului prin rotor, raportată la sistemul neinerțial, este mișcarea relativă, caracterizată de viteza relativă „ $\vec{w}$ ”, fig.2. Viteza de transport este viteza tangențială din planul rotorului care este constantă în timp la o rază „ $r$ ” dată:

$$\vec{u} = \vec{r} \times \vec{\omega}$$

Conform algoritmului de compunere al vectorilor, pentru viteza absolută se poate scrie:

$$\vec{v} = \vec{w} + \vec{u}$$

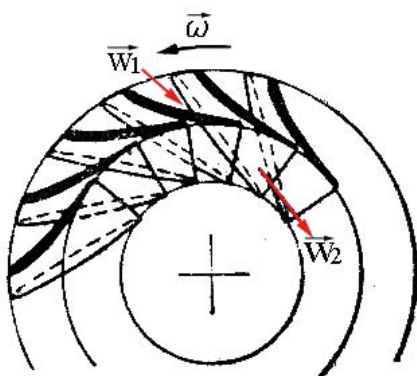


Fig.1. Canalele interpaletare ale rotorului de turbină Francis

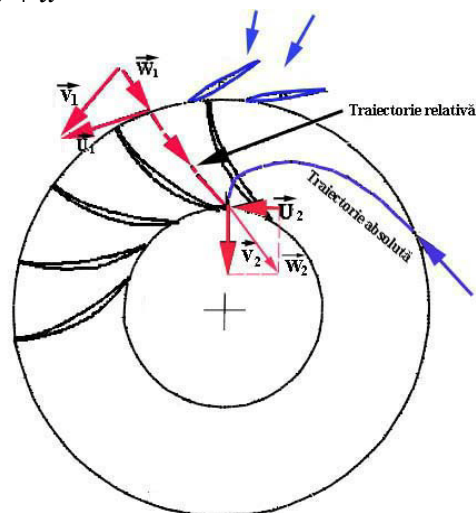


Fig. 2. Cinematica curentului la trecerea prin rotorul Francis

Particula fluidă intrată în rotor cedează o parte din energia sa prin interacțiunea cu paletel rotorului, și parcurge o traiectorie relativă (față de sistemul de referință mobil) și o traiectorie absolută (față de sistemul fix), așa cum rezultă din figura 2.

În cadrul transferului energetic din turbină, energia mecanică poate proveni din transformarea parțială a energiei cinetice și potențiale a fluidului, sau numai din transformarea energiei cinetice. Pentru primul caz turbina este cu reacțiune, sau cu vână forțată, iar pentru al doilea, turbina este cu acțiune sau cu vână liberă. Turbinele cu vână forțată sunt de tipul Francis și Kaplan și au rotorul complet scufundat în lichid, iar cele cu vână liberă sunt de tip Pelton și au rotorul liber în atmosferă, atacat tangențial de un număr de vâne de curent.

## **CONCEPTUL: APARATELE FIXE DE CONDUCERE ALE CURGERII ÎN TUBINELE HIDRAULICE**

### **CERINȚA: PROBLEME CONSTRUCTIV FUNCȚIONALE ALE ORGANELOR FIXE ALE TURBINELOR HIDRAULICE**

#### **SOLUȚIE**

**ENUNȚ:** Care este componența, rolul funcțional al camerei spirale, statorului, aparatului director și a tubului de aspirație la turbinele hidraulice?

#### **SOLUȚIE**

##### **Camera spirală**

Camera spirală este, așa cum s-a arătat mai sus, o componentă a turbinelor cu reacțiune. Ea face legătura între conducta de aducțiune și aparatul director, realizând o distribuție uniformă a debitului pe periferia aparatului director și a rotorului. O parte din energia potențială a curentului se transformă în camera spirală în energie cinetică, în special la turbinele de medie și înaltă cădere.

Indiferent de materialul sau tehnologia de execuție camera spirală are în plan perpendicular pe axa de rotație a mașinii o formă melcată, din cauza liniilor de curent care sunt spirale logaritmice și în secțiune meridiană formă circulară sau poligonală. Zona spiralată se poate extinde pe un unghi  $f_{\max} = 360^\circ$ , la camerele spirale ce echipează turbine de medie și înaltă cădere sau pe mai puțin,  $f_{\max} < 360^\circ$ , la turbinele de joasă cădere.

În figurile de mai jos sunt prezentate tipurile constructive de bază utilizate la construcția turbinelor moderne.

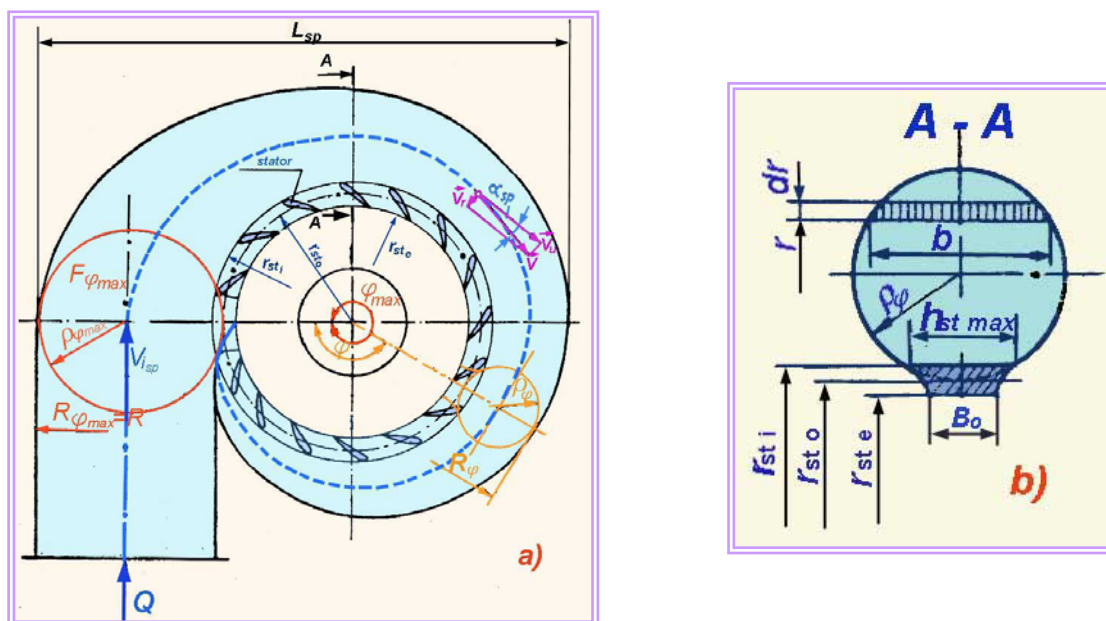


Fig.6.1a,b. Camera spirală de secțiune circulară

## CONCEPTUL: PARAMETRI FUNCȚIONAL I AI TURBINELOR HIDRAULICE

### CERINȚA: MĂRIMILE CE CARACTERIZEAZĂ FUNCȚIONAREA TURBINELOR HIDRAULICE

#### SOLUȚIE

**ENUNȚ:** Care sunt mărimile ce caracterizează funcționarea turbinelor hidraulice ?

#### SOLUȚIE

Parametri funcționali caracteristici turbinelor hidraulice sunt:

- Debitul
- Energia specifică și căderea
- Turația
- Puterea
- Randamentul
- Înălțimea geometrică de aspirație
- Coeficientul de cavitație

#### **Debitul turbinei**

Se definește prin cantitatea de apă exprimată volumic, masic sau gravimetric, ce străbate o secțiune în unitatea de timp. **Debitul volumic**  $Q$  [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ] este volumul de apă ce străbate orice secțiune a turbinei în unitatea de timp. **Debitul masic** ( $\tau Q$ ) [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ] este dat de masa de apă ce străbate orice secțiune a turbinei în unitatea de timp. Atât densitatea  $\tau$  cât și debitul volumic  $Q$  trebuie considerate în aceeași secțiune și în aceleași condiții. Dacă se face referire la o anumită secțiune, se utilizează debitul în secțiunea de referință.

#### **Energia specifică**

**Energia specifică a turbinei**  $E$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] se definește ca fiind diferența între energiile specifice ale apei din secțiunile de intrare (1) și de ieșire (2) ale turbinei (Fig.1.1):

$$E = \frac{P_{abs1} - P_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$$

#### **Căderea**

Prin **cădere**  $h$  [ $\text{J} \cdot \text{N}^{-1} = \text{m}$ ], în general, se înțelege energia specifică obținută prin raportarea la unitatea de greutate a apei:

$$h = e / g$$

**Căderea turbinei**  $H$  [ $\text{J} \cdot \text{N}^{-1} = \text{m}$ ] este diferența dintre energiile specifice ale apei de la intrare și ieșire din turbină, conform relației (1.1), raportate la unitatea de greutatea apei:

$$H = E / \bar{g}$$

$$H_g = E_g / \bar{g}$$

**Căderea brută (geodezică) a centralei**  $Z_g$  [ $\text{m}$ ] este diferența de cotă pe verticală între nivelul apei din bieful amonte și bieful aval:

$$Z_g = z_3 - z_4$$

## CONCEPTUL: PRINCIPALELE TIPURI DE TURBINE HIDRAULICE

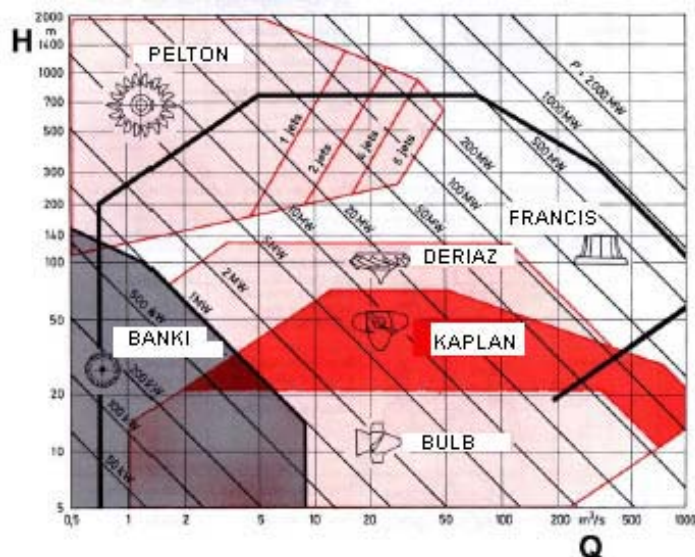
### CERINȚA: DOMENIILE DE FUNCȚIONARE ALE TURBINELOR HIDRAULICE ȘI PRINCIPALELE TIPURI CONSTRUCTIVE

#### SOLUȚIE

**ENUNȚ:** Care sunt domeniile de funcționare ale turbinelor hidraulice și care este componenta constructivă a fiecărui tip?

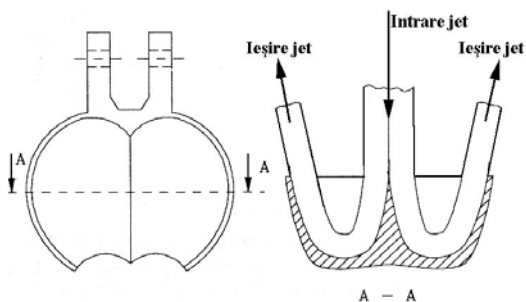
#### SOLUȚIE

Tehnica modernă este dominată de trei tipuri principale de turbine hidraulice: Pelton, Francis și Kaplan și de două tipuri derivate, bulb și Deriaz. Utilizarea eficientă a unui tip de turbină depinde de domeniul de funcționare al fiecăreia. O diagramă orientativă pentru stabilirea domeniilor de funcționare optime din punct de vedere tehnico – economic este redată în figura de mai jos



#### **Turbina Pelton**

Este specifică căderilor mari și foarte mari,  $H=200 - 2000$  m și debitelor mici, de la 1/s la  $m^3/s$ . Domeniul de funcționare cu randamente ridicate este extins, randamentul maxim este ridicat,  $\eta_{max} \mapsto 93,5 \div 94\%$ , iar greutatea specifică este  $G_{sp} \approx 30$  N/kW.



decupări la periferia paletelor.

Rotorul este sediul transformărilor energetice, fiind atacat tangențial de 1 – 6 jecuri produse de tot atâtea injectoare. Rotorul este realizat dintr-un disc pe periferia căruia sunt dispuse paletele în formă de cupă dublă. Paletele pot fi prinse de disc cu buloane, sau pot fi turnate împreună cu discul, rezultând o construcție monobloc. Jetul compact creat de injector atacă trei palete rotorice, una complet și două parțial, din cauza existenței unei

## CONCEPTUL: PROBLEME CONSTRUCTIV FUNCȚIONALE ALE TRUBOTRANSMISIILOR

### CERINȚA: SĂ SE EVIDENȚIEZE COMPOZIȚIA ȘI FUNCȚIONAREA TURBOCUPLAJELOR ȘI TURBOTRANSFORMATOARELOR

#### SOLUȚIE

**ENUNȚ:** Să se evidențieze construcția și funcționarea turbotransmisiilor.

#### SOLUȚIE

Transmisiile hidraulice sunt mașini de forță în care se petrece, de obicei o dublă transformare energetică:  $E_{mec} \rightarrow E_{hidraulică} \rightarrow E_{mec}$ , sau  $E_{hidraulică} \rightarrow E_{mec} \rightarrow E_{hidraulică}$ . Cele din prima categorie sunt, în mod curent, mașini în circuit închis, pe când celelalte sunt în circuit deschis.

Pentru o sistematizare a descrierii constructive a turbotransmisiilor este oportun să existe o clasificare convențională a acestora, după cum urmează. Astfel turbotransmisiile se pot clasifica în:

- Turbocuplaje - numite și turboambreiaje, care au în componență un rotor de pompă și unul de turbină, puși față în față, identic constructivi; din punct de vedere funcțional această transmisie variază turația arborelui secundar față de cel primar, conservând momentul transmis.
- Turbotransmisiile – numite și convertizoare hidraulice de cuplu, care variază la arborele secundar atât turația cât și momentul față de cele de la arborele primar. Din punct de vedere constructiv, acestea mai au în circuitul hidraulic interior, un stator, numit și reactor, care poate fi așezat între rotorul de turbină și cel de pompă, adică în configurația (P→T→R), numit și turbotransformator de clasa I-a, sau în configurația P→R→T, numit și turbotransformator de clasa II-a.

#### **Turbocuplajele**

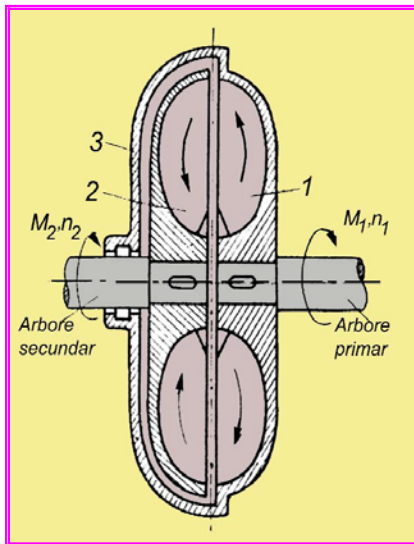


Fig.a. Turbocuplaj cu rotori fără inele  
1 – rotor pompă; 2 – rotor turbină; 3 - carcasă de antrenare rotor pompă

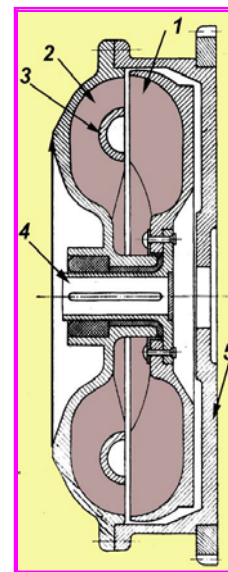


Fig.b. Turbocuplaj cu inel la rotorul de turbină; 1 – rotor pompă; 2 - rotor turbină; 3 – inel la rotorul de turbină; 4 – arbore primar; 5 – flanșă pentru antrenarea mașinii secundare

- Cele două variante constructive din figurile a,b conțin în principiu aceleași elemente: rotoarele de pompă și turbină, arborii (sau flanșa) de antrenare, remarcându-se diferențe în ceea ce privește forma circuitului hidraulic.
- Toate turbocuplajele pot fi folosite ca ambreiaje hidraulice. În acest scop ele sunt, de obicei, alimentate cu lichid de lucru de o pompă exterioară. Pe măsură ce crește gradul de umplere, evoluează și fenomenul transmiterii turației și momentului de la arborele primar la cel secundar.

