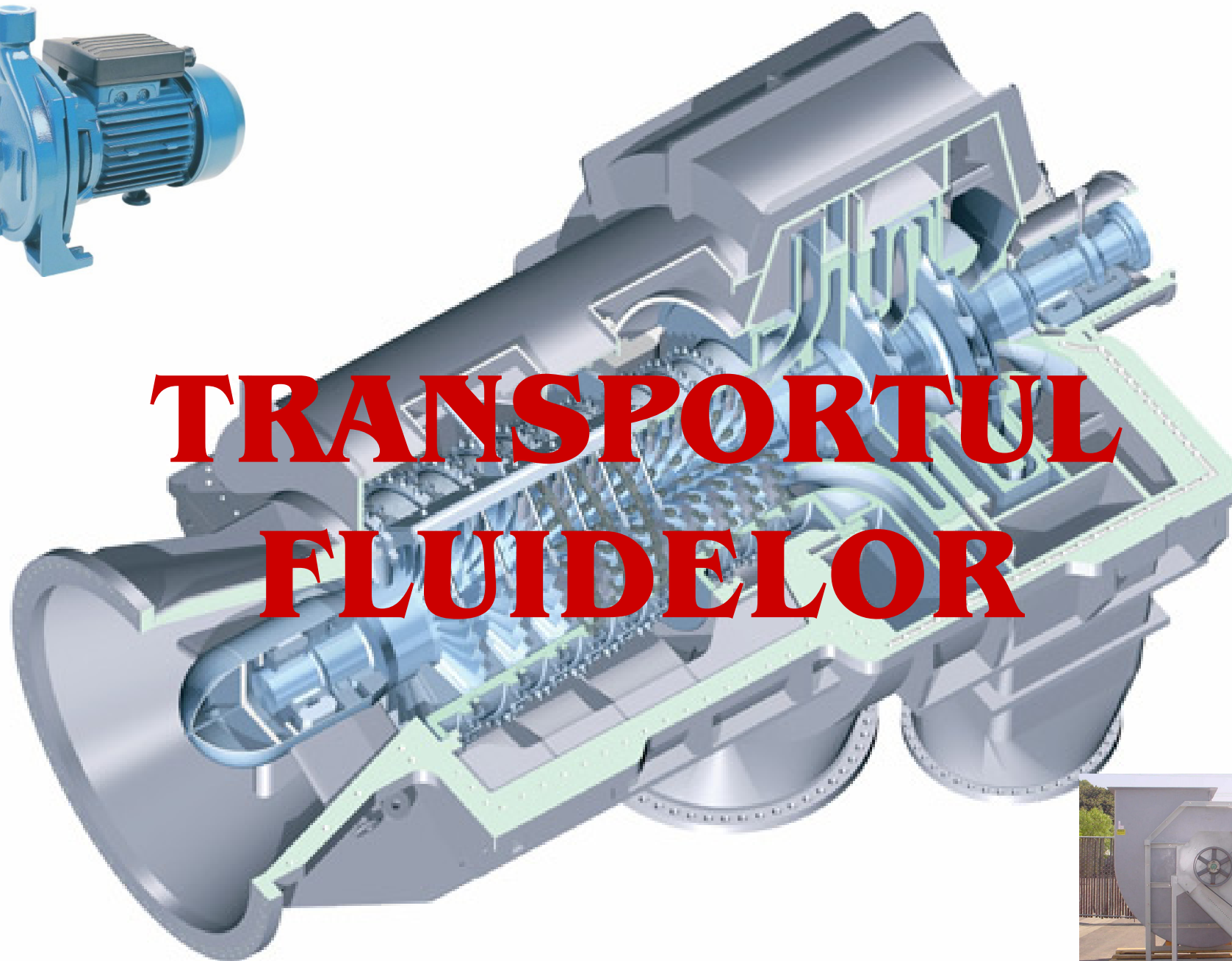




TRANSPORTUL FLUIDELOR



TRANSPORTUL FLUIDELOR

- o În marea majoritate a cazurilor transportul fluidelor este preferat transportului solidelor. Astfel, este preferat transportul soluției în locul transportului separat al componentelor acesteia.
- o De multe ori, materialele solide sunt transportate prin antrenarea lor cu un fluid:
 - transportul pneumatic al materialelor solide pulverulente (cereale, făinuri etc.),
 - transportul hidraulic al unor materii prime ale industriei alimentare (sfecă, cartofi, tomate, fructe etc.), concomitent cu spălarea acestora.

TRANSPORTUL FLUIDELOR

- o În instalațiile de proces ale industriilor alimentare se transportă numeroase fluide cu proprietăți foarte diverse.
- o Fluidele se deplasează prin:
 - conducte,
 - canale,
 - aparate și reactoare
- o sub acțiunea unei energii primite din exterior,
- o în cazul lichidelor – sub acțiunea energiei potențiale create de o diferență de nivel.

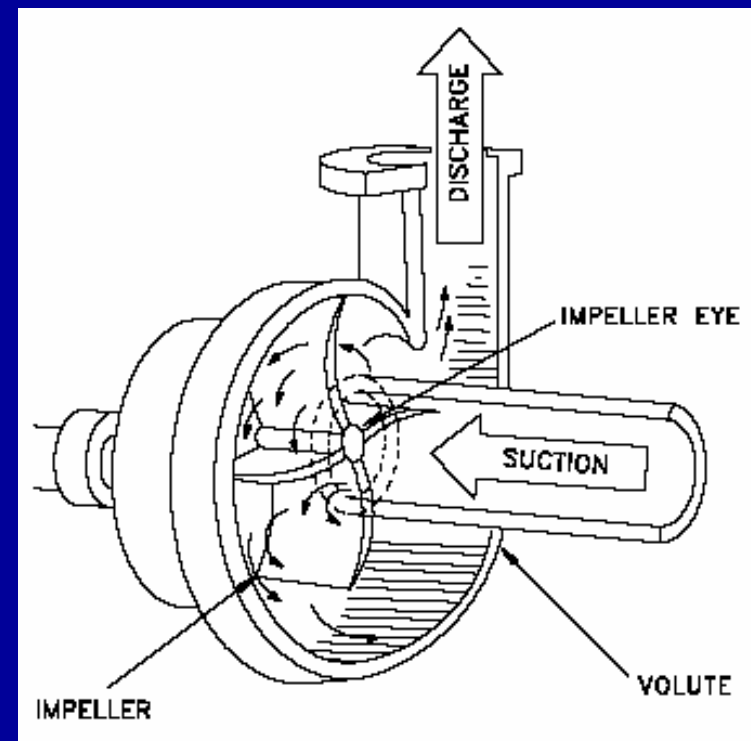
TRANSPORTUL FLUIDELOR

- o Utilajele care servesc la transferul energiei de la o sursă exterioară la un fluid poartă denumirea generică de:
 - pompe (dacă fluidul este un lichid),
 - compresoare (dacă fluidul este un gaz).
- o Denumirea de pompe de vid este dată utilajelor care servesc la realizarea unei depresiuni sau la evacuarea unui recipient.

TRANSPORTUL FLUIDELOR

Pentru a provoca deplasarea (curgerea) fluidelor există mai multe posibilități, și anume:

1. Prin acțiunea unei forțe centrifuge:

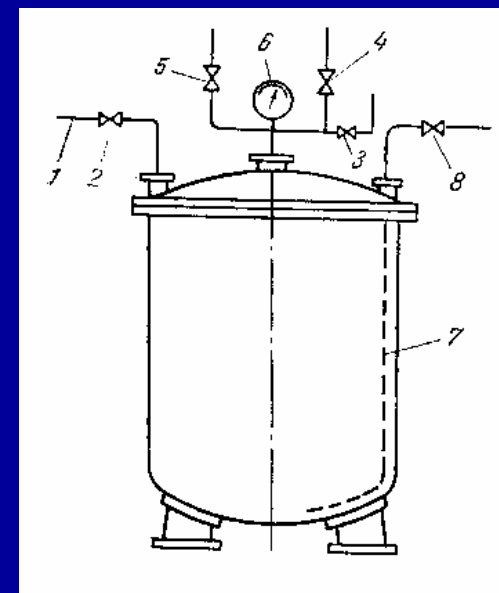
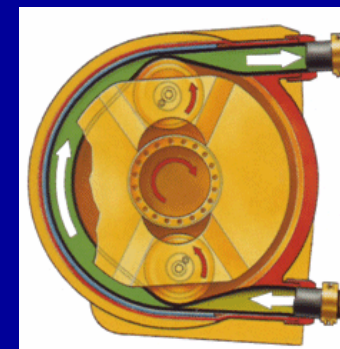
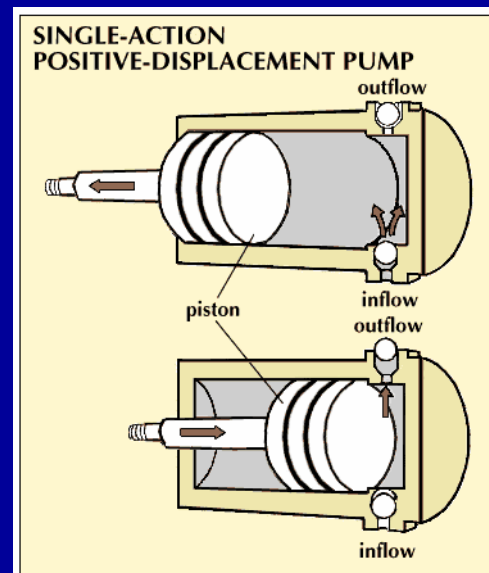


TRANSPORTUL FLUIDELOR

Pentru a provoca deplasarea (curgerea) fluidelor există mai multe posibilități, și anume:

2. Prin deplasarea unui volum de fluid:

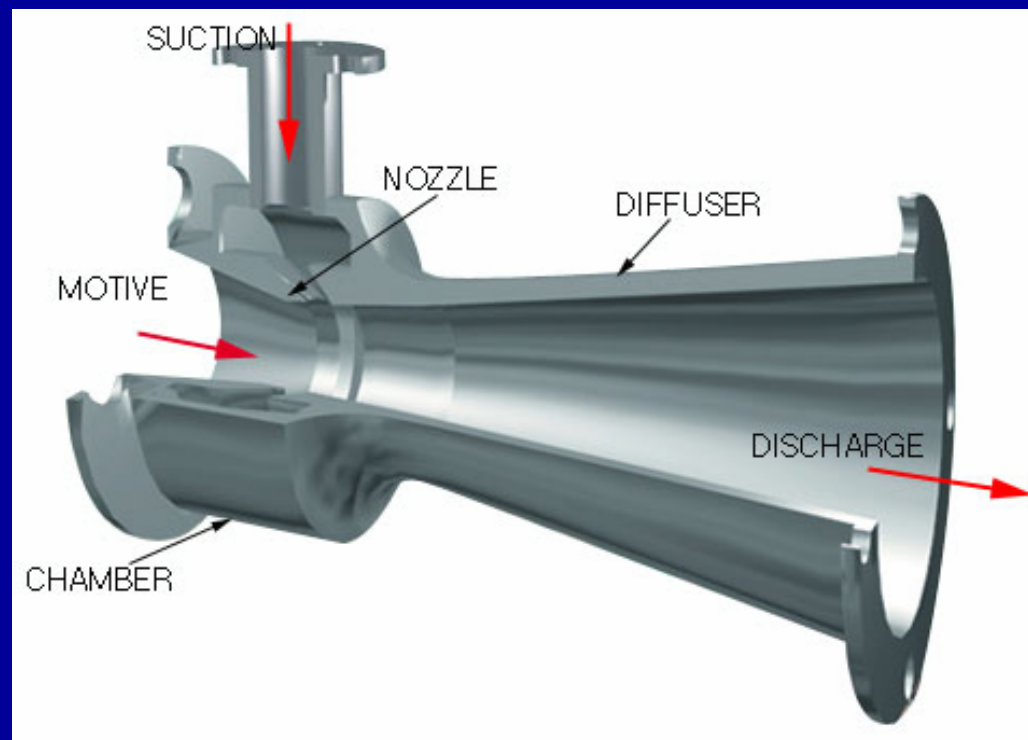
1. pe cale mecanică,
2. prin intermediul altui fluid;



TRANSPORTUL FLUIDELOR

Pentru a provoca deplasarea (curgerea) fluidelor există mai multe posibilități, și anume:

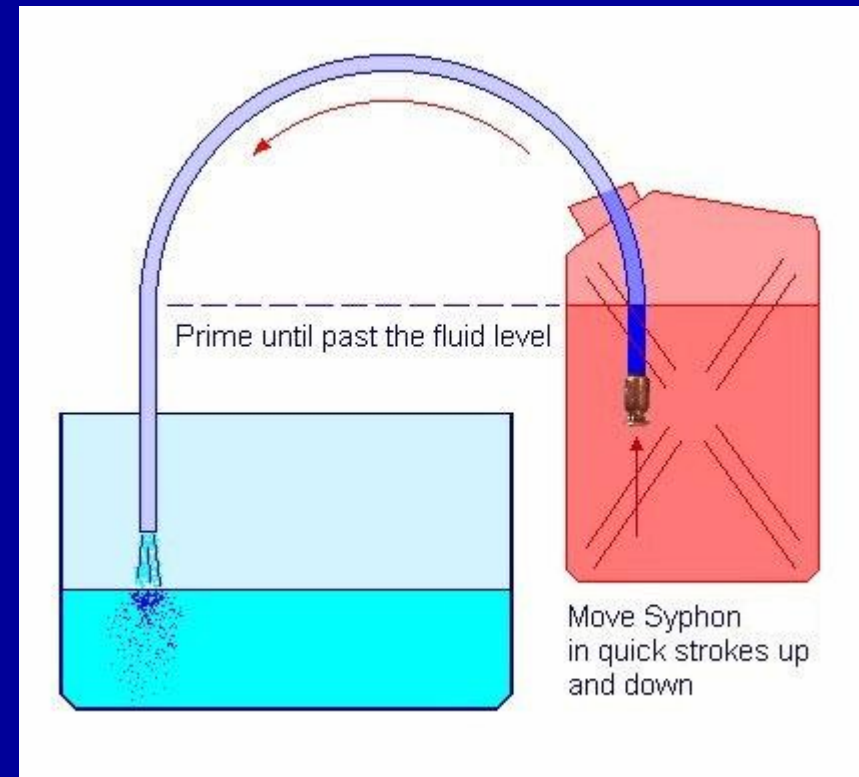
3. Prin transfer de impuls de la alt fluid:



TRANSPORTUL FLUIDELOR

Pentru a provoca deplasarea (curgerea) fluidelor există mai multe posibilități, și anume:

4. Prin acțiunea forțelor gravitaționale:



TRANSPORTUL FLUIDELOR

Pentru a provoca deplasarea (curgerea) fluidelor există mai multe posibilități, și anume:

- 5. Printr-un impuls mecanic;
- 6. Prin acțiunea unui câmp magnetic;

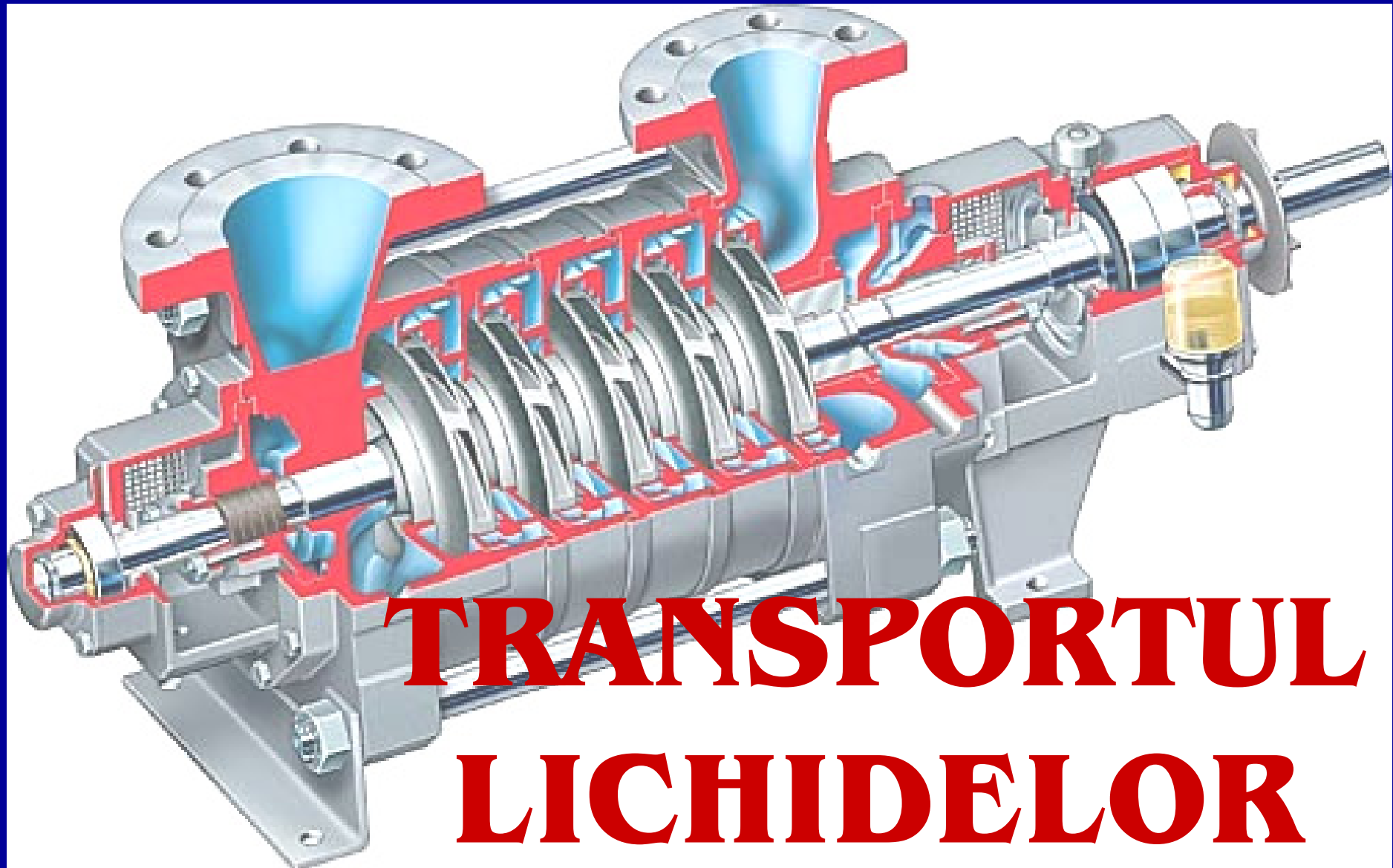
Pe baza acestor metode de principiu sunt construite toate echipamentele destinate transportului fluidelor.

TRANSPORTUL FLUIDELOR

Pentru a provoca deplasarea (curgerea) fluidelor există mai multe posibilități, și anume:

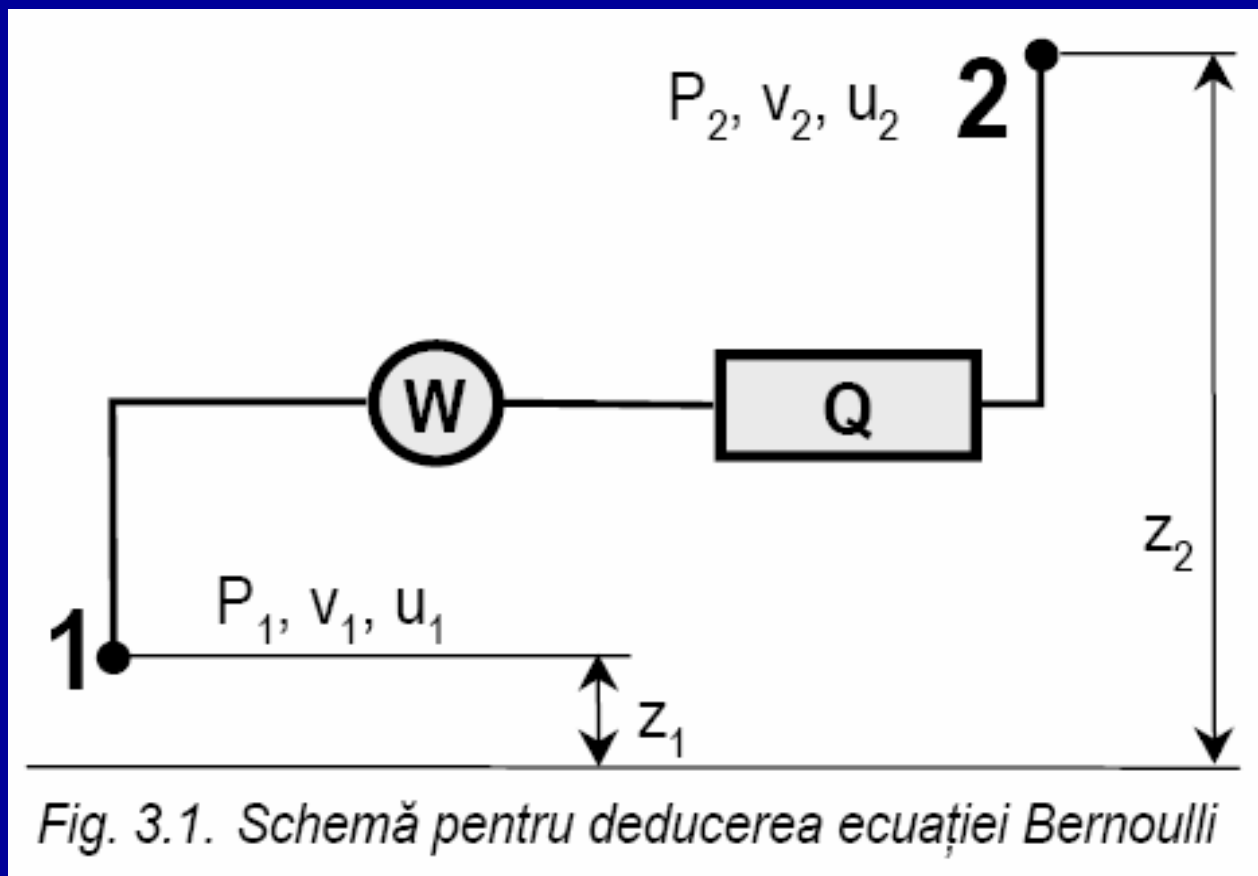
1. prin acțiunea unei forțe centrifuge;
2. prin deplasarea unui volum de fluid: fie pe cale mecanică, fie prin intermediul altui fluid;
3. printr-un impuls mecanic;
4. prin transfer de impuls de la alt fluid;
5. prin acțiunea unui câmp magnetic;
6. prin acțiunea forțelor gravitaționale.

Pe baza acestor metode de principiu sunt construite toate echipamentele destinate transportului fluidelor.



CONSERVAREA ENERGIEI LA CURGEREA FLUIDELOR

Ecuatia Bernoulli



CONSERVAREA ENERGIEI LA CURGEREA FLUIDELOR

Ecuatia Bernoulli

$$\Sigma \left[\begin{array}{c} \text{Energii} \\ \text{acumulate} \end{array} \right] = \Sigma \left\{ \begin{array}{c} \text{Energii} \\ \text{intrate} \end{array} \right\} - \Sigma \left\{ \begin{array}{c} \text{Energii} \\ \text{iesite} \end{array} \right\}$$

Tab. 3.1. Bilanț energetic pentru sistemul redat în fig. 3.1

Forma de energie	Intrată prin punctul 1	Ieșită prin punctul 2	Diferența (1) – (2)
Energie potențială	gz_1	gz_2	$g(z_1 - z_2)$
Energie cinetică	$\frac{1}{2}v_1^2$	$\frac{1}{2}v_2^2$	$\frac{1}{2}(v_1^2 - v_2^2)$
Energie internă	u_1	u_2	$u_1 - u_2$
Lucru mecanic extern	P_1v_{s1}	P_2v_{s2}	$P_1v_{s1} - P_2v_{s2}$
Energie termică	-	-	Q
Energie mecanică	-	-	W

TRANSPORTUL LICHIDELOR

o Ecuația Bernoulli pentru regim staționar poate fi pusă sub forma:

$$W = g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + (H_2 - H_1) - Q \quad (1)$$

o Sau:

$$W = g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + \int_1^2 v_s dP + F \quad (2)$$

TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Pe baza acestor două ecuații se poate afirma că energia **W** furnizată pompei are rolul de a:
- ridica un lichid de la înălțimea **z_1** la înălțimea **z_2** ;
 - mări viteza unui fluid de la **v_1** la **v_2** ;
 - ridica presiunea unui fluid de la **P_1** la **P_2** ;
 - mări entalpia unui gaz de la **H_1** la **H_2** ;
 - transporta fluidul prin învingerea frecării **F**.

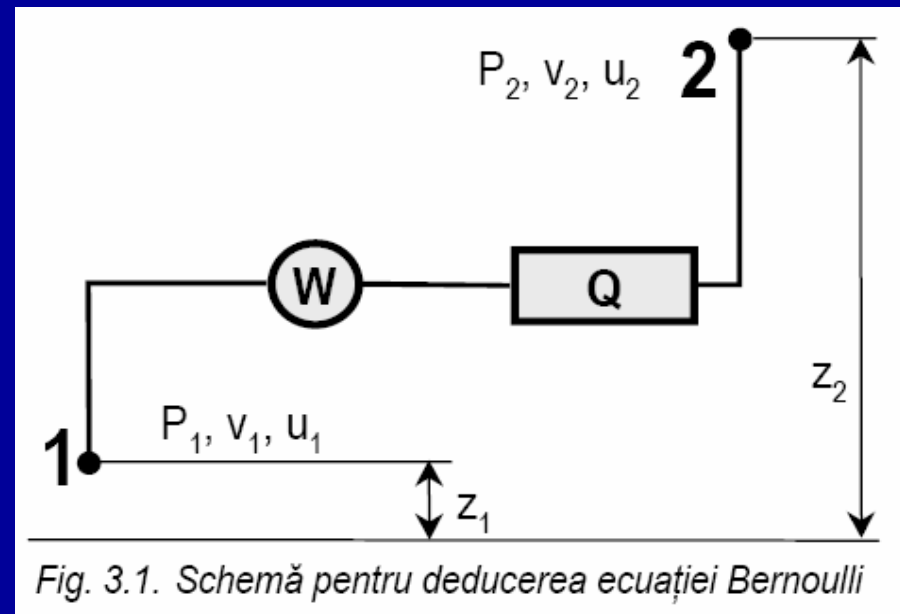
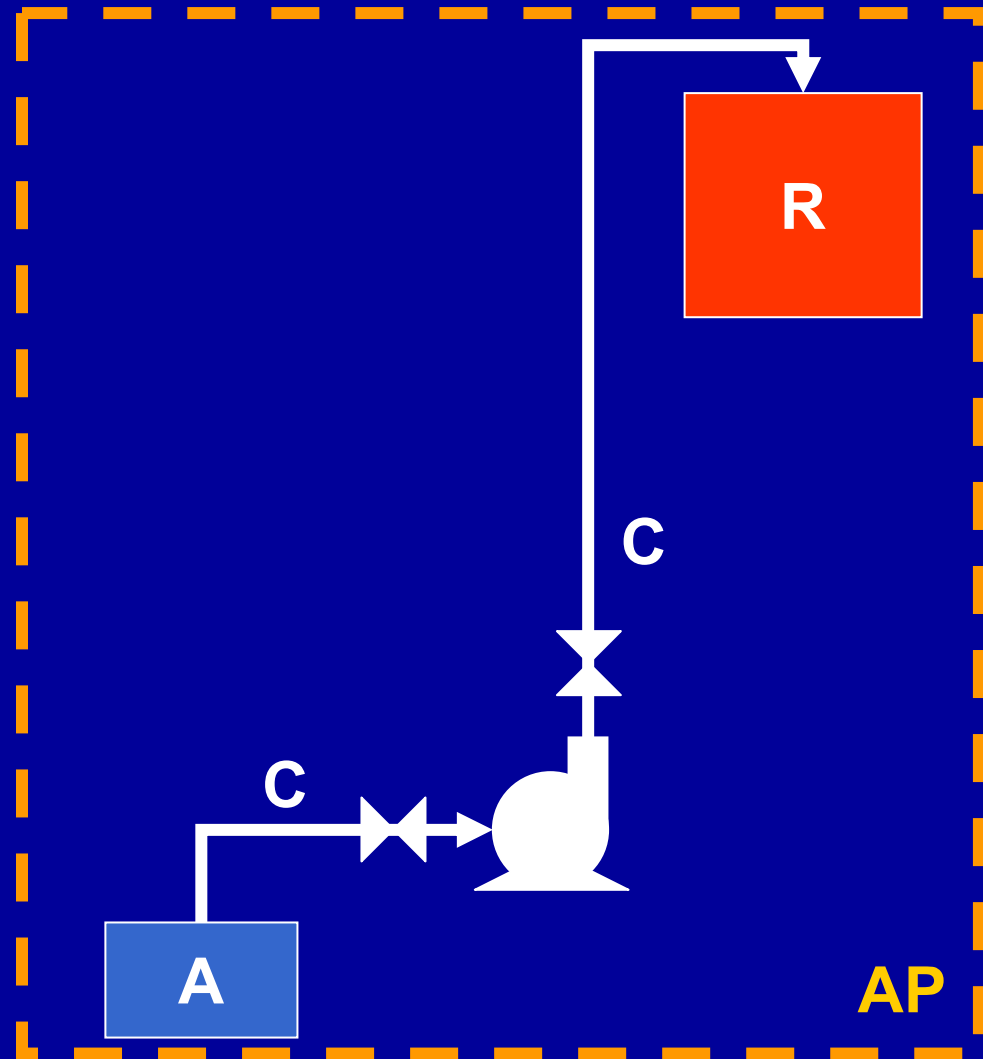


Fig. 3.1. Schemă pentru deducerea ecuației Bernoulli

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o O pompă sau un grup de pompe deservește un sistem alcătuit din:
 - spațiul de aspirație (A),
 - ansamblul de conducte și armături (C),
 - spațiul de refulare (R).
- o Sistemul împreună cu pompa sau grupul de pompe alcătuiesc **agregatul de pompare (AP)**.



RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

DEBITUL POMPELOR

- o **Debitul masic al pompelor** = masa de lichid transportată de pompă în unitatea de timp. (m_m)
- o **Debitul volumic** = volumul de lichid transportat în unitatea de timp. (m_v)

ÎNĂLȚIMEA MANOMETRICĂ

Dacă ecuația (2):

$$W = g(z_2 - z_1) + \frac{1}{2}(v_2^2 - v_1^2) + \int_1^2 v_s dP + F \quad (2)$$

se împarte prin accelerația gravitațională g , se obține:

$$(z_2 - z_1) + \frac{1}{2g}(v_2^2 - v_1^2) + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{F}{g} = \frac{W}{g} = Z_m \quad (4)$$

o Se mai numeste si "îălțime totală de ridicare"

ÎNĂLȚIMEA MANOMETRICĂ

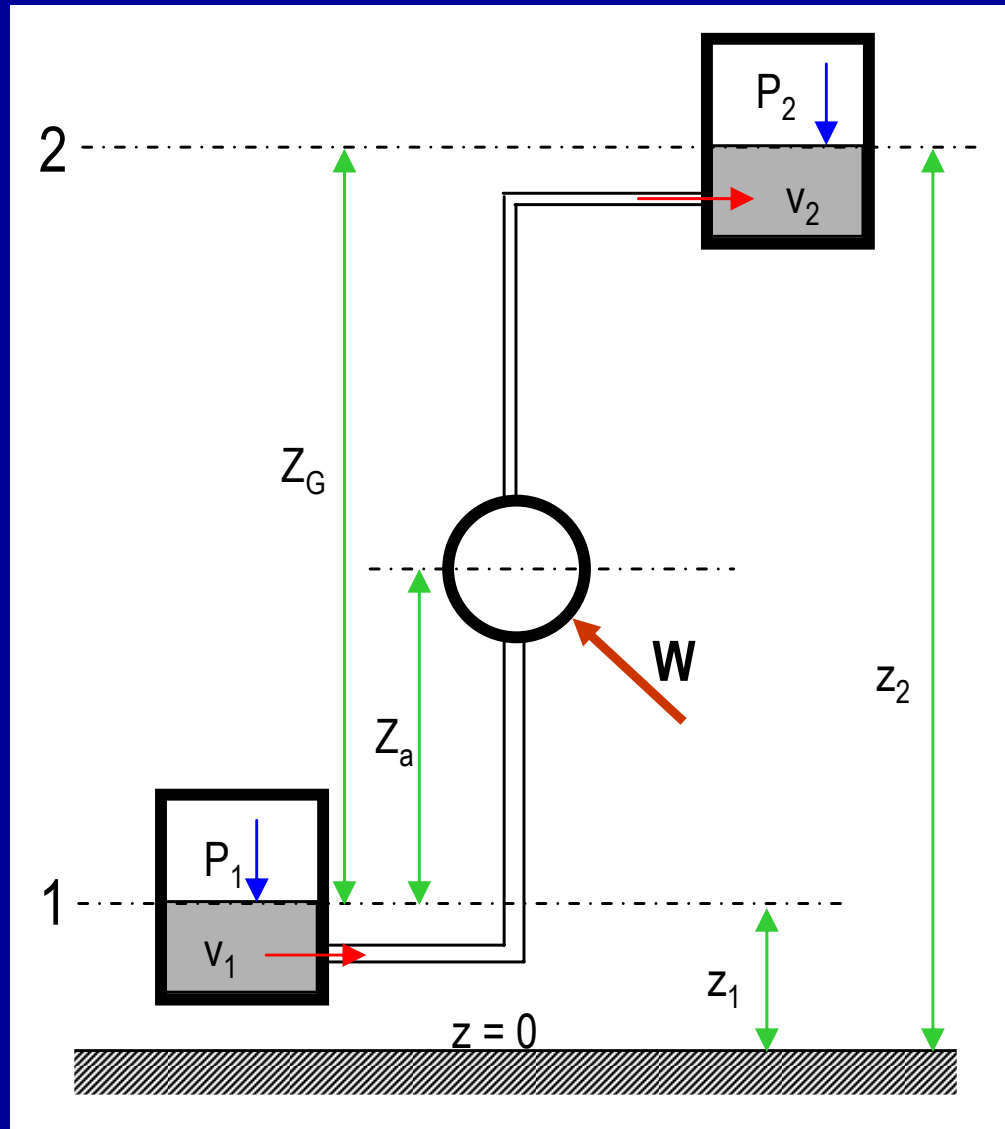
o care se mai poate scrie sub forma:

$$Z_m = \Delta z + \frac{\Delta v^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta P_{fr}}{\rho \cdot g} \quad (5)$$

o unde Z_m este înălțimea manometrică a sistemului.

o Sensul fizic al acestei mărimi este echivalentul în presiune (înălțime coloană de lichid) al energiei care trebuie transferată fluidului de către pompa sau grupul de pompe care deservesc sistemul.

ÎNĂLȚIMEA MANOMETRICĂ



Pompa va trebui să transfere lichidului energia necesară trecerii sale din vasul inferior (1) în cel superior (2), adică:

ÎNĂLȚIMEA MANOMETRICĂ

- o energia necesară măririi vitezei lichidului de la valoarea v_1 la intrare în conducta de aspirație la valoarea v_2 la ieșire din conducta de refulare. Dacă ambele conducte au același diametru interior, viteza lichidului în conducta de aspirație va fi tot v_2 ;
- o energia necesară măririi presiunii statice a lichidului de la valoarea P_1 , deasupra lichidului în spațiul de aspirație, la valoarea P_2 , deasupra lichidului în spațiul de refulare;
- o energia necesară ridicării lichidului de la cota z_1 la cota z_2 ;
- o energia necesară învingerii rezistențelor prin frecare și a rezistențelor hidraulice locale pe traseul pe care se deplasează lichidul.

ÎNĂLȚIMEA GEOMETRICĂ

o Pentru sistemul din fig., ec. (5) devine:

$$Z_m = z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{\Delta P_{fr}}{\rho \cdot g} \quad (6)$$

în care diferența:

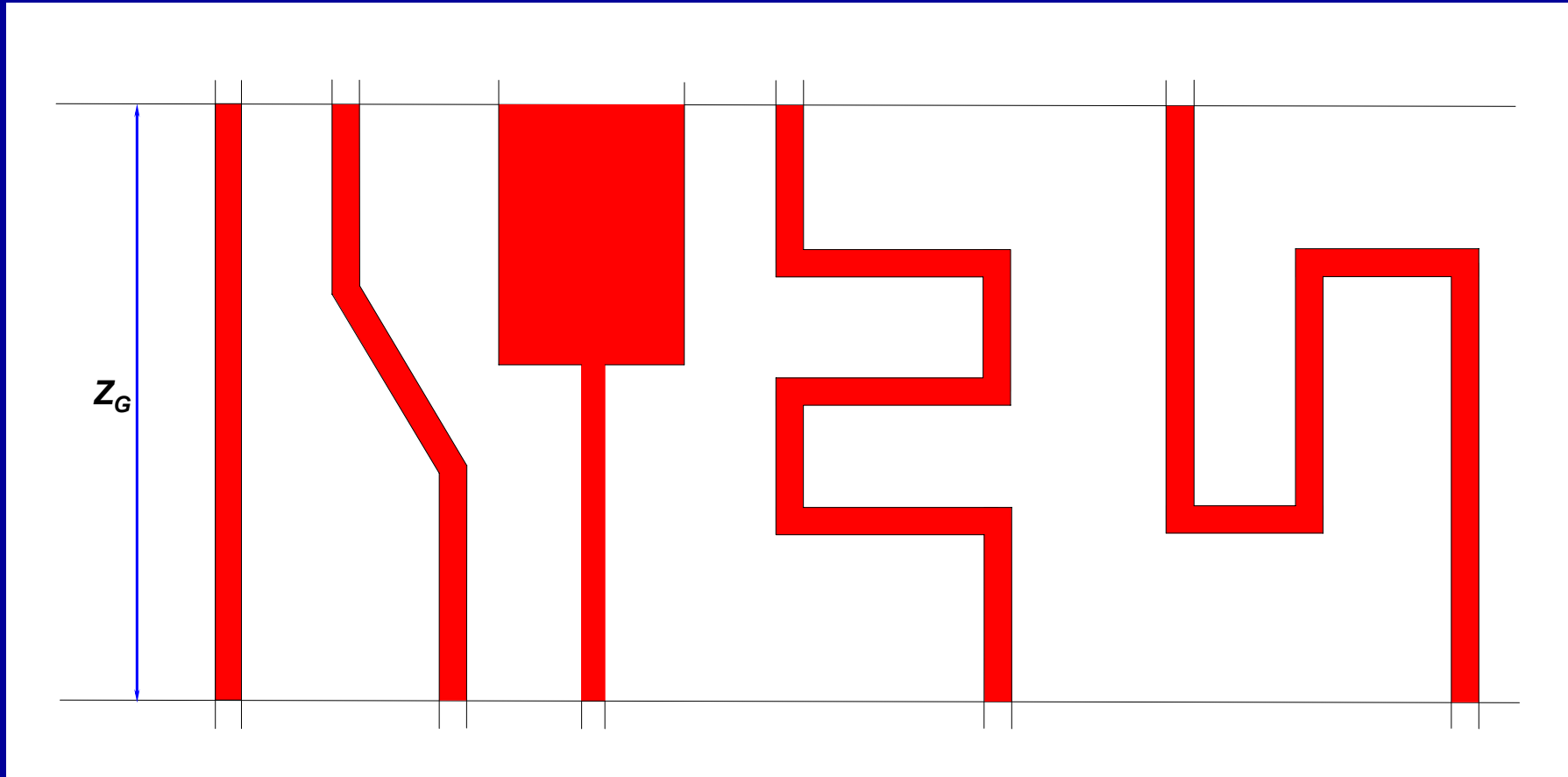
$$Z_G = z_2 - z_1 \quad (7)$$

poartă denumirea de **înălțime geometrică** și este înălțimea pe verticală până la care trebuie ridicat lichidul.

ÎNĂLȚIMEA GEOMETRICĂ

- o Această înălțime depinde de modul în care sunt amplasate utilajele, respectiv de distanța pe verticală între cele două puncte.
- o Aceeași înălțime geometrică va produce presiuni hidrostatice egale, indiferent de configurația conductei dintre cele 2 puncte.

ÎNĂLȚIMEA GEOMETRICĂ



Ilustrarea relației dintre înălțimea geometrică și presiunea hidrostatică

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Dacă unei pompe în funcțiune i se măsoară presiunea statică a lichidului la intrarea în pompă, P_a , presiunea statică a lichidului la ieșirea din pompă, P_r , diferența pe verticală între punctele de măsură a presiunilor, Z_o , viteza lichidului la intrarea în pompă, v_a și viteza medie a lichidului la ieșire din pompă, v_r , energia transferată efectiv lichidului se poate scrie, în termeni de înălțimi:

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

$$Z_{me} = \frac{P_r - P_a}{\rho \cdot g} + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2 \cdot g} + Z_0 \quad (8)$$

unde Z_{me} este **înălțimea manometrică efectivă** a pompei.

- o Aceasta nu conține termenul corespunzător energiei transferate lichidului pentru învingerea frecărilor și șocurilor acestuia în corpul pompei.

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Luând în considerare această energie prin termenul ΔP_p , ecuația (8) devine:

$$Z_{mt} = \frac{P_r - P_a}{\rho \cdot g} + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2 \cdot g} + Z_0 + \frac{\Delta P_p}{\rho \cdot g} \quad (9)$$

în care Z_{mt} poartă denumirea de **înălțime manometrică teoretică** a pompei.

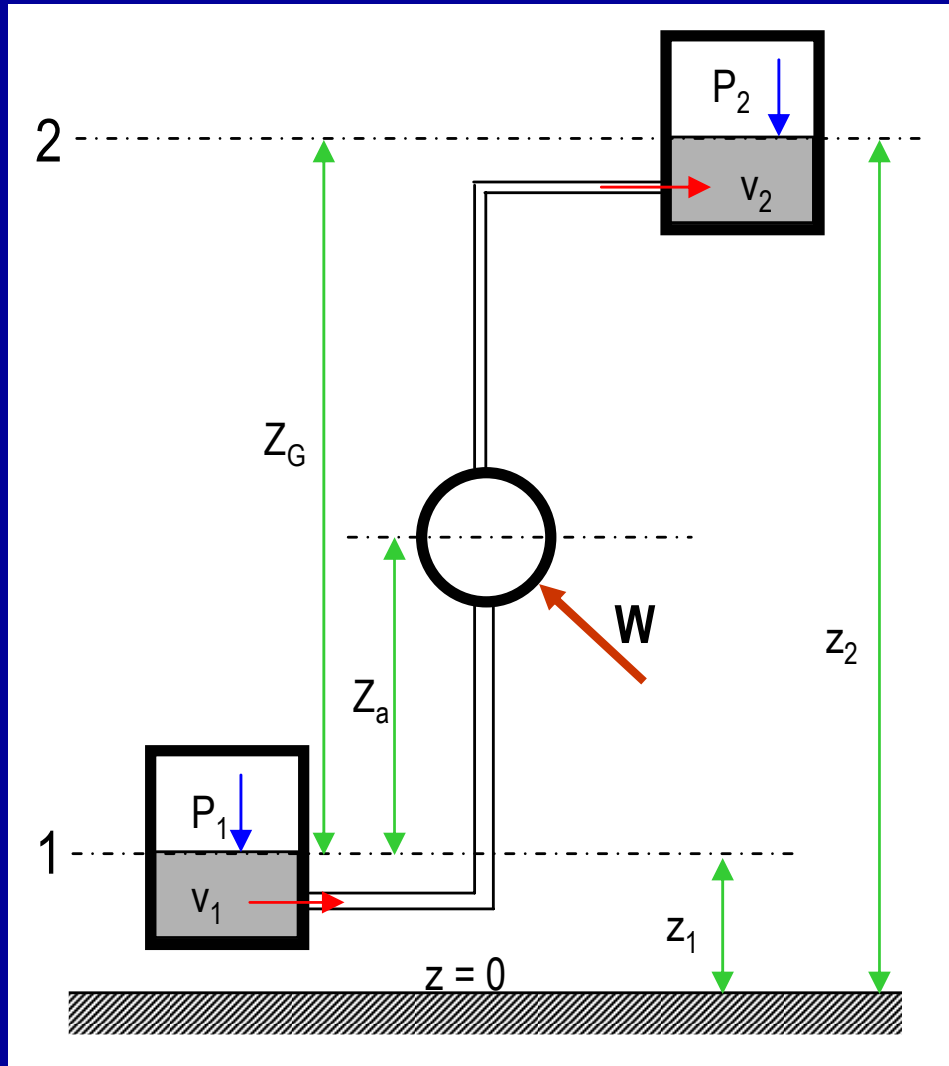
- o **Randamentul hidraulic** al pompei, η_h :

$$\eta_h = \frac{Z_{me}}{Z_{mt}} \quad (10)$$

ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

- o mărime deosebit de importantă pentru amplasarea pompei în sistem
- o Pt. calculul înălțimii de aspirație, Z_a , se scrie bilanțul energetic între nivelul lichidului în rezervorul de aspirație (punctul 1 din fig.) și cota axului racordului de aspirație (centrul pompei din fig.):

ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE



$$\begin{aligned} \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + z_1 &= \\ &= \frac{P_{asp}}{\rho \cdot g} + \frac{v_{asp}^2}{2 \cdot g} + \\ &+ (z_a + z_1) + \frac{\Delta P_{fasp}}{\rho \cdot g} \end{aligned}$$

(11)

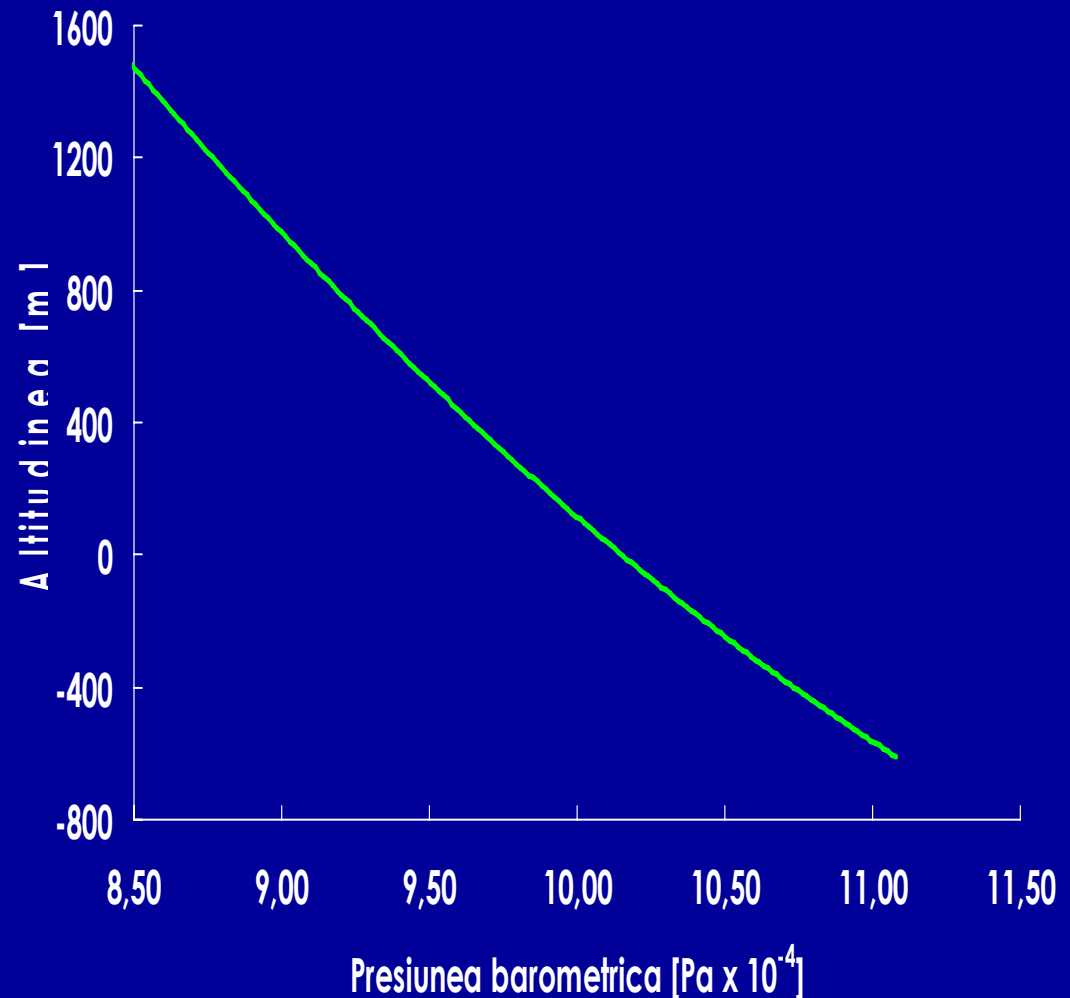
ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

In ec. (11):

- o P_{asp} = presiunea statică a lichidului în corpul pompei când se realizează aspirația;
- o v_{asp} = viteza medie de deplasare a lichidului în corpul pompei;
- o ΔP_{fasp} = pierderea de presiune prin frecare și rezistențe locale pe porțiunea dintre spațiul de aspirație și intrarea în pompă.

ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

- o Dacă spațiul de aspirație este deschis, P_1 este tocmai presiunea barometrică P_b exercitată la suprafața lichidului.
- o Aceasta este funcție de altitudinea amplasamentului (tab. 4.1 – Trsp. fluidelor).



ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

- o Presiunea P_{asp} a lichidului în corpul pompei când se realizează aspirația nu trebuie să fie mai mică decât presiunea de vapori a lichidului, P_{vap} , la temperatura la care se face aspirația (tab. 4.2).
- o În caz contrar, o parte din lichidul aspirat se poate transforma în vapori, ducând la apariția fenomenului nedorit de **cavitație**.

ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

- o Înlocuind în (11) P_1 cu P_b și P_{asp} cu P_{vap} și explicitând înălțimea de aspirație, se obține:

$$Z_a = \frac{P_b}{\rho \cdot g} - \frac{P_{vap}}{\rho \cdot g} - \frac{\Delta P_{fasp}}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2 - v_{asp}^2}{2 \cdot g} \quad (12)$$

- o De obicei, termenul cinetic din (12) are valoare mică și poate fi neglijat.

ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

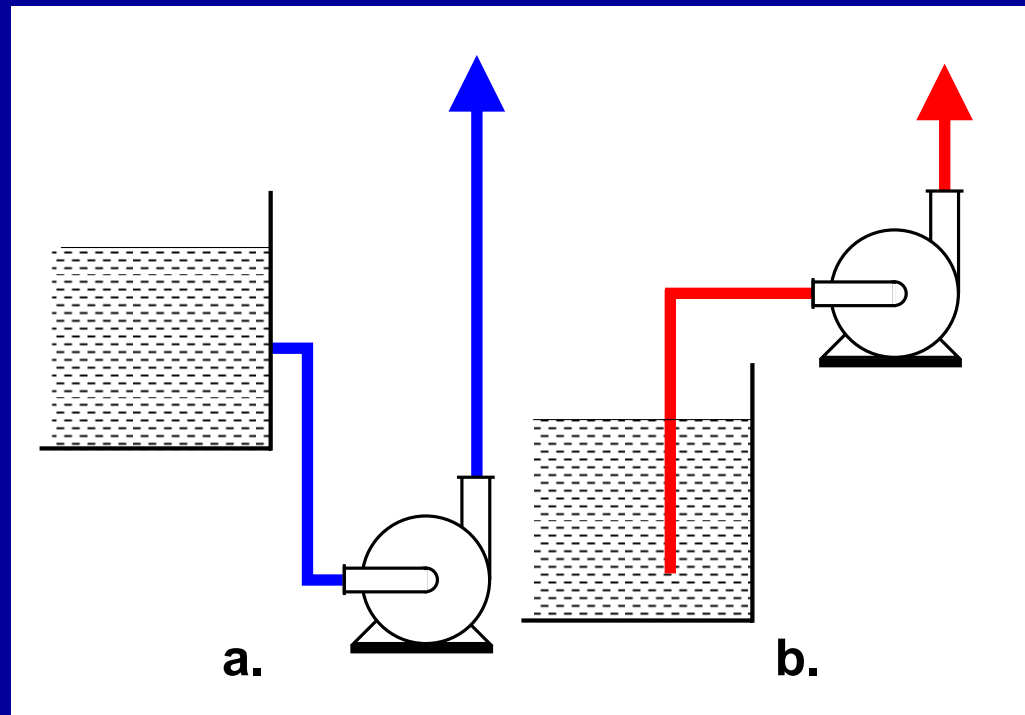
- o În practică, Z aspirație se calculează din condiția derivată din ecuația (12):

$$Z_a \leq \frac{P_b - P_{vap} - \Delta P_{fasp}}{\rho \cdot g} \quad (13)$$

- o Pentru majoritatea lichidelor, când aspirația se face la 288 - 293 K (15 - 20 °C), înălțimea de aspirație este mai mică de 6 m.

ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

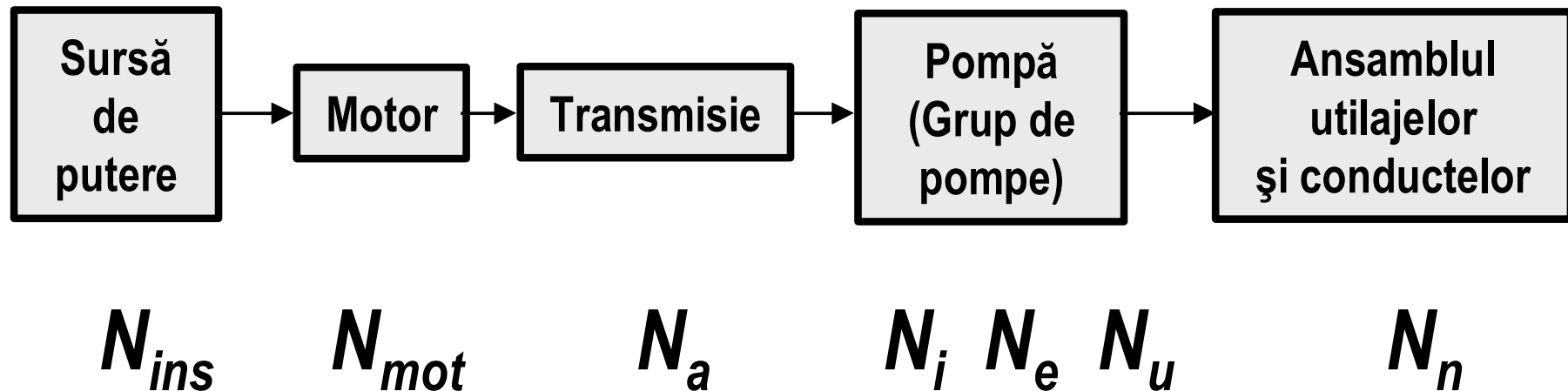
- o Dacă în condițiile în care se face aspirația rezultă din calcul $Z_a < 0$, pompa se va amplasa sub nivelul lichidului din vasul de aspirație, pentru ca lichidul să curgă liber în pompă (a).



ÎNĂLȚIMEA DE ASPIRAȚIE

- o Când lichidul se găsește la nivel mai adânc decât înălțimea de aspirație, se folosesc pompe speciale (numite pompe **submersibile** sau **pompe imersate**) cu electromotorul închis etanș, introdus împreună cu pompa în lichid.
- o La capătul conductei de aspirație se montează un sorb cu supapă. Capătul inferior al conductei trebuie să fie la cel puțin 0,5 m sub nivelul apei din rezervor și la cel puțin 0,5 m distanță de fund.

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR



PUTEREA ȘI RANDAMENTUL

N_{ins} = puterea instalată a sistemului de acționare;

o N_{mot} = puterea motorului;

o N_a = puterea de antrenare;

o N_i = puterea indicată;

o N_e = puterea efectivă;

o N_u = puterea utilă;

o N_n = puterea necesară.

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Raportând două câte două puterile, se definesc următoarele **randamente**:
 - **randamentul transmisiei** dintre motor și pompă, $\eta_{tr} = N_a / N_{mot}$. Acesta ține seama de pierderile de energie determinate de sistemul de transmisie;
 - **randamentul mecanic al pompei**, $\eta_m = N_i / N_a$, ține seama de pierderile de energie datorate frecării subansamblurilor în mișcare (arbore și lagăre, piston și cilindru, supape și ghidaje, rotor și carcasă etc.);

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- **randamentul hidraulic al pompei**, $\eta_h = N_e / N_i$, ține seama de pierderile de energie prin frecarea și șocurile lichidului în pompă;
- **randamentul volumic al pompei**, η_v , ține seama de consumul suplimentar de energie pentru a acoperi pierderile de debit. Se poate scrie și:
 $\eta_v = N_u / N_e$;

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o **randamentul total al pompei, η_p** , este dat de produsul dintre randamentul mecanic, hidraulic și volumic al pompei:

$$\eta_p = \eta_m \cdot \eta_h \cdot \eta_v$$

- o **randamentul total al agregatului de pompare, η_T** , se calculează ca produs între randamentul pompei, randamentul transmisiei și randamentul motorului:

$$\eta_T = \eta_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_{mot}$$

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Puterea necesară se calculează pe baza înălțimii manometrice și a debitului volumic (m_v) de lichid transportat prin sistem:

$$N_n = \frac{Z_m \cdot \rho \cdot g \cdot m_v}{1000} \quad [\text{kW}] \quad (14)$$

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Puterea de antrenare se calculează după alegerea pompei, ținând cont de debitul volumic real (m_v), înălțimea manometrică efectivă (Z_{me}) și randamentul η_p :

$$N_a = \frac{Z_{me} \cdot \rho \cdot g \cdot m_v}{1000 \cdot \eta_p} \quad [\text{kW}] \quad (15)$$

- o Dacă pompa aleasă nu satisface condiția: $Z_{me} \geq Z_m$ și/sau cerințele de debit, atunci fie se leagă în serie sau în paralel mai multe pompe, fie se alege un alt tip de pompă.

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Puterea motorului se calculează luând în considerare randamentul total al agregatului de pompare:

$$N_{mot} = \frac{Z_{me} \cdot \rho \cdot g \cdot m_v}{1000 \cdot \eta_T} \quad [\text{kW}] \quad (16)$$

RELAȚII ȘI MĂRIMI CARACTERISTICE ÎN TRANSPORTUL LICHIDELOR

- o Puterea instalată este mai mare decât puterea motorului, pentru a asigura o rezervă în caz de supraîncărcare:

$$N_{ins} = \beta \cdot N_{mot} \quad [\text{kW}] \quad (17)$$

Puterea necesară [kW]	< 1	1 - 5	5 - 50	> 50
Factor de instalare β	2 - 1,50	1,50 - 1,20	1,20 - 1,15	1,10

CLASIFICAREA POMPELOR DUPA PRINCIPIUL CONSTRUCTIV

- o Fara elemente mobile:
 - Sifonul
 - Montejusul
 - Gaz-liftul (pompa Mammoth)
 - Injectoare, ejectoare
- o Cu organe principale in miscare:
 - Pompe volumice
 - Cu miscari alternative (cu piston)
 - Rotative
 - Pompe centrifuge

APLICAȚIA 1

Manometrul de pe conducta de refulare a unei pompe, care transportă 8,4 m³ de apă pe minut indică o presiune de 3,8 at. Vacuummetrul fixat pe conducta de aspirație indică un vid de 21 cm Hg. Distanța pe verticală între locul de fixare a manometrului și vacuummetrului este 410 mm. Diametrul conductei de aspirație este de 350 mm, iar a celei de refulare 300 mm. Să se determine înălțimea manometrică efectivă a pompei.

$$Z_{me} = \frac{P_r - P_a}{\rho \cdot g} + \frac{v_r^2 - v_a^2}{2 \cdot g} + Z_0$$

APLICAȚIA 2

30 t/h nitrobenzen la 20 °C sunt transvazate cu o pompă dintr-un rezervor la presiune atmosferică într-un reactor, unde se menține o suprapresiune de 0,1 at. Conducta, din țeavă de oțel cu diametru 89 x 4 mm, are o coroziune neînsemnată. Lungimea întregii conducte, inclusiv rezistențele locale, are 45 m. Pe conductă sunt fixate: o diafragmă ($d_0 = 51,3$ mm), două vane și 4 curbe de 90° cu raza de curbură $R_0 = 160$ mm. Înălțimea de ridicare a lichidului este de 15 m. Să se găsească puterea consumată de pompă și puterea instalată, admitând randamentul total al acesteia egal cu 0,65.

$$N_{mot} = \frac{m_V \cdot \rho \cdot g \cdot Z_{me}}{1000 \cdot \eta} = \frac{m_V \cdot \Delta p_{total}}{1000 \cdot \eta};$$
$$N_{ins} = \beta \cdot N_{mot}$$

Calculul puterii pompei

$$N = \frac{M_v \cdot \Delta P_{\text{tot}}}{1000 \cdot \eta} [\text{kW}] \text{ sau } N = \frac{M_v \cdot \rho \cdot g \cdot H_m}{1000 \cdot \eta} [\text{kW}]$$

$$N_{\text{inst}} = \beta \cdot N$$



$$\Delta P_{\text{tot}} = \Delta P_G + \Delta P_S + \Delta P_D + \Delta P_F$$



Caderea de presiune totala



Presiunea necesara pt. ridicarea lichidului pe verticala



Dif. de P intre spatiul de refulare si cel de aspiratie



P cons. pt. crearea vitezei



Pierderile de presiune prin frecare

Calculul puterii pompei

$$\Delta P_G = \rho \cdot g \cdot H_G;$$

$$\Delta P_S = P_{refulare} - P_{aspiratie};$$

$$\Delta P_D = \frac{v^2}{2} \cdot \rho;$$

$$\Delta P_F = \Delta P_{lin} + \Delta P_{rhl};$$

$$\Delta P_{lin} = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho;$$

$$\Delta P_{rhl} = \sum \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho$$

