

SEDIMENTAREA

SEDIMENTAREA

- o Separarea suspensiilor lichid – solid în fazele componente se poate face prin:
- o sedimentare,
- o filtrare,
(ambele putând avea loc atât în câmp gravitațional, cât și în câmp centrifugal)
- o presare (stoarcere).

SEDIMENTAREA

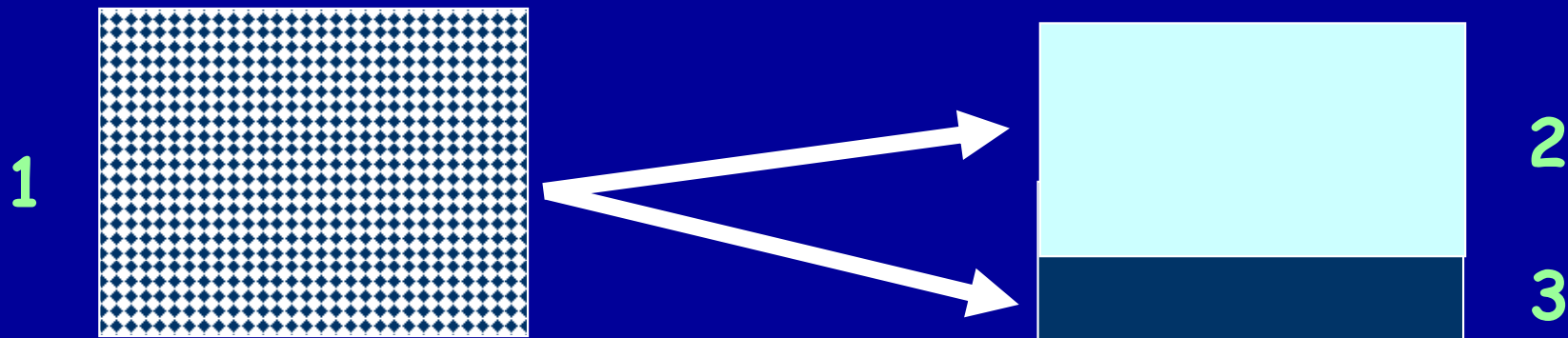
- o **Sedimentarea** este operația prin care fazele unui amestec eterogen sunt separate prin acțiunea diferențiată a unui câmp de forțe (gravitaționale sau centrifuge) asupra fazelor de densități diferite.
- o După cum faza dispersă are densitate mai mare sau mai mică decât faza continuă, particulele dispersate se depun sau se ridică.

SEDIMENTAREA

- o Particulele discrete, grăunțoase, cum sunt pietrișul sau grăunțele de nisip sedimentează independent una de cealaltă.
- o Particulele floconoase sedimentează după un alt mecanism, dependent de concentrația acestora.
 - La concentrații reduse, viteza de sedimentare crește pe măsura creșterii dimensiunilor flocoanelor, ca rezultat al fenomenului de aglomerare; aceasta este **sedimentarea floculantă**.
 - La concentrații mari, cantitatea ridicată de flocoane din apă provoacă întârzierea sedimentării, cu formarea unei interfețe vizibile între masa de nămol și supernatantul limpede; aceasta este **sedimentarea frânată**.

SEDIMENTAREA

1. **suspensie** = sistemul eterogen lichid - solid inițial;
2. **decantat** = lichidul mai mult sau mai puțin limpede, rezultat după sedimentare,
3. **sediment** sau **precipitat** = reziduul conținând faza solidă îmbibată cu lichid.



SEDIMENTAREA



suspensie



decantat

sediment



decantare

SEDIMENTAREA

- o **decantare** = îndepărtarea lichidului (decantatului, supernatantului) după sedimentare.
- o **clarificare** sau **limpezire** = eliminarea fazei solide dintr-o suspensie, prin sedimentare; se aplică, în special, la sedimentarea suspensiilor grăunțoase, diluate, ale căror granule sedimentează independent.
- o **îngroșare** = concentrarea, prin sedimentare, a fazei solide și se referă, de obicei, la precipitate negrăunțoase care conțin încă mult lichid.

SEDIMENTAREA

- o După cum ambele faze sunt valoroase sau numai una dintre ele, termenul propriu pentru denumirea operației de separare este:
- o **sedimentare** (când ambele faze sunt valoroase),
- o **îngroșare** (când faza solidă este faza valoroasă),
- o **clarificare** sau **limpezire** (când se urmărește obținerea, cât mai curată, a fazei lichide).

SEDIMENTAREA

- o Sedimentarea este o operație complexă, fiind influențată de un număr mare de factori.
- o O sedimentare bună trebuie să obțină un decantat cât mai limpede și un sediment cât mai concentrat în fază solidă, într-un timp cât mai scurt și cu investiții minime.

Factorii care influențează sedimentarea

Grupa de factori	Factorul de influență
Factori referitori la suspensie	- concentrația fazei solide (raportul solid - lichid) - cantitatea (debitul) suspensiei - vârsta suspensiei, din momentul formării ei - temperatura suspensiei
Factori referitori la faza lichidă	- natura fazei lichide - densitatea - viscozitatea - concentrația în electroliți

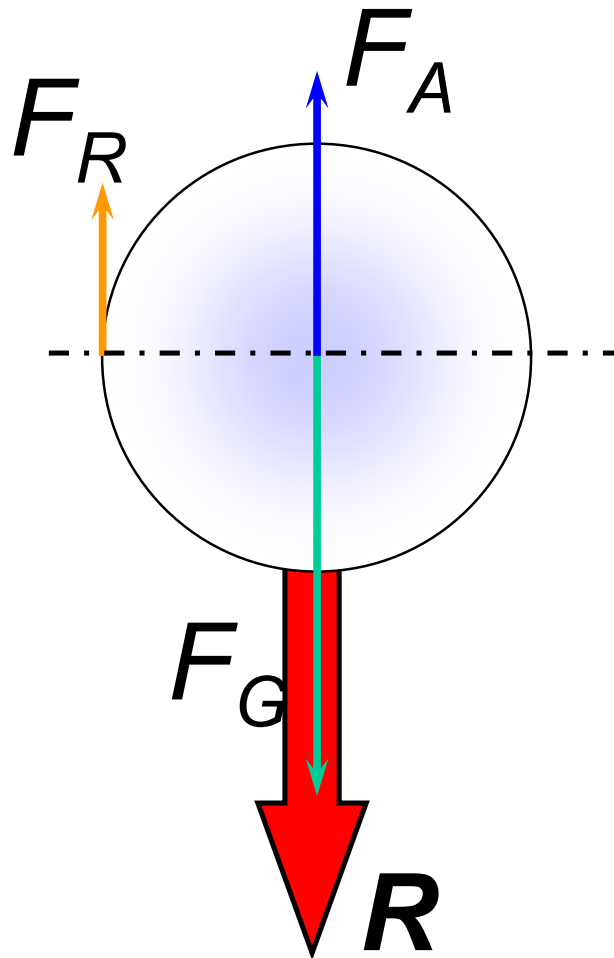
Grupa de factori	Factorul de influență
Factori referitori la faza solidă	- natura fazei solide - densitatea - granulometria - structura (grăunțoasă, negrăunțoasă, coloidală, mixtă) - tendința de aglomerare
Factori referitori la operația de sedimentare	- viteza de sedimentare, curba de sedimentare - durata sedimentării - adaosuri - funcționarea continuă, discontinuă sau mixtă - modul de evacuaare a sedimentului (nămolului) - tipul decantorului

Grupa de factori	Factorul de influență
Factori referitori la produsele rezultate	- concentrația fazei solide în decantat - concentrația fazei lichide în sediment

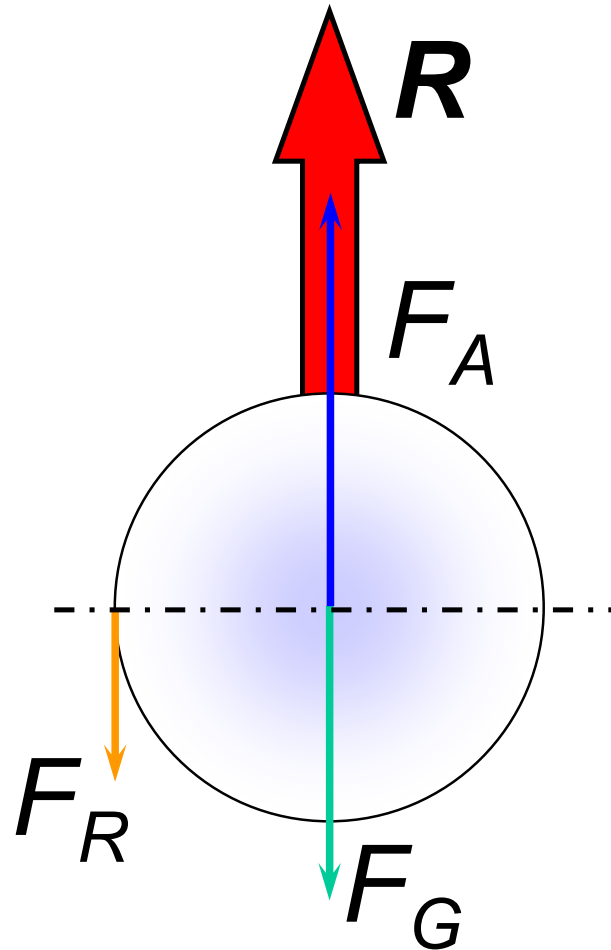
Viteza de sedimentare

- o Sedimentarea suspensiilor diluate, cu particule grăunțoase, este un proces simplu, ușor de descris matematic.
- o Fiecare particulă sedimentează independent, viteza de sedimentare a granulelor fiind funcție de mărimea acestora.

Viteza de sedimentare



$$1) \rho_p > \rho_l$$



$$2) \rho_p < \rho_l$$

Forțe care
acționează asupra
unei particule
sferice imersate
într-un lichid

Viteza de sedimentare

- o Dacă particula este sferică, expresiile celor trei forțe care acționează asupra sa vor avea forma:

$$F_G = m_p g = \frac{\pi d_p^3}{6} \rho_p g \quad (3)$$

$$F_A = m_l g = \frac{\pi d_p^3}{6} \rho_l g \quad (4)$$

$$F_R = \xi \frac{v^2}{2} \rho_l \frac{\pi d_p^2}{4} \quad (5)$$

m_p = masa particulei [kg],
 m_l = masa volumului de lichid dislocuit de particulă [kg],
 d_p = diametrul particulei [m],
 ρ_p = densitatea particulei [kg/m³],
 ρ_l = densitatea lichidului [kg/m³],
 g = accelerația gravitațională [m/s²],
 ξ = coeficientul de rezistență al mediului [adimensional],
 v = viteza de deplasare a particulei [m/s].

Viteza de sedimentare

- o diferența ($F_G - F_A$) rămâne constantă pe toată durata sedimentării;
- o forța F_R , fiind funcție de viteza mișcării accelerate a particulei, crește până când rezistența mediului egalează greutatea particulei;
- o în acest moment forțele se echilibrează, iar mișcarea particulei devine uniformă, cu viteză constantă, v_0 . Această viteză poartă denumirea de **viteză de sedimentare**.

Viteza de sedimentare

- o Expresia acesteia se stabilește punând condiția de echilibru a forțelor:

$$F_G - F_A = F_R \quad (6)$$

- o Înlocuind v cu v_0 și substituind (3) ÷ (5) în (6) se obține expresia vitezei de sedimentare:

$$v_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{\xi} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_l) \cdot d_p}{\rho_l}} \quad (7)$$

Viteza de sedimentare

- o Valoarea coeficientului ξ depinde de regimul de curgere, respectiv de valoarea criteriului Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{\rho_l \cdot v \cdot d_p}{\mu_l} \quad (8)$$

- o Dependența lui ξ de Re este de forma:

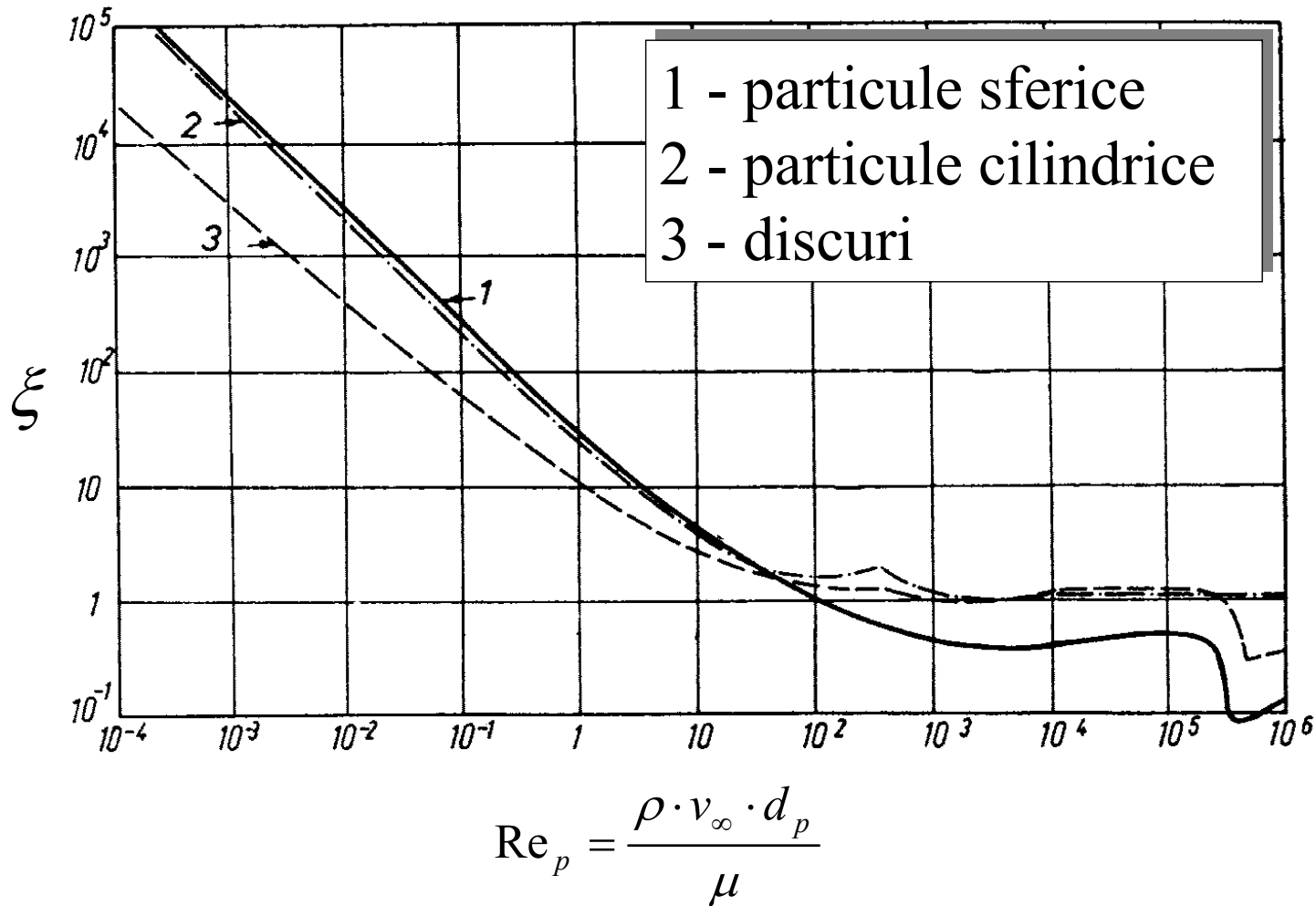
$$\xi = a \cdot \text{Re}^{-n} \quad (9)$$

- o coeficienții a și n fiind funcție de regimul de curgere

Expresia coeficientului ξ funcție de condițiile hidrodinamice

Caracterul curgerii	Valoarea criteriului Re	Domeniul de sedimentare	a	n	Expresia coeficientului ξ
Laminar	$10^{-4} < Re < 1$	Stokes	24	1	$\xi = 24 \cdot Re^{-1}$
Intermediar	$1 < Re < 10^3$	Allen	18,5	0,6	$\xi = 18,5 \cdot Re^{-0,6}$
Turbulent	$10^3 < Re < 10^5$	Newton	0,44	0	$\xi = 0,44$

Dependența coeficientului de rezistență ξ de Re_p



Viteza de sedimentare

- o Relațiile din tabel împreună cu ecuația (7) permit calculul mișcării descendente a particulelor solide care se depun într-un decantor precum și calculul mișcării ascendente a bulelor de aer sau a picăturilor de ulei care se ridică la suprafața apei sau a unui alt lichid.

Viteza de sedimentare

- o Pentru majoritatea cazurilor, expresia vitezei de sedimentare se calculează după legea lui **Stokes** (pt. curgerea laminară a lichidului în jurul unei particule solide, la $Re < 1$):

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_l)}{\mu} \cdot d_p^2 \cdot g \quad (10)$$

Viteza de sedimentare

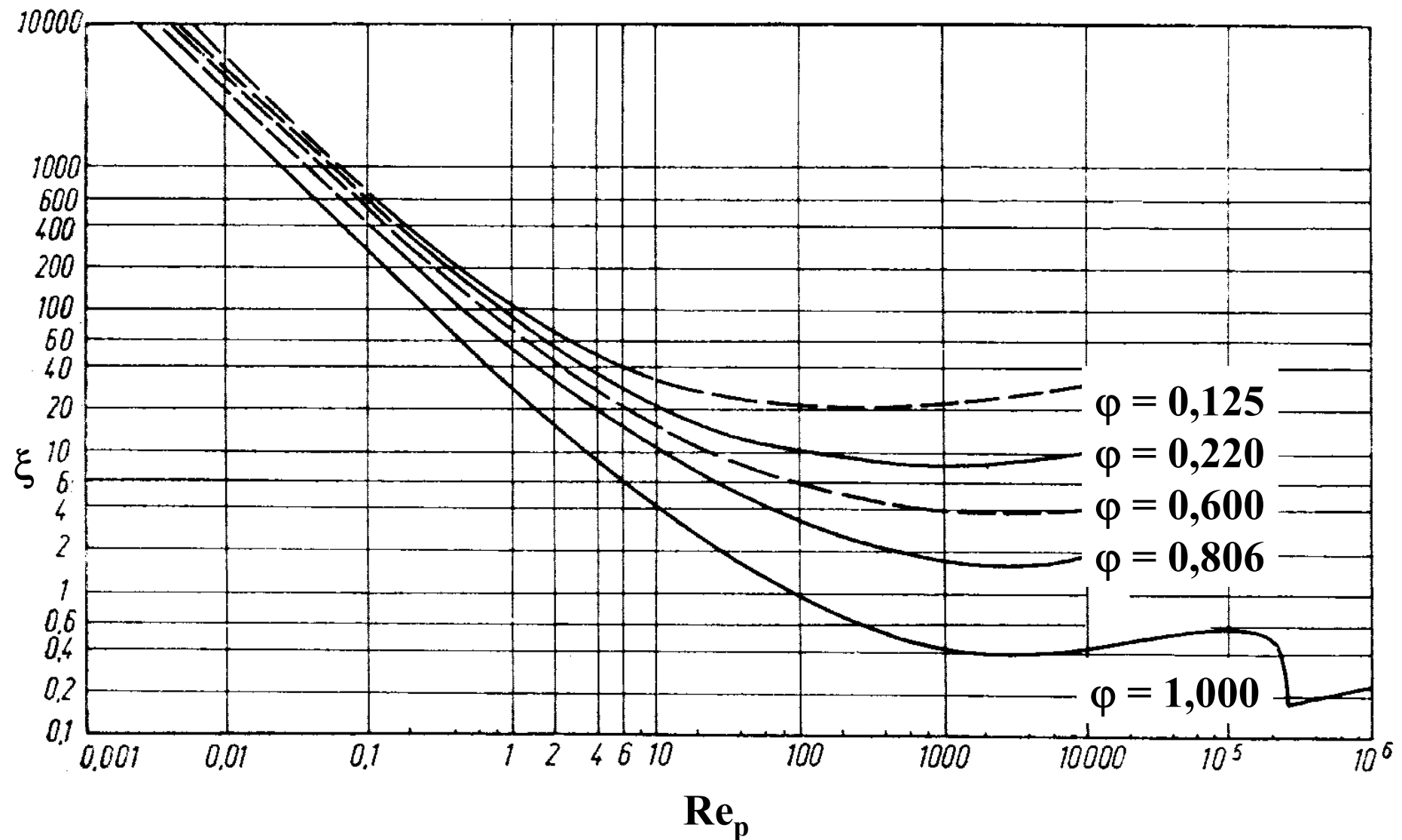
- o viteza de sedimentare este direct proporțională cu densitatea particulelor și cu pătratul diametrului acestora și este invers proporțională cu viscozitatea fazei lichide.
- o la sedimentarea independentă a particulelor discrete, cel mai rapid se depun particulele grele și cu diametru mare.

Viteza de sedimentare

- o Pentru sedimentarea particulelor de altă formă decât cea sferică, coeficientul de rezistență ξ din expresia vitezei de sedimentare se corectează prin intermediul factorului de sfericitate, φ :

$$\varphi = \frac{\text{volumul unei sfere avand aceeași arie cu particula}}{\text{volumul particulei}} \quad (11)$$

Influența factorului de sfericitate φ asupra coeficientului de rezistență a mediului, ξ



Valorile factorului de sfericitate ϕ pentru unele materiale

Materialul	ϕ	Materialul	ϕ
Nisip	2	Ghips	4
Cărbune	2,25	Lamele de grafit	22
Talc	2,25	Mică	170

o În ecuația (7) termenul ξ se înlocuiește cu produsul $\xi \cdot \phi$.

Ecuații criteriale

- o Pentru descrierea criterială a procesului de sedimentare a particulelor sferice (solide sau lichide) într-un mediu nelimitat, în repaus, se utilizează criteriile:
 - Arhimede, Ar ;
 - Liascenko, Li ;
 - Reynolds, Re .

$$Li = f(Ar)$$

Ecuatii criteriale

o Pentru regimul **LAMINAR**:

- $Re < 0,2$
- $Ar < 3,6$
- $Li < 2 \cdot 10^{-3}$

o Sedimentare particule sferice in mediu lichid:

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\mu_m} \cdot d_p^2 \cdot g \quad (12 a)$$

o Sedimentare particule sferice in mediu gazos:

$$v_0 = \frac{1}{18} \cdot \frac{\rho_p}{\mu_m} \cdot d_p^2 \cdot g \quad (12 b)$$

Ecuatii criteriale

o Criteriul ARHIMEDE:

$$Ar = Ga \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_m} = \frac{Re^2}{Fr} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\rho_m} = \frac{(\rho_p - \rho_m) \cdot \rho_m}{\mu_m^2} \cdot d_p^3 \cdot g \quad (12 \text{ c})$$

o Criteriul ARHIMEDE pentru sedimentare in mediu gazos:

$$Ar = Ga \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_m} = \frac{Re^2}{Fr} \cdot \frac{(\rho_p - \rho_m)}{\rho_m} = \frac{d_p^3 \cdot \rho_p \cdot \rho_m \cdot g}{\mu_m^2} \quad (12 \text{ d})$$

Ecuatii criteriale

o Criteriul LIASCENKO:

$$Li = \frac{Re^2}{Ar} = \frac{Re \cdot Fr \cdot \rho_m}{\rho_p - \rho_m} = \frac{v_0^3 \cdot \rho_m^2}{\mu_m \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot g} \quad (12 e)$$

o Criteriul LIASCENKO pentru mediu gazos:

$$Li = \frac{Re^2}{Ar} = \frac{Re \cdot Fr \cdot \rho_m}{\rho_p} = \frac{v_0^3 \cdot \rho_m^2}{\mu_m \cdot \rho_p \cdot g} \quad (12 f)$$

Ecuații criteriale

- o Algoritm de calcul:
 1. Se determina criteriul Arhimedede;
 2. Cu valoarea Ar se determina valoarea criteriului Re sau Li (din graficul din fig. 3-1)
 3. Se calculeaza viteza de sedimentare:

$$v_0 = \frac{Re \cdot \mu_m}{d_p \cdot \rho_m} \quad \text{sau} \quad v_0 = \sqrt[3]{\frac{Li \cdot \mu_m \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot g}{\rho_m^2}} \quad (12 \text{ g})$$

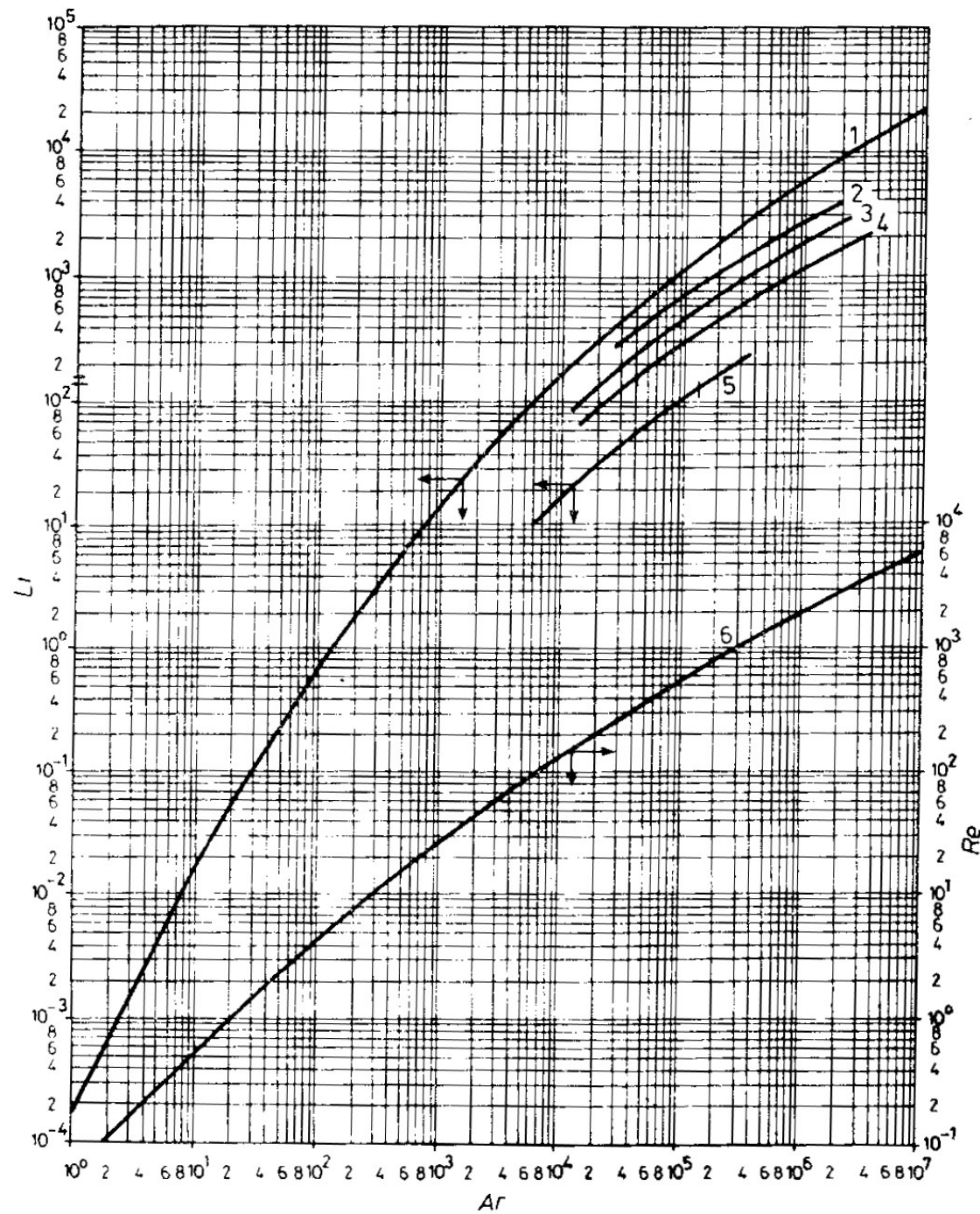


Fig. 3-1. Variația criteriilor Re și Li în funcție de criteriul Ar la sedimentarea particulelor individuale într-un mediu imobil :

1 și 6 — particule sferice ; 2 — rotunjite ; 3 — colțuroase ; 4 — alungite ; 5 — lamelare.

Ecuatii criteriale

o Pentru particule de alta forma decat cea sferica:

- in locul d_p se introduce d_{ech} : diametrul unei sfere geometrice ipotetice al carei volum V_p este egal cu volumul particulei de forma neregulata:

$$d_{ech} = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \cdot V_p} = 1,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{m_p}{\rho_p}} \quad (12 h)$$

Ecuatii criteriale

- o Daca se cunoaste viteza de sedimentare, diametrul particulei de forma sferica se determina pe cale inversa, adica se calculeaza mai intai criteriul Li cu ec. (12 e) sau (12 f):

$$Li = \frac{v_0^3 \cdot \rho_m^2}{\mu_m \cdot (\rho_p - \rho_m) \cdot g}$$

$$Li = \frac{v_0^3 \cdot \rho_m^2}{\mu_m \cdot \rho_p \cdot g}$$

- o iar cu valoarea gasita pentru Li se determina criteriul Ar (din Fig. 3-1), dupa care se calculeaza d_p din ecuatie (12 c).

Ecuații criteriale

- o Diametrul echivalent al particulelor de forma neregulată se determina (cunoscând viteza de sedimentare) astfel:
 - Se determina criteriul Li cu (12 e) sau (12 f);
 - Se afla valoarea criteriului Ar pt. particule corespunzătoare din fig. 3-1;
 - Se calculează d_{ech} din ec. (12 c) sau (12 d):

$$d_{ech} = \sqrt[3]{\frac{Ar \cdot \mu_m^2}{(\rho_p - \rho_m) \cdot \rho_m \cdot g}}$$

$$d_{ech} = \sqrt[3]{\frac{Ar \cdot \mu_m^2}{\rho_p \cdot \rho_m \cdot g}}$$

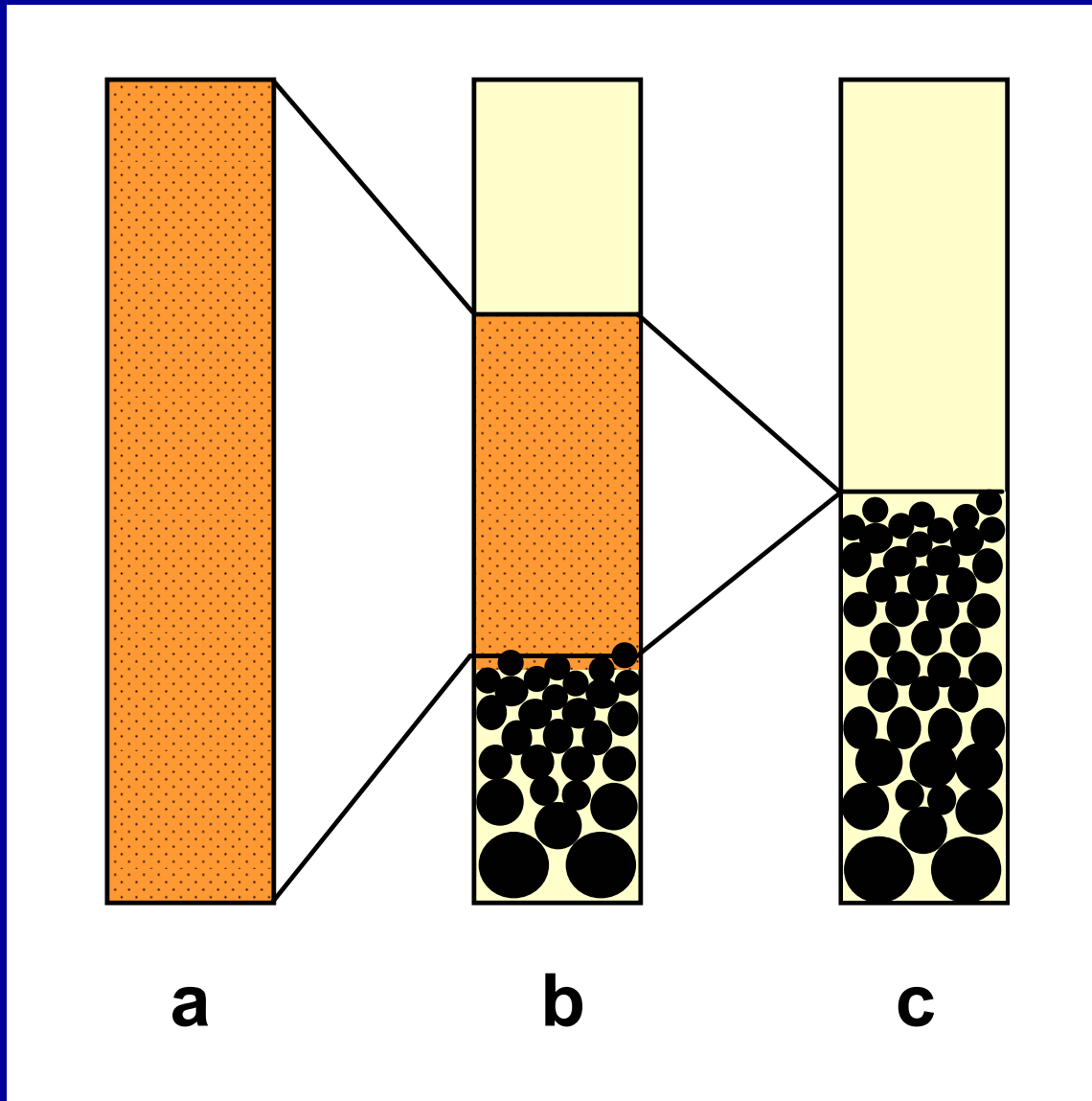
Viteza de sedimentare

- o În cazul particulelor a căror mișcare este influențată de prezența altor particule, se manifestă un efect de frânare asupra particulei considerate, fapt care conduce la micșorarea vitezei acesteia, respectiv la creșterea coeficientului de frecare.
- o Efectul este cu atât mai intens cu cât concentrația fazei solide în sistem este mai ridicată.

Mecanismul sedimentării suspensiilor grăunțoase

- o Dacă suspensia este suficient de diluată, astfel încât particulele să nu se influențeze reciproc, fiecare particulă se depune independent, cu viteza sa proprie de sedimentare.
- o La un moment oarecare al sedimentării, suspensia este formată din trei straturi:
 - un strat superior de lichid limpede sau slab tulbure,
 - un strat intermediar de suspensie având aceleași caracteristici ca și suspensia inițială,
 - un strat inferior de sediment, cu granulele mari amplasate la fundul stratului.

Mecanismul sedimentării suspensiilor grăunțoase



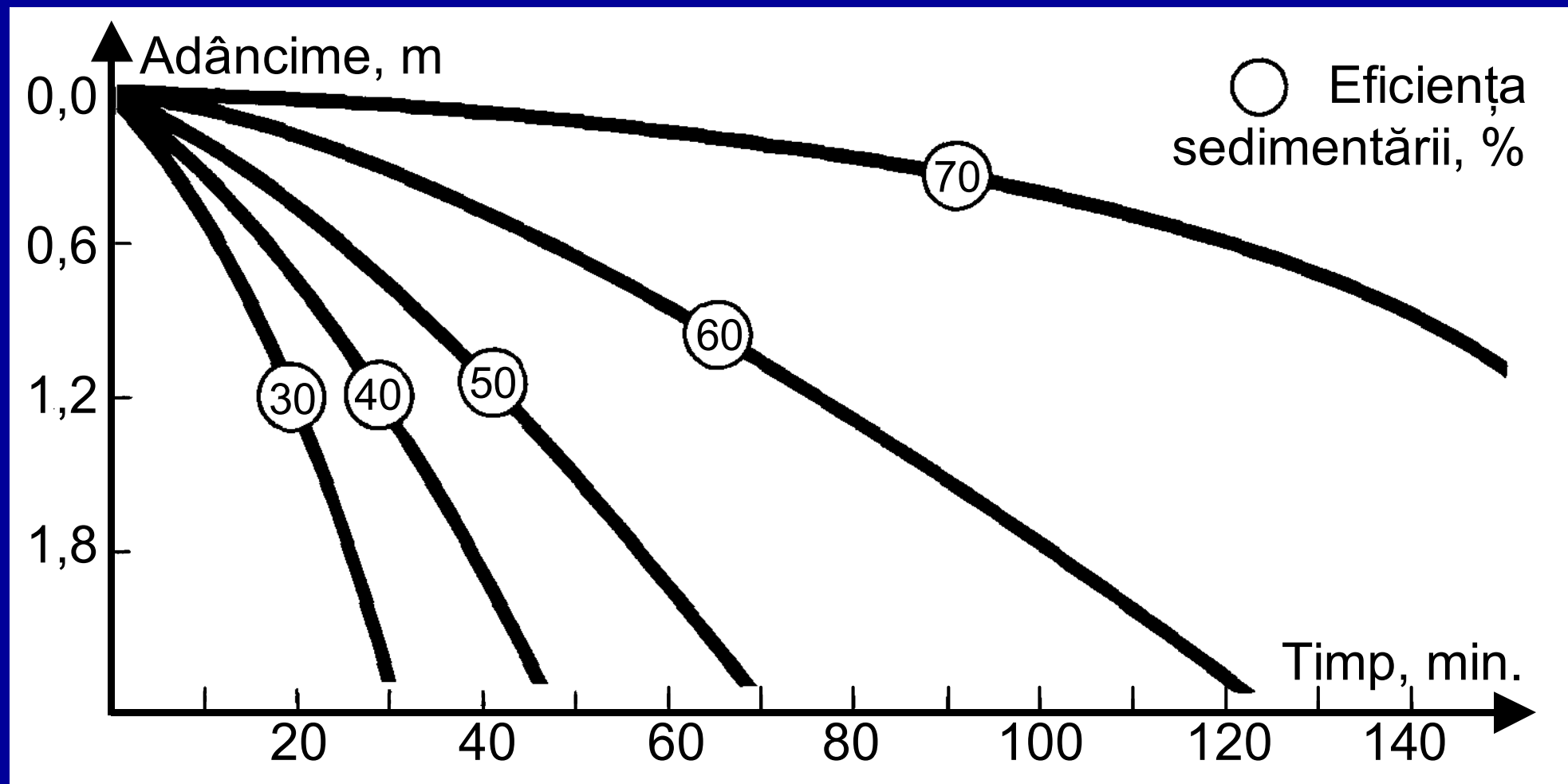
a - începutul sedimentării;
b - la un moment dat;
c - sfârșitul sedimentării

Sedimentarea floculantă

- o În timpul sedimentării floculante, flocoanele aflate în suspensie au tendința de a se aglomera, formând agregate mari, care înglobează cantități importante de apă.
- o Mărimea flocoanelor crescând, crește și viteza de sedimentare a flocoanelor.
- o Această creștere a vitezei de sedimentare ca urmare a modificării dimensiunilor flocoanelor se manifestă atunci când concentrația flocoanelor din suspensie depășește 50 mg/L.

Sedimentarea floculantă

- o Viteza de sedimentare a flocoanelor nu poate fi calculată matematic, legea lui **Stokes** neputându-se aplica unor astfel de sisteme.
- o Viteza de sedimentare pentru suspensiile alcătuite din flocoane se determină experimental, în instalații de laborator.



Efectul duratei sedimentării și a adâncimii decantorului asupra gradului de îndepărtare a flocoanelor în sedimentarea floculantă

Sedimentarea frânată

- o Cunoscută și ca **sedimentare întârziată** sau **stânjenită** (hindered settling), această formă a sedimentării se manifestă de îndată ce concentrația flocoanelor depășește o anumită limită.
- o Particulele aderă una de cealaltă, iar între lichidul supernatant și suspensie se formează o interfață vizibilă.
- o Fenomenul este caracteristic sedimentării nămolului activat și suspensiilor floculante cu concentrație mai mare de 500 mg/L.
- o Flocoanele sedimentează colectiv, influențându-se reciproc.

Sedimentarea frânată

Într-o astfel de suspensie se pot vizualiza - la un moment dat - patru straturi distincte:

- A. un strat superior de lichid limpede sau slab tulbure, a cărui grosime crește continuu;
- B. un strat de suspensie floculată, omogenă, de concentrație apropiată concentrației inițiale, a cărui grosime scade continuu;
- C. un strat de tranziție, relativ subțire și nu întotdeauna vizibil, în care concentrația fazei solide crește de la concentrația stratului precedent până la concentrația stratului următor; grosimea acestui strat se menține aproximativ constantă până spre sfârșitul sedimentării, când grosimea lui scade până la dispariție;
- D. un strat de sediment, de concentrație relativ mare, a cărui grosime crește rapid la început, după care scade lent, datorită fenomenului de tasare.

Sedimentarea frânată

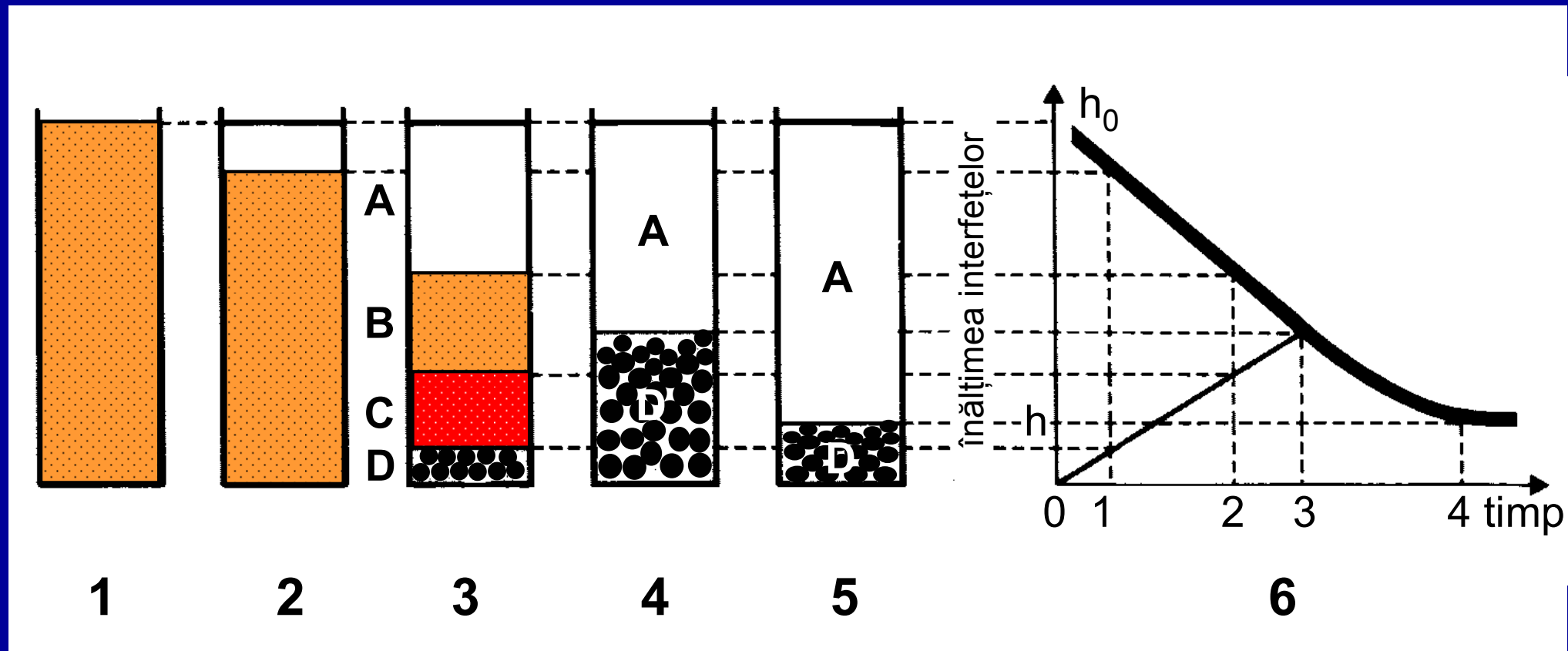


Fig. 4.9. Mecanismul sedimentării frânate:
1 – începutul sedimentării; 2, 3, 4 – faze intermediare;
5 – sfârșitul sedimentării; 6 – curba lui Kynch

Sedimentarea frânată

- o La sfârșitul sedimentării rămân numai primul și ultimul strat.
- o Variația în timp a înălțimii interfeței A-B și apoi a celei A-D este dată de către curba lui *Kynch*.

Dimensionarea bazinelor de sedimentare

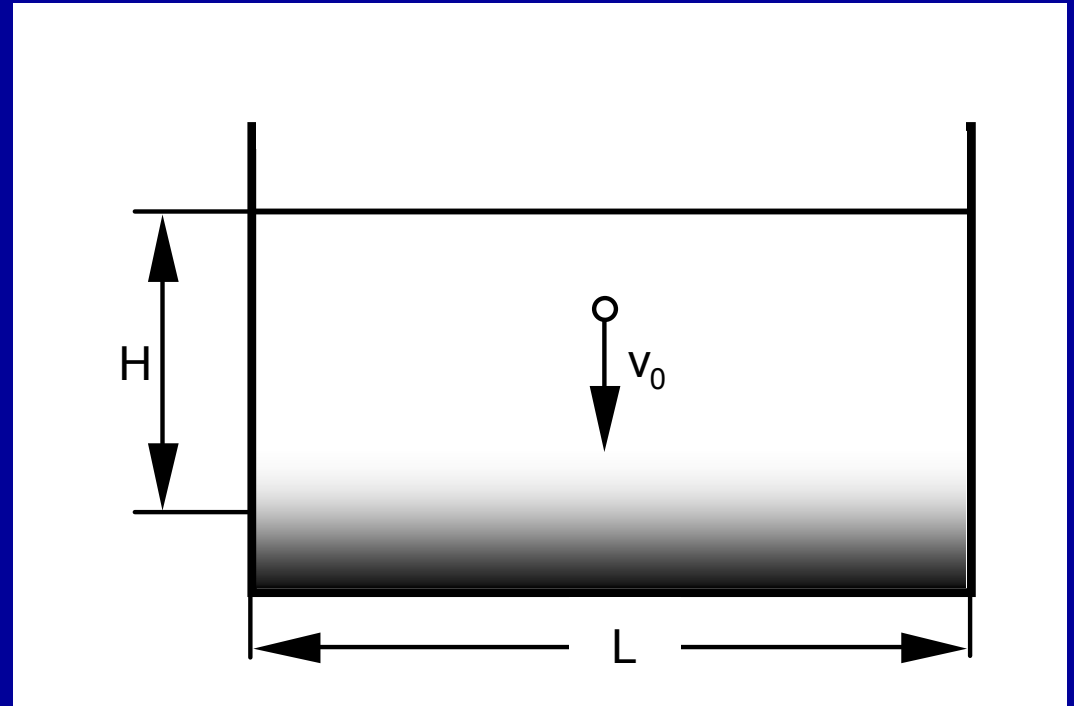
- o Dimensionarea bazinelor de sedimentare (decantoare, limpezitoare, deznisipatoare, îngroșătoare de nămol etc.) se ține cont de regimul de funcționare al acestora (discontinuu sau continuu),
- o în cazul bazinelor cu funcționare continuă sau semicontinuă se ține cont de direcția de deplasare a fazei continue (ascensională sau orizontală).

Dimensionarea bazinelor de sedimentare

- o Un parametru important în dimensionare îl reprezintă valoarea **vitezei de sedimentare**, v_0 .
- o Aceasta poate fi dedusă din legea lui **Stokes** doar când suspensiile sunt suficient de diluate, iar particulele solide sunt grăunțoase și nu formează aglomerate (la separarea pietrișului și nisipului în deznisipatoare, de ex.).
- o Pentru cazul sedimentării floculante sau al sedimentării frânate, viteza de sedimentare se determină experimental, trasându-se așa-numita **curbă de sedimentare**.

Sedimentarea discontinuă

- o Fiind dat un bazin de sedimentare paralelipipedic de lungime L și lățime l , a cărei înălțime utilă este H , timpul necesar pentru ca o particulă solidă care sedimentează cu viteza v_0 să ajungă de la suprafața suspensiei până pe stratul de sediment este dat de relația:



$$t = \frac{H}{v_0} \quad (14)$$

Sedimentarea discontinuă

- o Volumul de suspensie din bazinul de sedimentare este dat de relația:

$$V = l \cdot L \cdot H = A \cdot H \quad (15)$$

- o $A = l \times L =$ supraf. utilă a bazinului [m^2].
- o Combinand (14) cu (15) se obține expresia timpului necesar pentru sedimentare:

$$t = \frac{V}{A \cdot v_0} \quad (16)$$

Sedimentarea discontinuă

- o Pentru a putea sedimenta toate particulelor a căror viteză de sedimentare este cel puțin egală cu v_0 , suspensia trebuie să rămână în bazinul de sedimentare un timp cel puțin egal cu t .
- o Productivitatea bazinului de sedimentare, (volumul V de suspensie prelucrată), este funcție numai de A și de v_0 , fără a fi influențată de înălțimea H a bazinului:

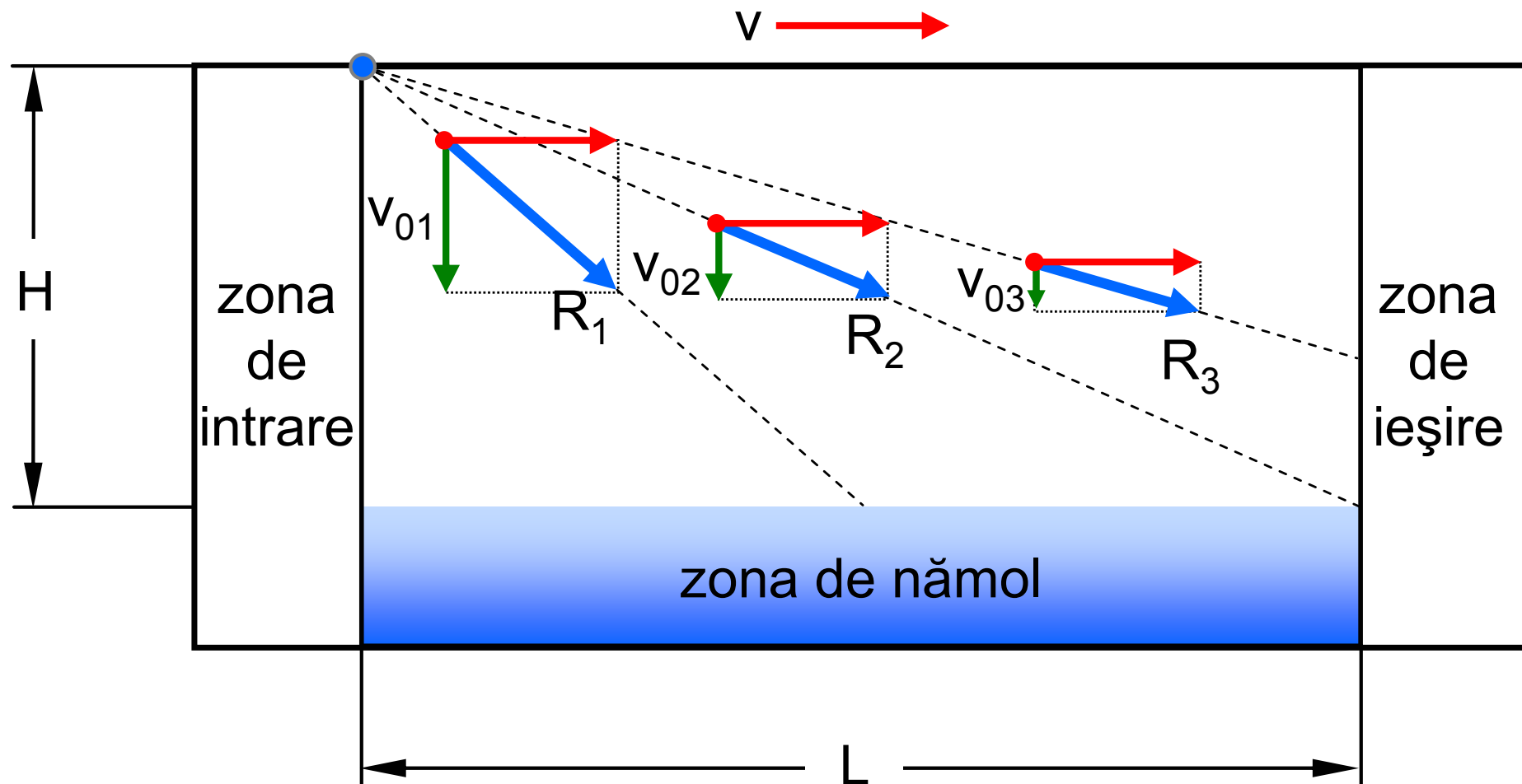
$$V = A \cdot v_0 \cdot t \quad (17)$$

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

o Se consideră un bazin paralelipipedic având patru zone:

- o zonă de intrare și distribuție a suspensiei,
- o zonă de colectare și ieșire a apei limpezite,
- o zonă de nămol,
- zona propriu-zisă de sedimentare:
 - lungimea = L ,
 - înălțimea = H ,
 - lățimea = l .

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală



Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Viteza de înaintare a suspensiei prin bazinul de sedimentare (v), este dată de ecuația debitului scrisă sub forma:

$$v = \frac{M_V}{S} = \frac{M_V}{H \cdot l} \quad [\text{m/s}] \quad (18)$$

- o M_V = debitul volumic de fază lichidă limpezită [m^3/s],
- o S = secțiunea transversală utilă a bazinului [m^2] (secțiunea de curgere).

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Viteza unei particule discrete care intră în bazin la partea superioară a zonei de sedimentare este rezultanta a două componente:

$$\vec{R}_i = \vec{v} + \vec{v}_{0i} \quad (19)$$

- o Dacă viteza de sedimentare este constantă, atunci particula se deplasează cu viteza R_i pe o traiectorie liniară descendentă, a cărei pantă este dată de raportul componentelor scalare ale vitezei rezultante:

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{v_{0i}}{v} \quad (20)$$

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

o Pentru particula care are viteza de sedimentare v_{02} :

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{v_{02}}{v} = \frac{H}{L} \quad (21)$$

traectoria particulei intersectează
suprafața orizontală a sedimentului
în interiorul zonei de sedimentare

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Toate particulele a căror viteză de sedimentare îndeplinește condiția:

$$v_{0i} \geq \frac{v \cdot H}{L} \quad (22)$$

se vor depune în interiorul zonei de sedimentare

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Traiectoriile particulelor pentru care viteza de sedimentare satisface relația:

$$v_{0i} < \frac{v \cdot H}{L} \quad (23)$$

vor intersecta suprafața orizontală a sedimentului **în afara zonei de sedimentare;**

- o Aceste particule nu sedimentează, fiind antrenate de către faza lichidă.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Productivitatea unui bazin de sedimentare orizontal care trebuie să rețină din apă particulele a căror viteză minimă de sedimentare este v_0 , va fi:

$$M_V = v \cdot H \cdot l = v_0 \cdot l \cdot L = v_0 \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (24)$$

- o Productivitatea bazinului nu depinde de înălțimea sa, ci numai de suprafața sa utilă și de viteza v_0 .

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

o Notând:

- M_{V0} debitul inițial de suspensie de concentrație C_{M0} [kg solid/m³ lichid] care intră în decantor
- M_{VS} debitul de nămol de concentrație C_{MS} [kg solid/m³ lichid] evacuat din decantor,

o Admițând că lichidul limpezit de debit M_V care părăsește decantorul nu mai conține solide în suspensie, ecuația de bilanț de masă a bazinului de sedimentare se poate scrie:

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

$$M_{V0} = M_V + M_{VS} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (25)$$

o Bilanțul fazei solide din bazin se poate scrie:

$$M_{V0} \cdot C_{M0} = M_{VS} \cdot C_{MS} \quad [\text{kg}/\text{s}] \quad (26)$$

o Înlocuind (25) și (26) în (24), se obține:

$$A = M_{V0} \cdot \frac{C_{MS} - C_{M0}}{v_0 \cdot C_{MS}} \quad [\text{m}^2] \quad (27)$$

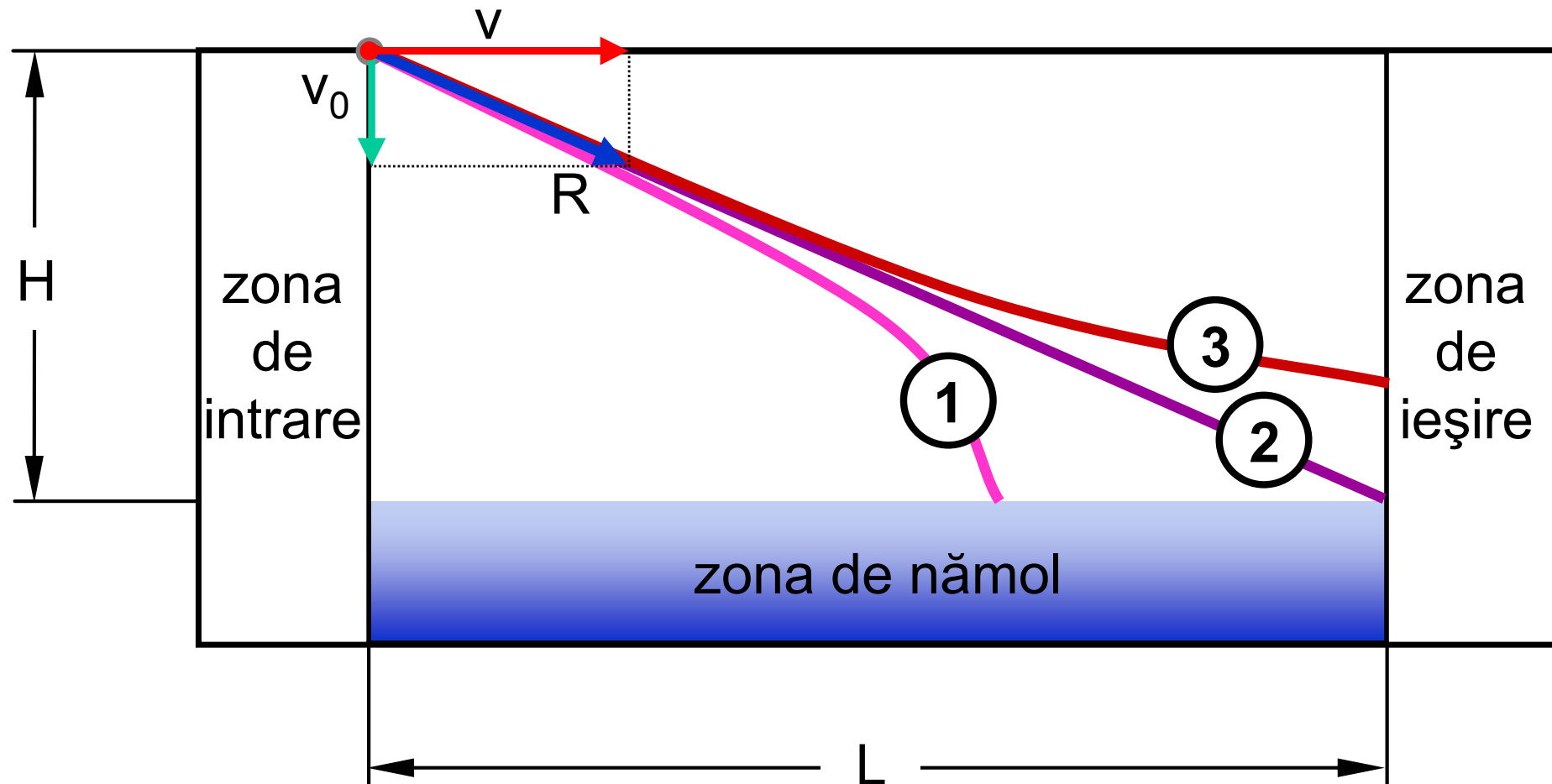
Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Ecuația (27) permite calculul suprafeței bazinului de sedimentare în funcție de caracteristicile suspensiei inițiale și ale sedimentului rezultat.
- o Pe baza ecuațiilor (24) și (27), cunoscând debitul și caracteristicile suspensiei de prelucrat (concentrație de solide în suspensie, viteză de sedimentare) precum și concentrația finală a sedimentului obținut, se poate dimensiona bazinul de sedimentare.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o În cazul sedimentării floculante sau al sedimentării frânate, calculele sunt asemănătoare;
- o Deosebiri apar la traiectoriile particulelor, care nu mai sunt drepte ci curbe.
- o Viteza de sedimentare nu mai este constantă, ea variind în conformitate cu curba lui **Kynch**.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală



Sedimentarea suspensiilor într-un bazin cu curgere orizontală:
1 - sedimentare floculantă; 2 - sedimentare particulată; 3 - sedimentare frânată

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o În practică nu există bazine de sedimentare ideale:
 - în lichid pot apărea curenți turbionari,
 - vântul poate produce valuri la suprafața lichidului,
 - diferențele locale de temperatură (produse de către acțiunea solară) pot genera curenți de convecție naturală.
- o Toate acestea afectează eficiența sedimentării.
- o Pentru a contracara aceste fenomene nedorite, trebuie ca din proiectare să se asigure o curgere stabilă, în regim staționar și laminar.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Condiția de curgere laminară este asigurată dacă $Re < 800$, unde criteriul **Reynolds** este dat de expresia:

$$Re = \frac{v \cdot d_{ech}}{\nu} \quad (28)$$

- o Întrucât curgerea prin bazinele de sedimentare este influențată de forțele gravitaționale și de cele inerțiale, criteriul **Froude**, care reprezintă raportul celor două forțe, este important în proiectarea bazinelor de sedimentare. Acesta se scrie sub forma:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot d_{ech}} \quad (29)$$

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Circulația lichidului în bazin este cu atât mai stabilă cu cât distribuția vitezelor este mai uniformă pe întreaga secțiune transversală a bazinului.
- o O distribuție uniformă a vitezelor este caracterizată de valori ridicate ale criteriului **Froude**.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală

- o Raportul dintre raza (R) și înălțimea utilă (H) a bazinelor circulare, respectiv dintre lungimea (L) și înălțimea utilă (H) a bazinelor rectangulare trebuie să se înscrie între anumite limite.
- o Astfel, pentru un timp de retenție al apei în bazin de două ore, se recomandă:

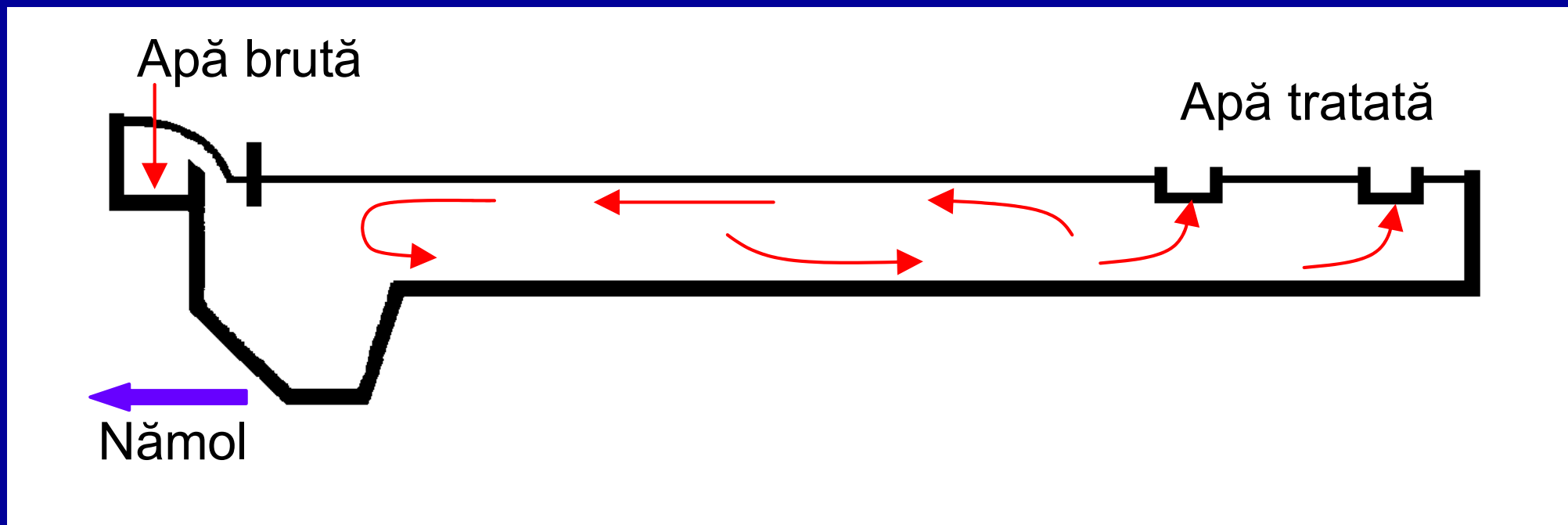
- pentru bazine rectangulare cu curgere orizontală:

$$\frac{1}{35} < \frac{H}{L} < \frac{1}{20}$$

- pentru bazine circulare:

$$\frac{1}{8} < \frac{H}{R} < \frac{1}{6}$$

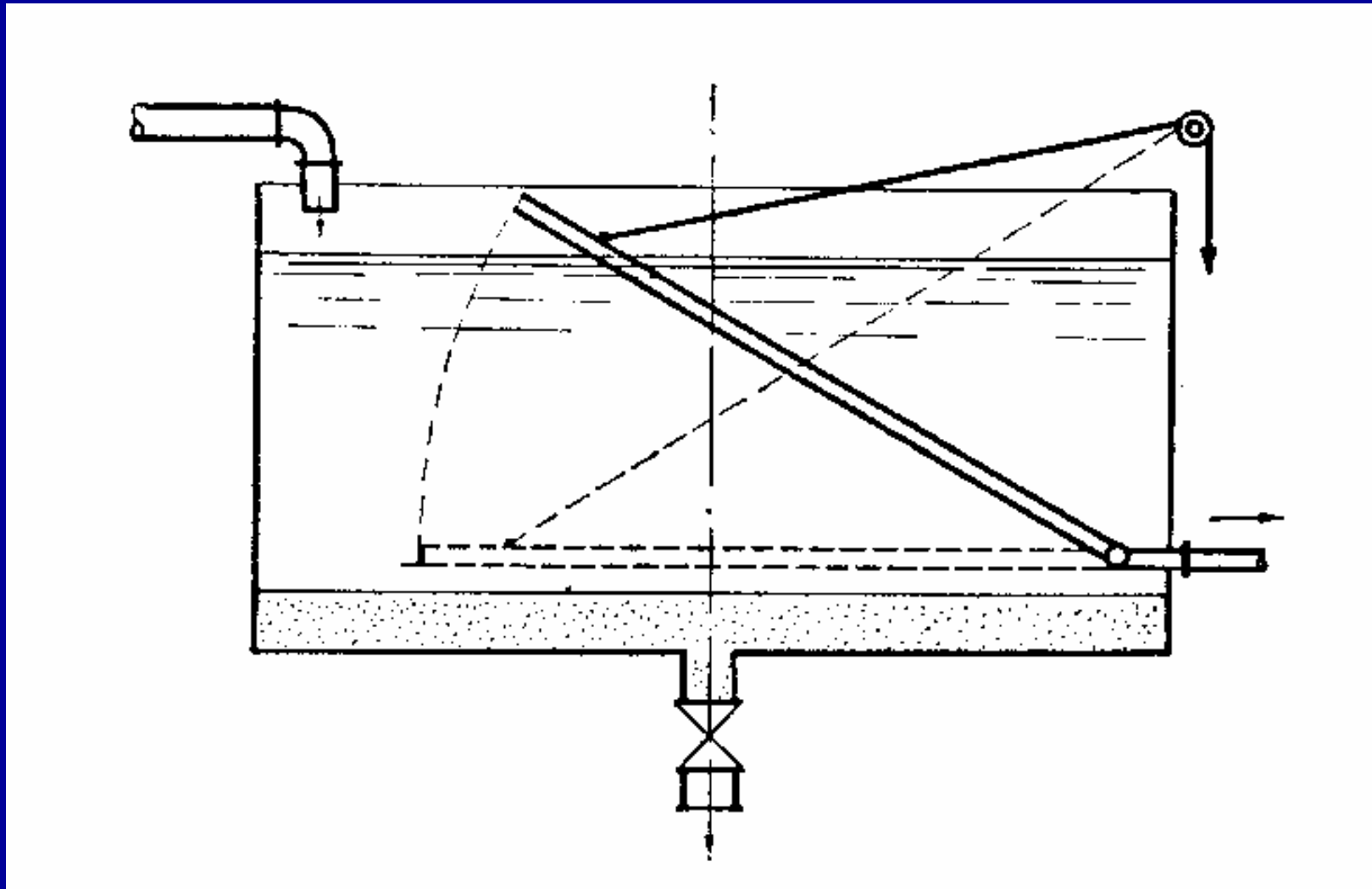
Sedimentarea continuă în bazine cu curgere orizontală



Forma bazinului, modul de alimentare cu apă brută și modul în care este colectată apa tratată, precum și modul de evacuare a nămolului influențează în mod semnificativ eficiența hidraulică a bazinului.

Tipuri de decantare

o Decantorul discontinuu cu sifon basculant



Tipuri de decantare

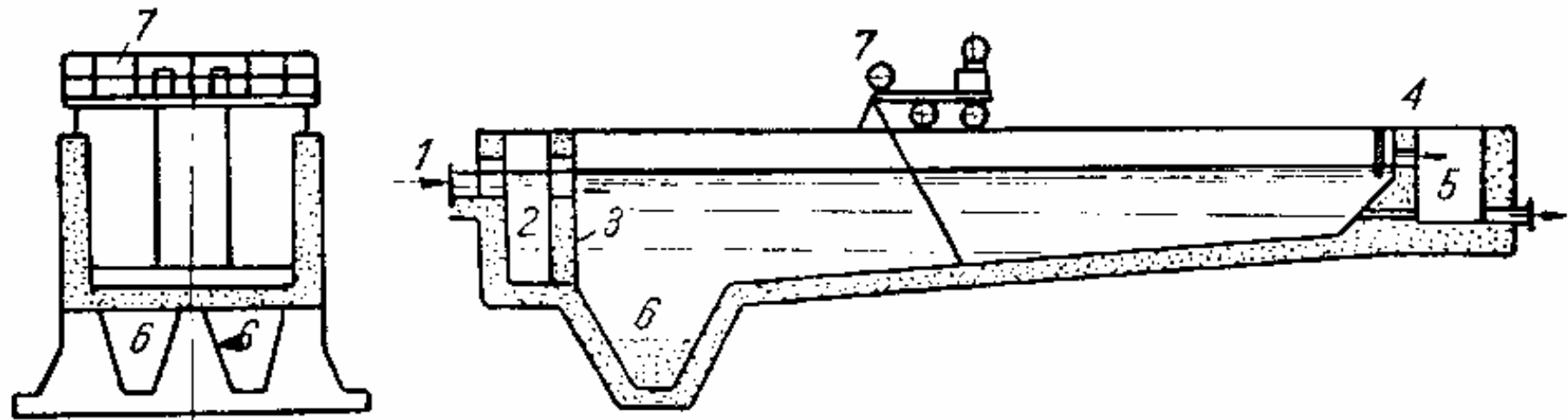
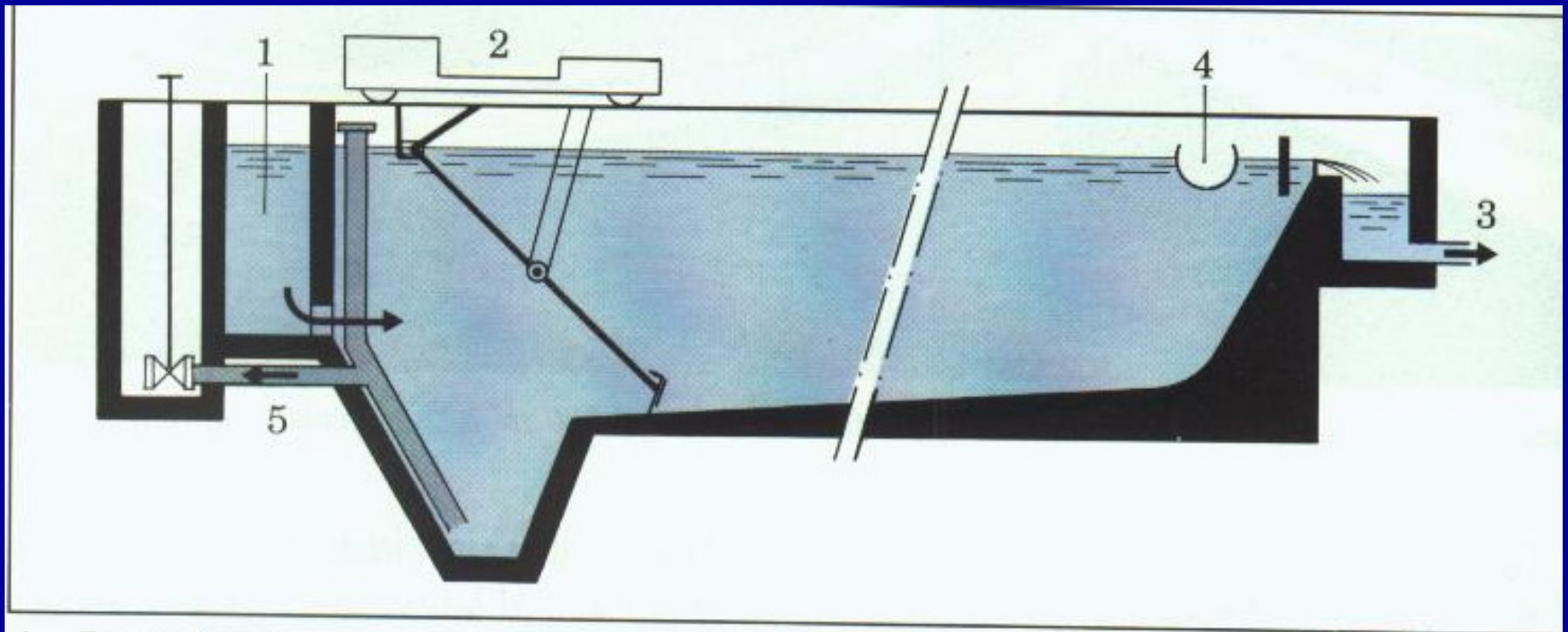


Fig. 14.4. Decantor cu îndepărtarea mecanică a nămolului:

1 — intrarea apei brute; 2 — cameră de distribuție; 3 — perete (baraj) pentru repartizarea uniformă a apei; 4 — baraj-deversor; 5 — cameră pentru colectarea apei decantate; 6 — șanț pentru colectarea nămolului; 7 — curățător mecanic (cu racletă) pentru nămol.

Tipuri de decantare



1 - Raw water inlet.

2 - Scraper bridge.

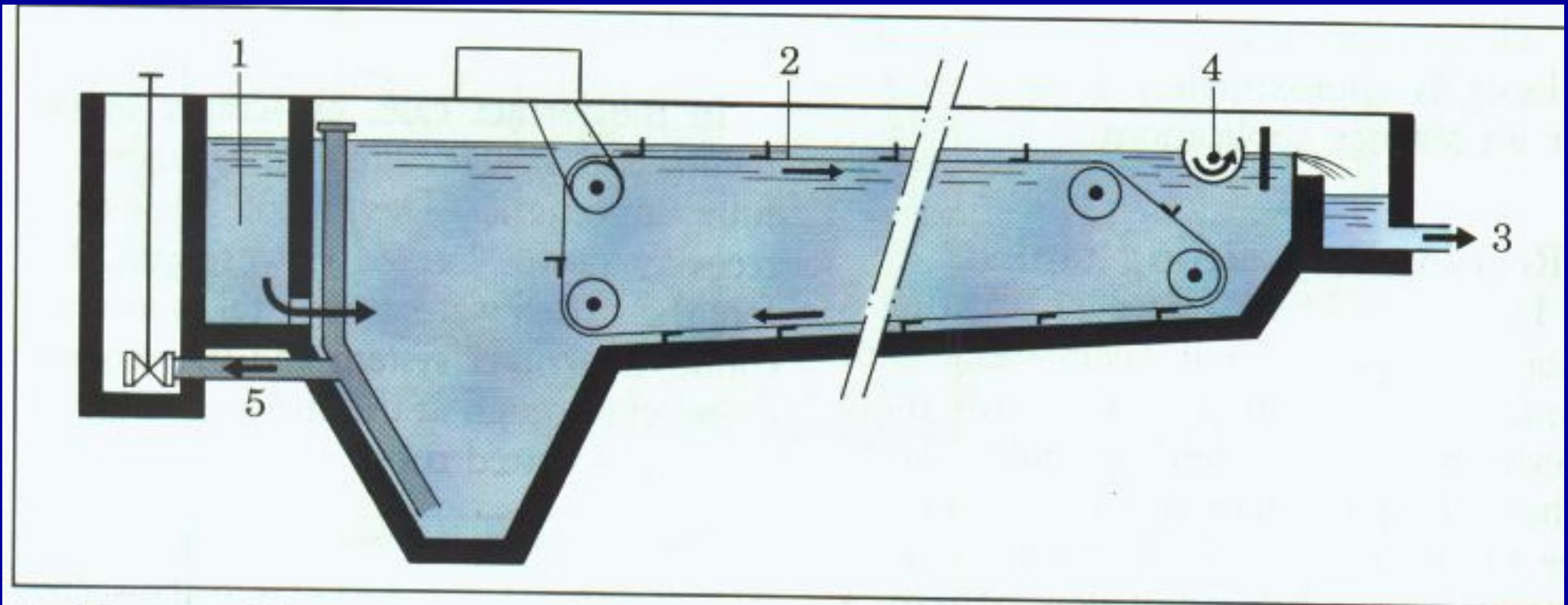
3 - Settled water outlet.

4 - Recovery of floating matter.

5 - Sludge removal.

Figure 311. Longitudinal settling tank with scraper bridge.

Tipuri de decantare



1 – Raw water inlet.

2 – Scraper chain.

3 – Settled water outlet.

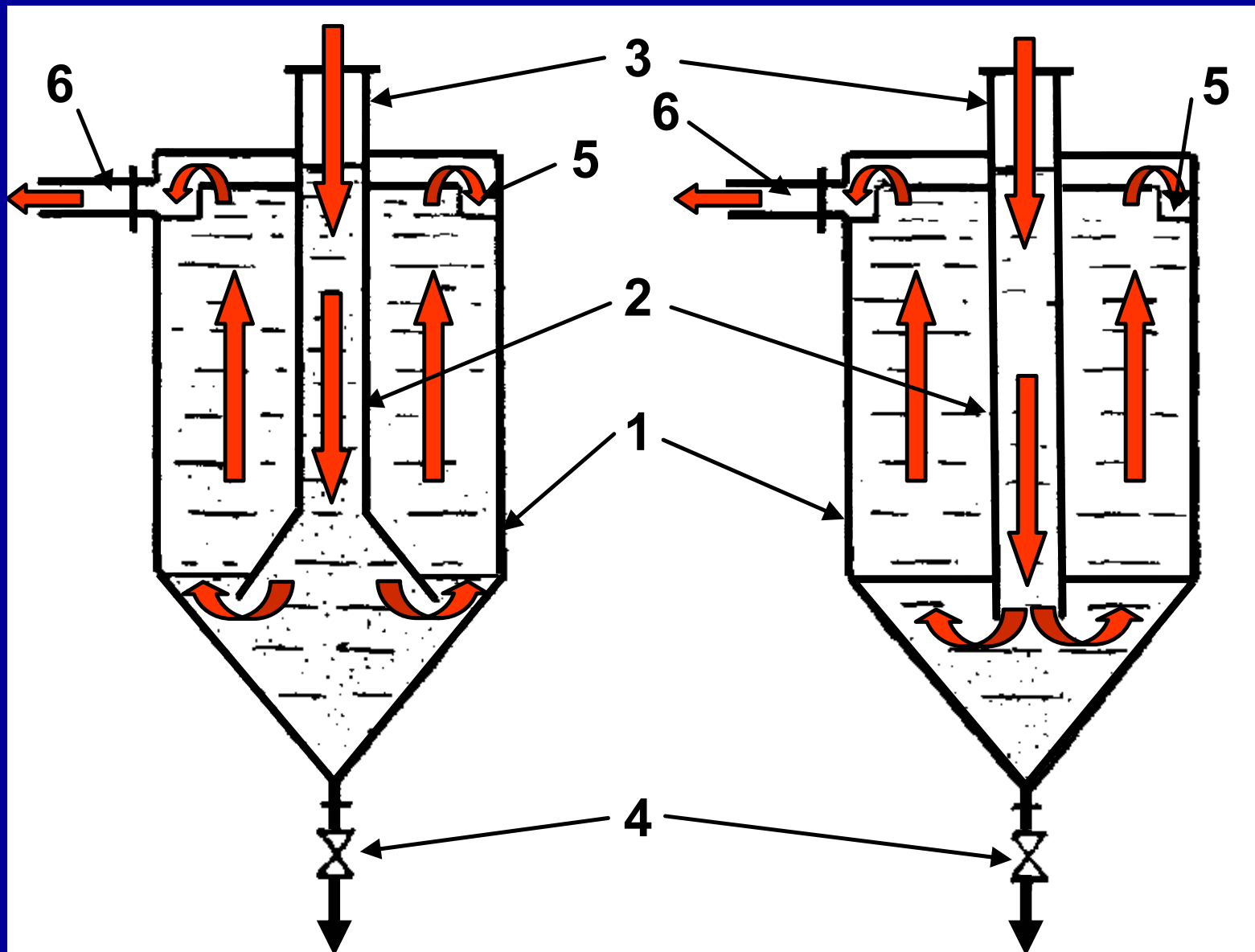
4 – Recovery of floating matter.

5 – Sludge removal.

Figure 312. Longitudinal settling tank with chain-driven scraper.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere verticală

- o În decantoarele verticale, apa cu suspensii este introdusă printr-un tub central până la partea inferioară, unde își schimbă sensul de curgere, ocolind marginea inferioară a tubului central, și sedimentează în timpul în care se ridică până la dispozitivul de evacuare a decantorului.
- o Sedimentul este colectat în partea conică a mantalei.



Decantoare verticale:

1 – manta verticală; 2 – tub central; 3 – conductă de alimentare cu suspensie; 4 – racord pentru evacuarea sedimentului; 5 – rigolă pentru colectarea apei decantate; 6 – conductă pentru evacuarea apei decantate.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere verticală

- o Viteza ascensională a lichidului în decantor, v , ar trebui să fie mai mică decât viteza de sedimentare.
- o În practică, viteza lichidului în secțiunea inelară se ia egală cu viteza de sedimentare v_0 , deoarece granulele mari de precipitat, în drumul lor ascendent, înglobează granulele fine care urcă împreună cu lichidul, formând aglomerate cu viteze de sedimentare mai mari.
- o Viteza de sedimentare se calculează sau se determină ca și în cazul bazinelor de sedimentare cu curgere orizontală.

Sedimentarea continuă în bazine cu curgere verticală

- o Secțiunea transversală a decantorului, **A**, este dată de relația:

$$A = \alpha \cdot \frac{M_v}{v_0} \text{ [m}^2\text{]} \quad (31)$$

- o M_v = debitul de fază lichidă [m³/s],
- o v_0 = viteza de sedimentare [m/s].
- o $\alpha = 1,5 \div 1,8$ = ține seama de neuniformitatea vitezelor în secțiunea transversală
- o Valorile α mari corespund unor rapoarte D/H mari
 - D - diametrul mantalei decantorului;
 - H - înălțimea părții cilindrice a decantorului).

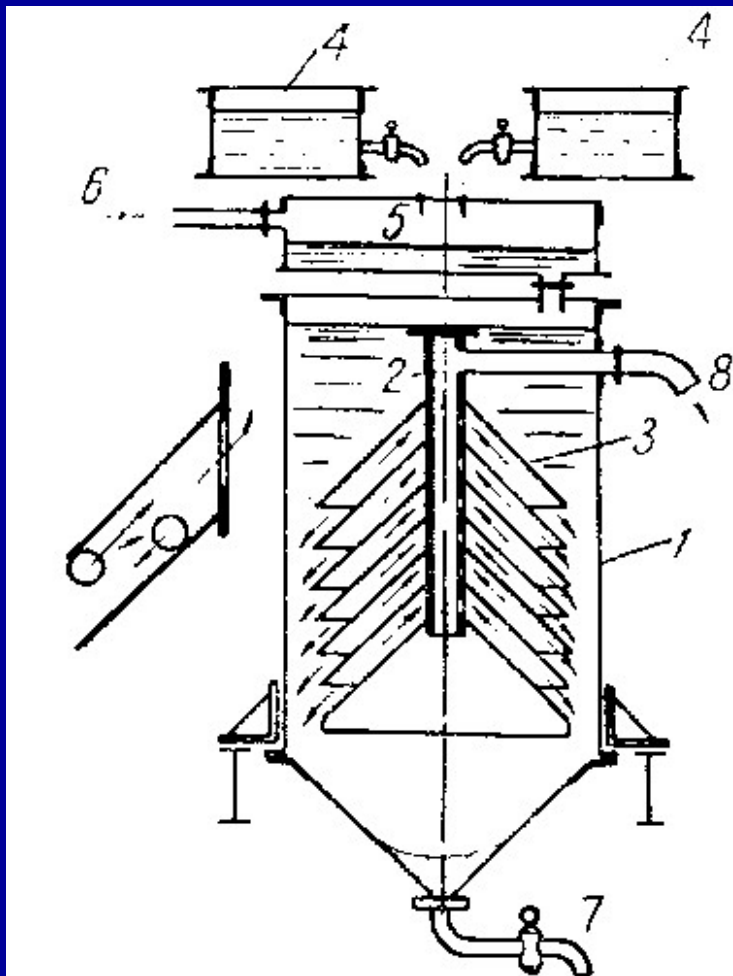
Sedimentarea continuă în bazine cu curgere verticală

- o Viteza apei prin tubul central se adoptă:

$$v = 0,025D \quad [\text{m/s}] \quad (32)$$

- o Uzual, $D/H < 1,5$.
- o Pentru $D > 4 \text{ m}$ sau pentru $D/H > 1,5$, colectarea lichidului decantat se face cu jgheaburi radiale, care uniformizează vitezele în secțiunea decantorului.
- o Conicitatea fundului trebuie să permită alunecarea sedimentului; pentru sedimentarea apei tratate cu coagulant, unghiul secțiunii axiale conice se ia $\beta = 90^\circ$, iar pentru dedurizarea apei se ia $\beta = 60 \div 70^\circ$

Decantoare verticale



Decantor cu conuri, *Dervaux*:

1 — mantaua decantorului; 2 — tub central; 3 — conuri; 4 — rezervoare pentru reactivi; 5 — recipient de amestec și tratare cu reactivi; 6 — conductă de alimentare cu suspensie; 7 — conductă pentru evacuarea sedimentului; 8 — conductă pentru evacuarea lichidului decantat.

Decantoare verticale

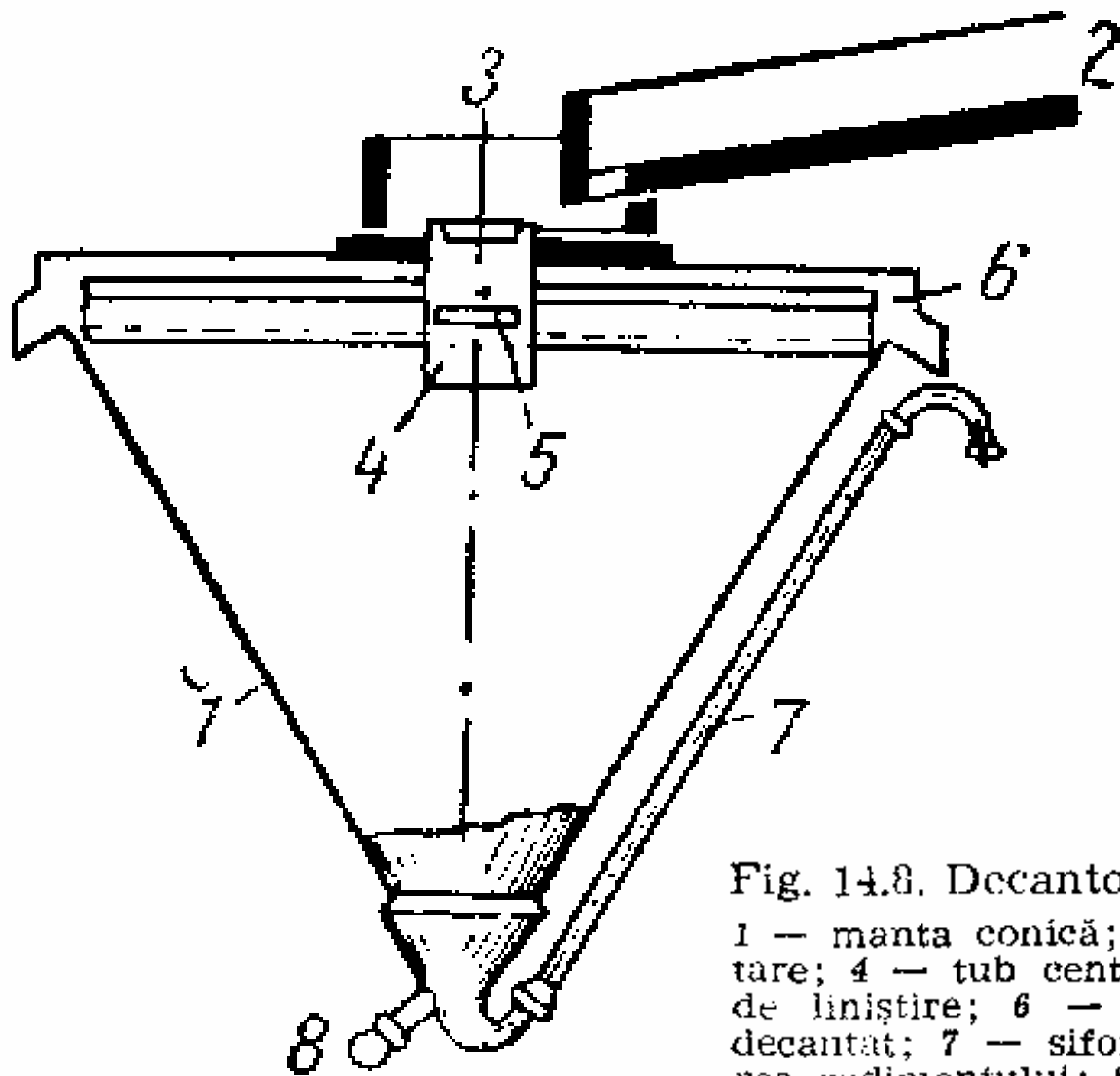


Fig. 14.8. Decantor conic cu funcționare continuă:
1 — manta conică; 2 — jgheab; 3 — pilnie de alimentare;
4 — tub central de alimentare; 5 — inel plutitor de liniștire;
6 — rigolă pentru colectarea lichidului decantat;
7 — sifon cu nivel reglabil, pentru evacuarea sedimentului;
8 — racord pentru golire și spălare.

Decantoare radiale

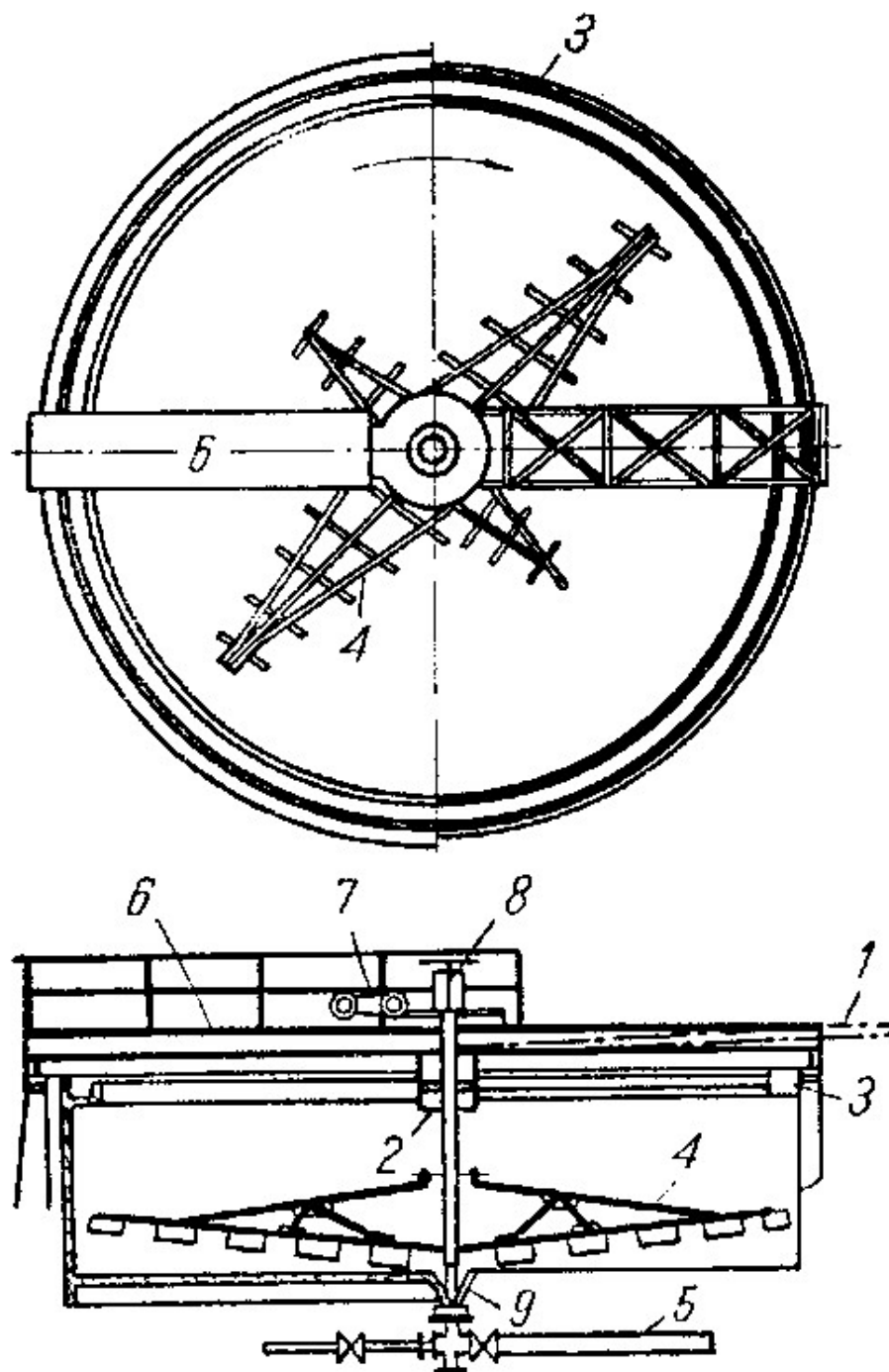
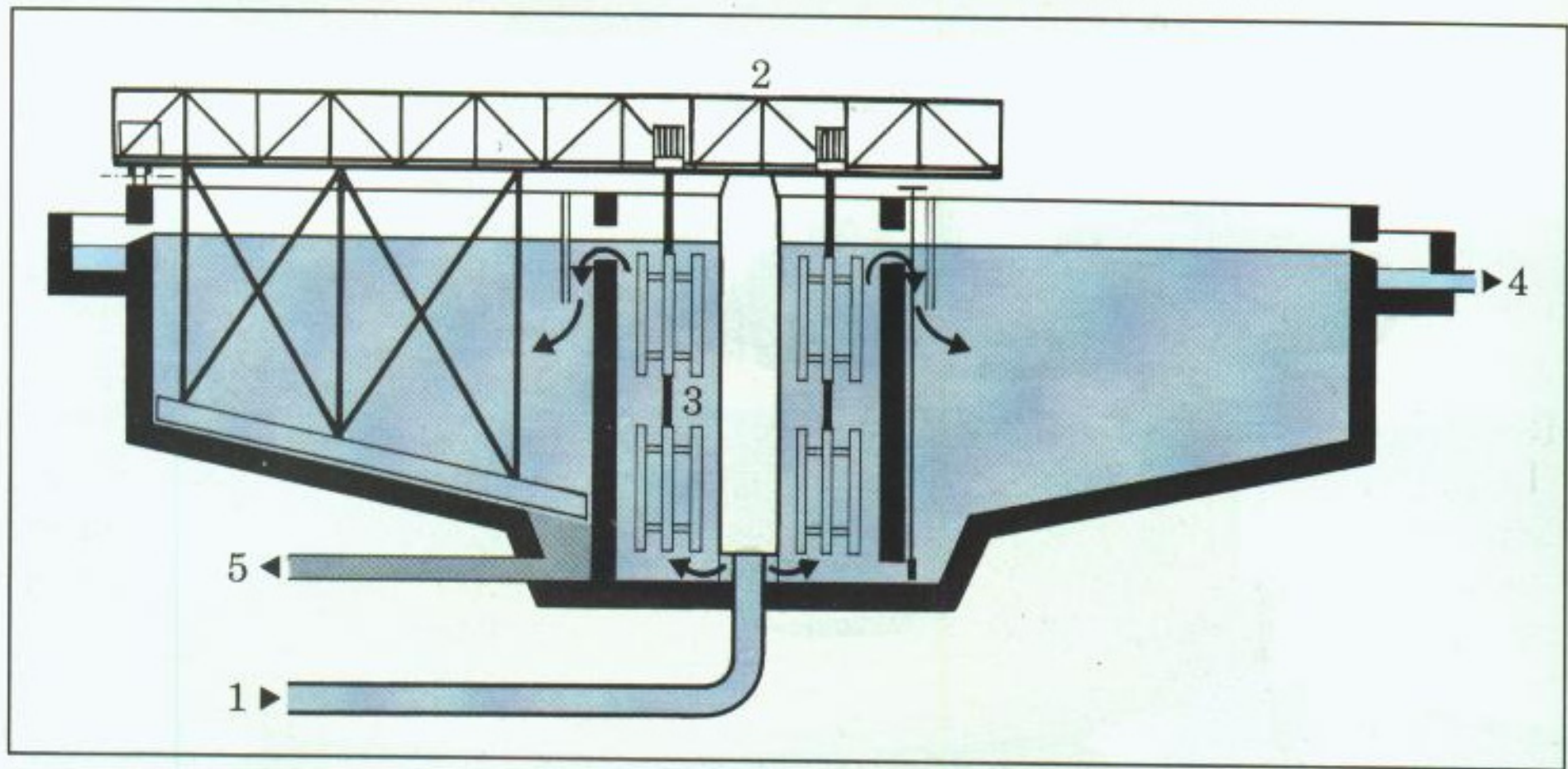


Fig. 14.9. Decantor circular cu brațe:
1 — conductă de alimentare cu suspensie;
2 — rezervor de distribuție; 3 — rigolă
periferică pentru colectarea lichidului de-
cantat; 4 — brațe cu raclete; 5 — con-
ductă pentru evacuarea nămolului; 6 —
punte de acces; 7 — sistemul de acțio-
nare; 8 — dispozitiv pentru ridicarea
brațelor; 9 — groapă pentru colectarea
nămolului.

Decantoare radiale



1 - Raw water inlet.

2 - Scraper bridge.

3 - Flocculation area.

4 - Settled water outlet.

5 - Sludge draw-off.

Figure 309. Flocculator/settling tank with peripheral bridge drive.

Decantoare radiale



*Figure 308. Valenton (Paris area, France) facility for SIAAP. Flow: $300,000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$.
Central drive unit on the concrete centre column of a primary settling tank, 52 m dia.*

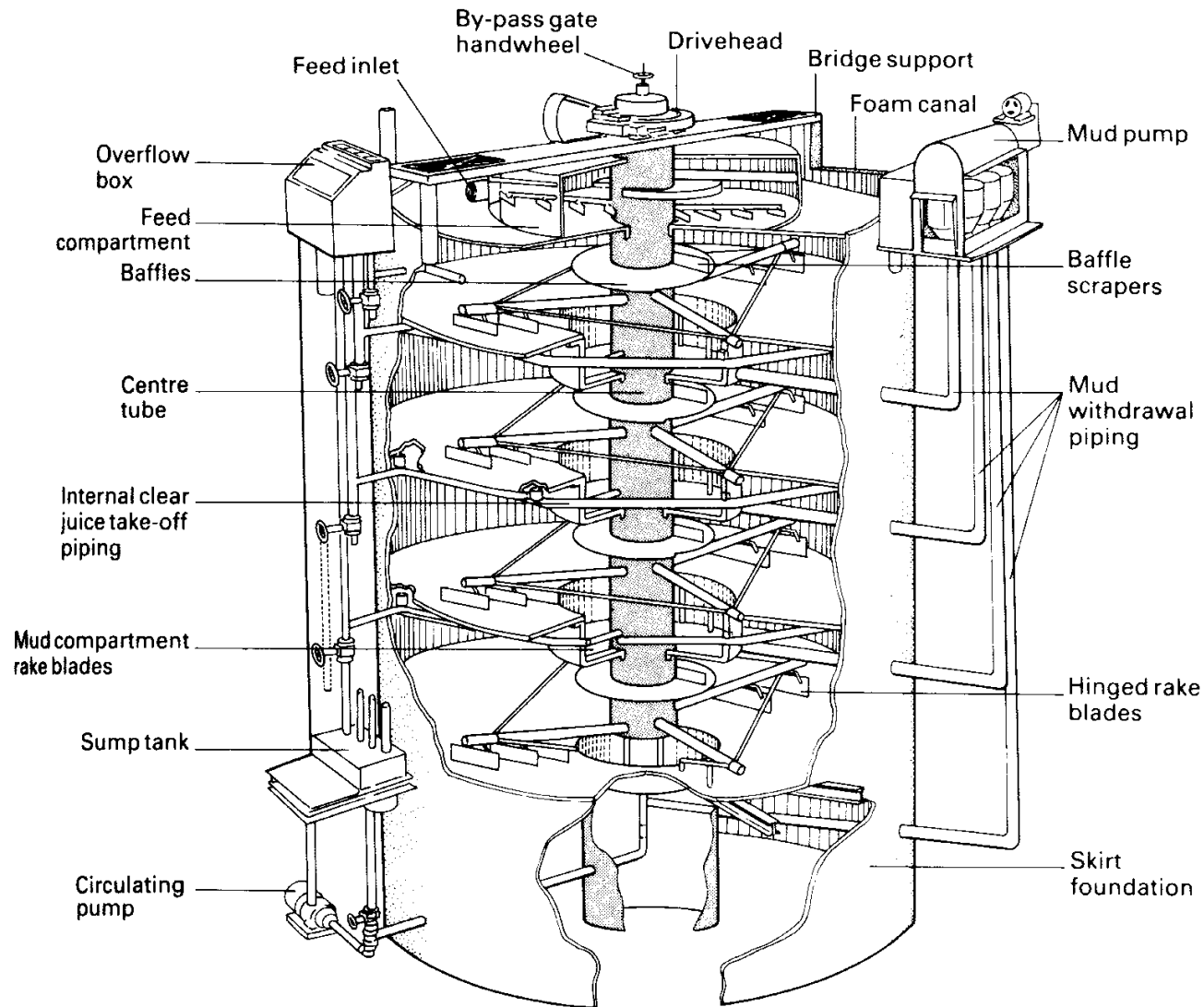
Decantoare radiale



Figure 310. Cannes (Southern France) facility. Maximum flow: $5,500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Flocculator/settling tanks.

Decantoare radiale

Decantor
etajat
Dorr
(4 trepte)



Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

- o În bazinele de sedimentare cu curgere orizontală, singurul factor geometric care afectează productivitatea este suprafața utilă a bazinului, A .
- o Se poate astfel defini viteza Hazen:

$$v_H = \frac{M_V}{A} \text{ [m.s}^{-1}\text{]} \quad (33)$$

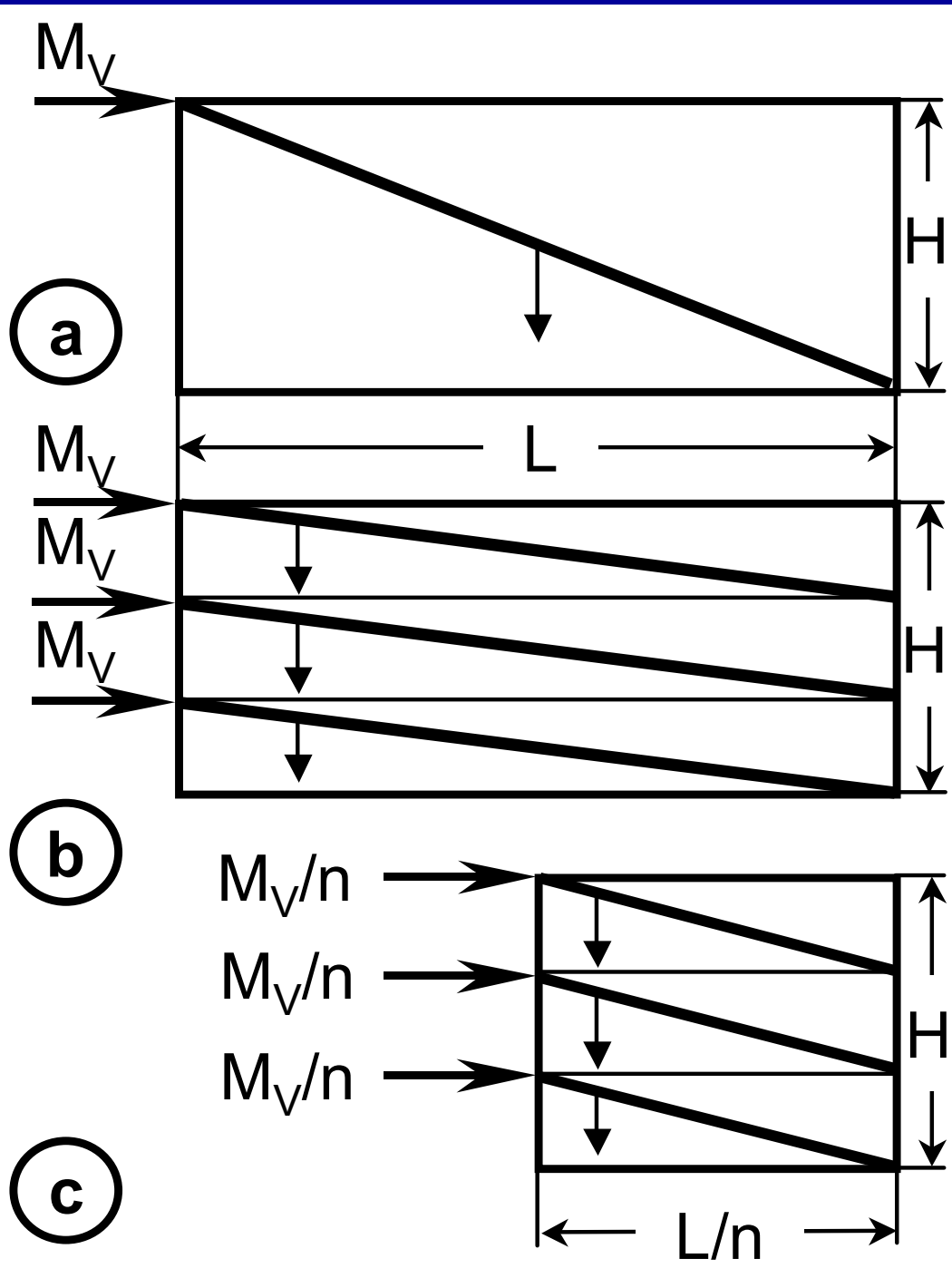
- o Vor sedimenta numai acele particule discrete pentru care viteza de sedimentare, v_0 , este mai mare decât viteza Hazen, v_H .

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

- o Deoarece separarea particulelor solide nu este influențată de înălțimea bazinului în care se face sedimentarea, teoretic se pot întâlni următoarele situații:
 - a) se tratează un debit M_v într-un bazin de lungime L , lățime l și înălțime H ;
 - b) într-un bazin de același volum, dar împărțit în n nivele elementare de înălțime H/n se tratează un debit de n ori mai mare;
 - c) se tratează același debit M_v , într-un bazin cu volumul de n ori mai mic, suprapunând n nivele, fiecare având înălțimea H/n , lungimea L/n și lățimea l .

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

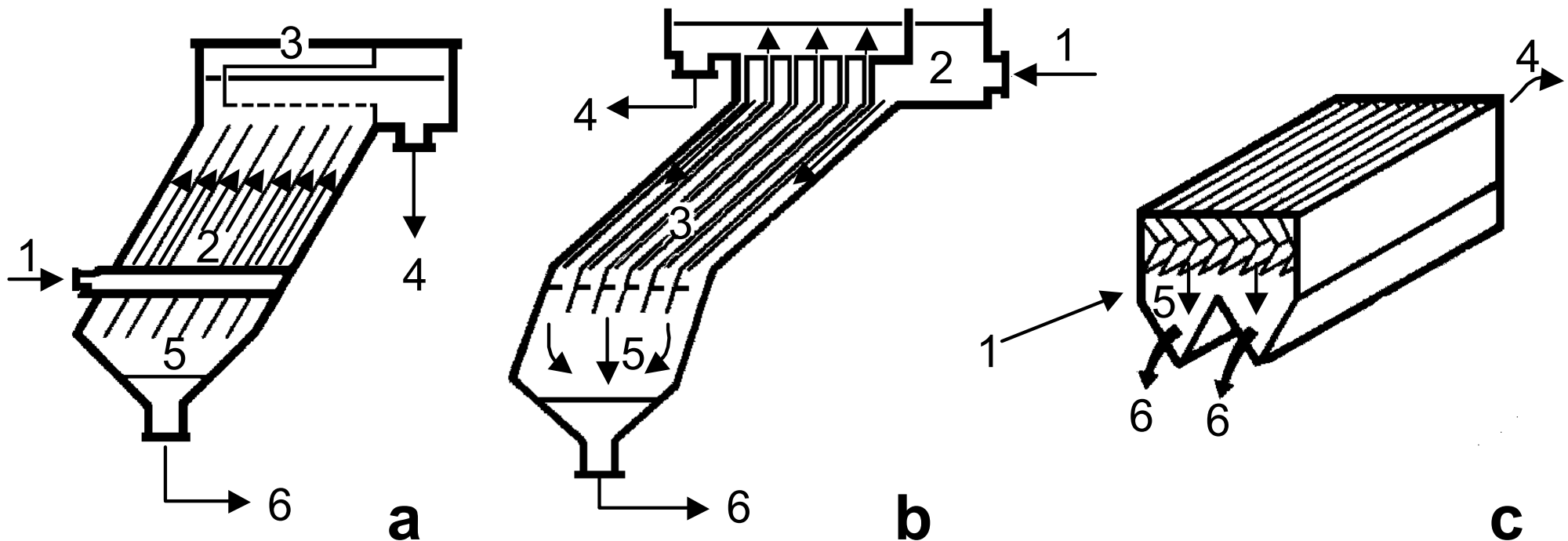
- o În practică, suprapunerea bazinelor orizontale fără a avea un sistem de raclare, nu permite o îndepărtare eficientă a nămolului, conducând astfel la scăderea productivității.



Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

- o Decantoarele lamelare folosesc acest principiu al multiplicării suprafeței de separare apă - nămol prin amplasarea într-un utilaj compact a unor pachete de lamele (care pot fi tuburi sau plăci paralele).
- o Se formează astfel în zona de separare un număr mare de celule de separare elementare.
- o Pentru a putea descărca gravitațional nămolul separat, lamelele sunt dispuse înclinat, formând cu orizontala un unghi θ .

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare



Sedimentarea în decantoare lamelare:

a - în contracurent; b - în echicurent; c - în curent încrucișat.

1 - alimentare cu apă brută; 2 - zonă de distribuție; 3 - zonă de colectare a apei limpezite; 4 - evacuare apă limpezită; 5 - colector de nămol; 6 - evacuare nămol

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

o Prin analogie, se poate defini și pentru decantoarele lamelare o viteză Hazen:

$$u_H = \frac{M_V}{n \cdot S_l \cdot \cos \theta} [\text{m.s}^{-1}] \quad (34)$$

- n = numărul de lamele,
- S_l = aria unei lamele [m^2],
- θ = unghiul de înclinare al lamelelor față de orizontală.

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

- o Notând cu L lungimea lamelelor, cu l lăţimea acestora şi cu e distanţa ortogonală dintre două lamele alăturate, se pot determina vitezele Hazen pentru cele trei tipuri de circulaţie a fazelor.
- o Astfel pentru curgerea în contracurent:

$$u_H = \frac{M_v}{n \cdot l \cdot (L \cos \theta + e \sin \theta)} \quad (35)$$

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

o Pentru curgerea descendentă în echicurent:

$$u_H = \frac{M_V}{n \cdot l \cdot (L \cos \theta - e \sin \theta)} \quad (36)$$

o Pentru curgerea în curent încrucișat, apa și nămolul curgând în fluxuri perpendiculare:

$$u_H = \frac{M_V}{n \cdot l \cdot L \cdot \cos \theta} \quad (37)$$

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

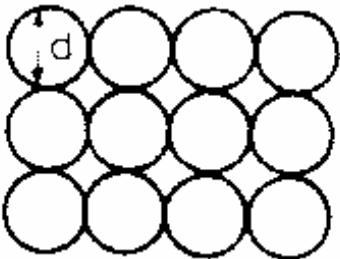
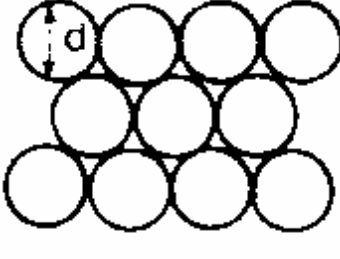
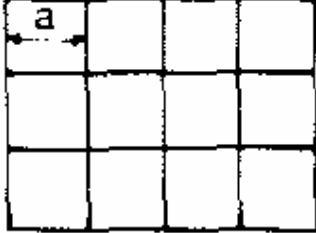
- o Relațiile (35) ÷ (37) nu țin cont de limitele hidraulice sau de limitele legate de zona de intrare și de ieșire a solidelor sedimentate.
- o **Sedimentarea în contracurent** utilizează un sistem simplu și viabil din punct de vedere hidraulic, fiind modalitatea preferată de contactare a fazelor în utilajele industriale.
- o La **sedimentarea în echicurent** recuperarea apei limpezite este problematică,
- o La **sedimentarea în curent încrucișat** este dificilă distribuția egală a debitului de suspensie.

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

o În ceea ce privește **lamellele**, există mai multe modele disponibile:

- plăci ondulate,
- tuburi rotunde,
- tuburi cu secțiune pătrată,
- elemente în zigzag,
- module hexagonale, etc.

Characteristics of different lamellae pack (1.5 m length, inclined at 60°)

Type of lamellae pack	Circular tubes in aligned rows	Circular tubes in staggered rows	Square tubes	Hexagonal modules
Equivalent hydraulic diameter [mm]	80	80	80	80
Shape	 $d = 80$	 $d = 80$	 $a = 80$	 $a = 46.2 \quad b = 80$
$\frac{u_H}{u_0}$	$\frac{1}{6.4}$	$\frac{1}{7.4}$	$\frac{1}{8.1}$	$\frac{1}{10.8}$

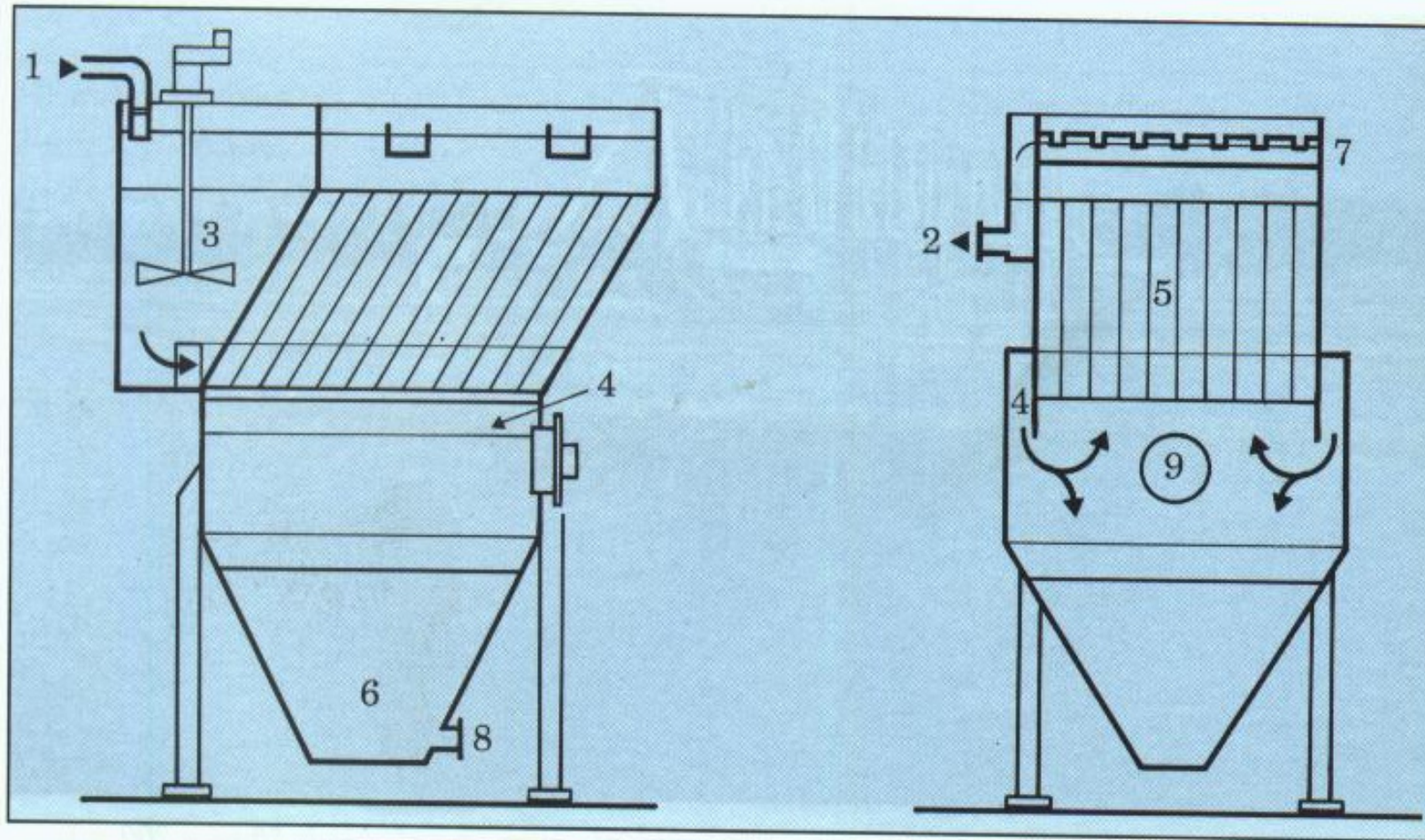
Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

- o Pentru același diametru echivalent, aceeași lungime și înclinare față de orizontală a lamelor, cele mai eficiente sunt **modulele hexagonale** (tip fagure), urmate de pachetele de tuburi cu secțiune pătrată, pachetele de tuburi circulare amplasate decalat (în eșichier) și de pachetele de tuburi circulare amplasate nedecalat.
- o În practică se utilizează module hexagonale având un diametru echivalent de 50 sau 80 mm, o lungime de 1500 mm și o înclinare de 60° față de orizontală.

Characteristics of Degrémont hexagonal modules

Type of module	A		B	
Hydraulic diameter, mm	80		50	
Spacing between plates, mm	80		50	
Angle of inclination, degrees	60		60	
Length of the module, m	0.75	1.5	0.75	1.5
Projected surface area, m ² module/m ² settler	5.4	10.8	8.7	17.4

Decantor “Sedipac”



- | | | |
|---------------------------|---|-------------------------------|
| 1 – Raw water inlet. | 4 – Flocculated water distribution channel. | 7 – Settled water collection. |
| 2 – Settled water outlet. | 5 – Lamellae settling. | 8 – Sludge removal. |
| 3 – Flocculation. | 6 – Sludge concentration. | 9 – Inspection manhole. |

Figure 315. Sédipac. Basic diagram.

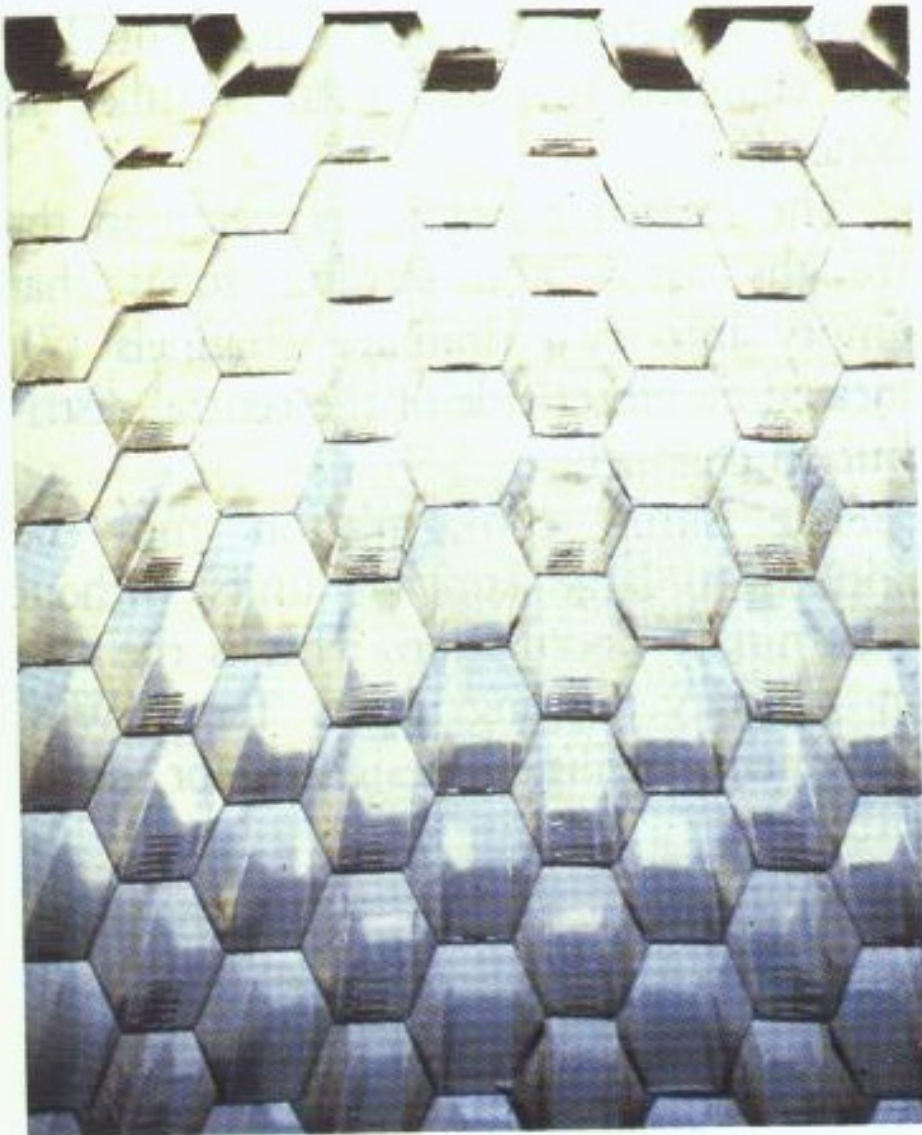


Figure 316. Degrémont lamellae modules.



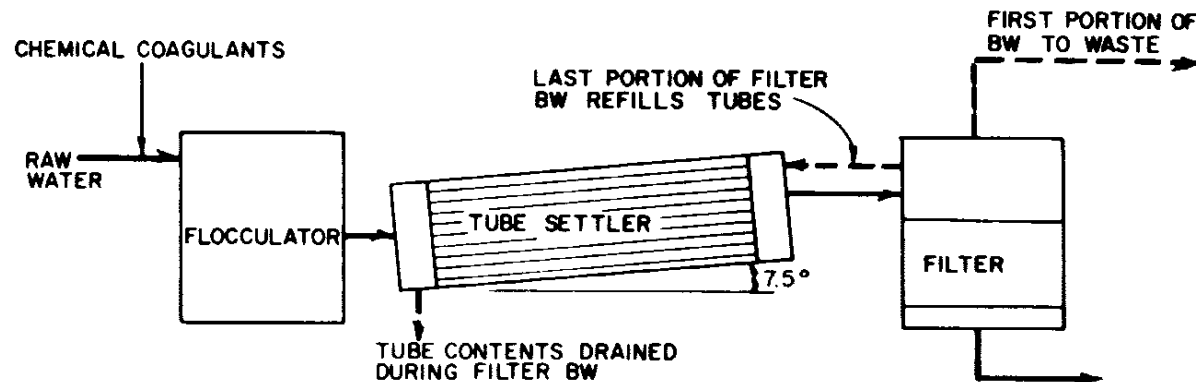
Figure 317. Metal Sédipac. Facility in Rheinfelden, Germany.

Sedimentarea continuă în decantoare lamelare

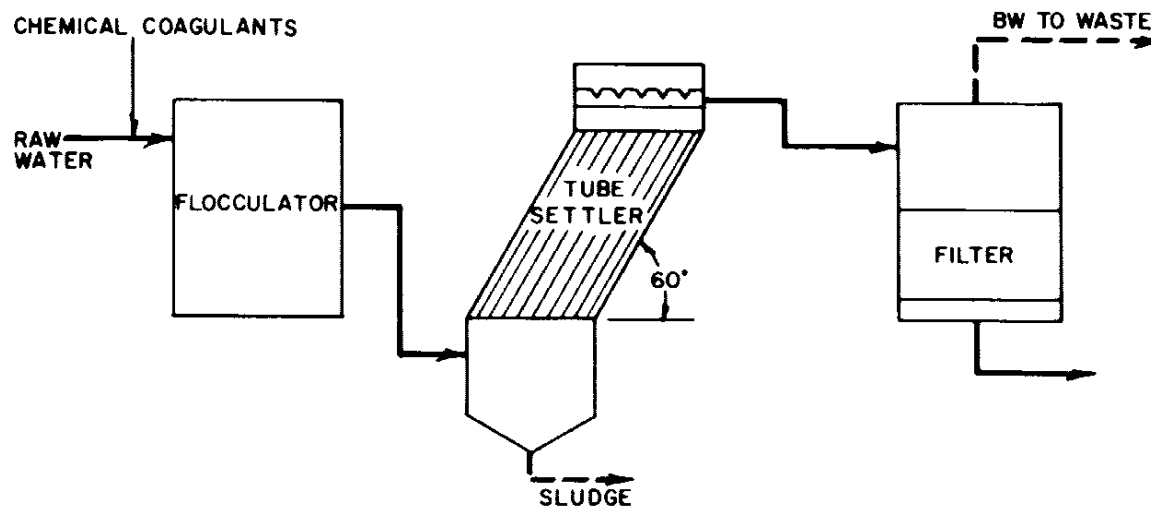
- o Reducerea înălțimii decantoarelor lamelare se poate realiza micșorând distanța dintre lamele, lucru care poate conduce însă la compromiterea funcționării utilajului.
- o Instalarea lamelelor însăși este o procedură critică, necesitând distanțiere și coliere de fixare, care - de cele mai multe ori, deranjează profilul curgerii și devin centre preferențiale de depunere și reținere a nămolului.

Exemple de decantoare lamelare

Decantoare cu tuburi circulare utilizate ca treapta intermediara intre flocculator si filtru



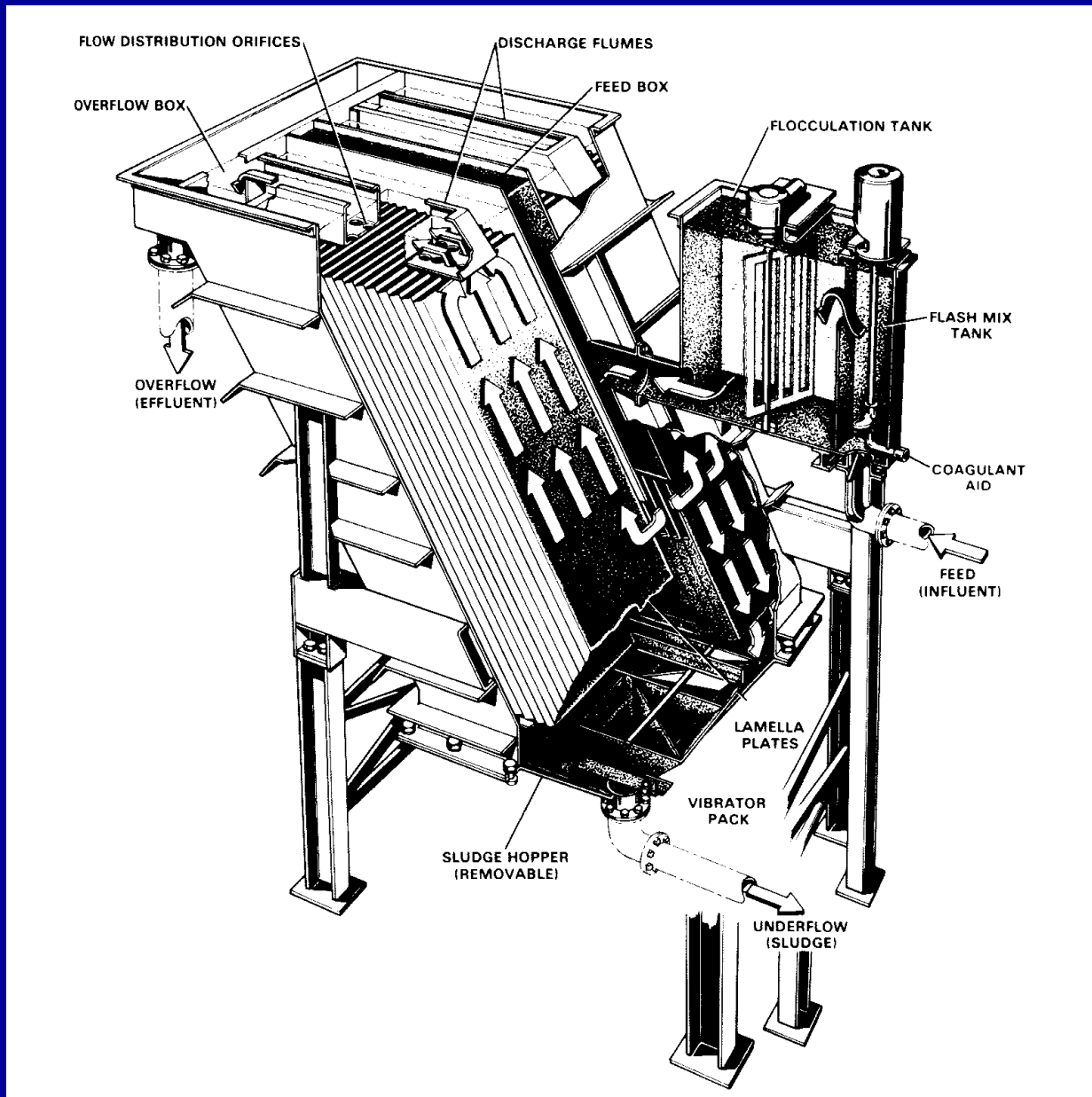
Horizontal tube settler



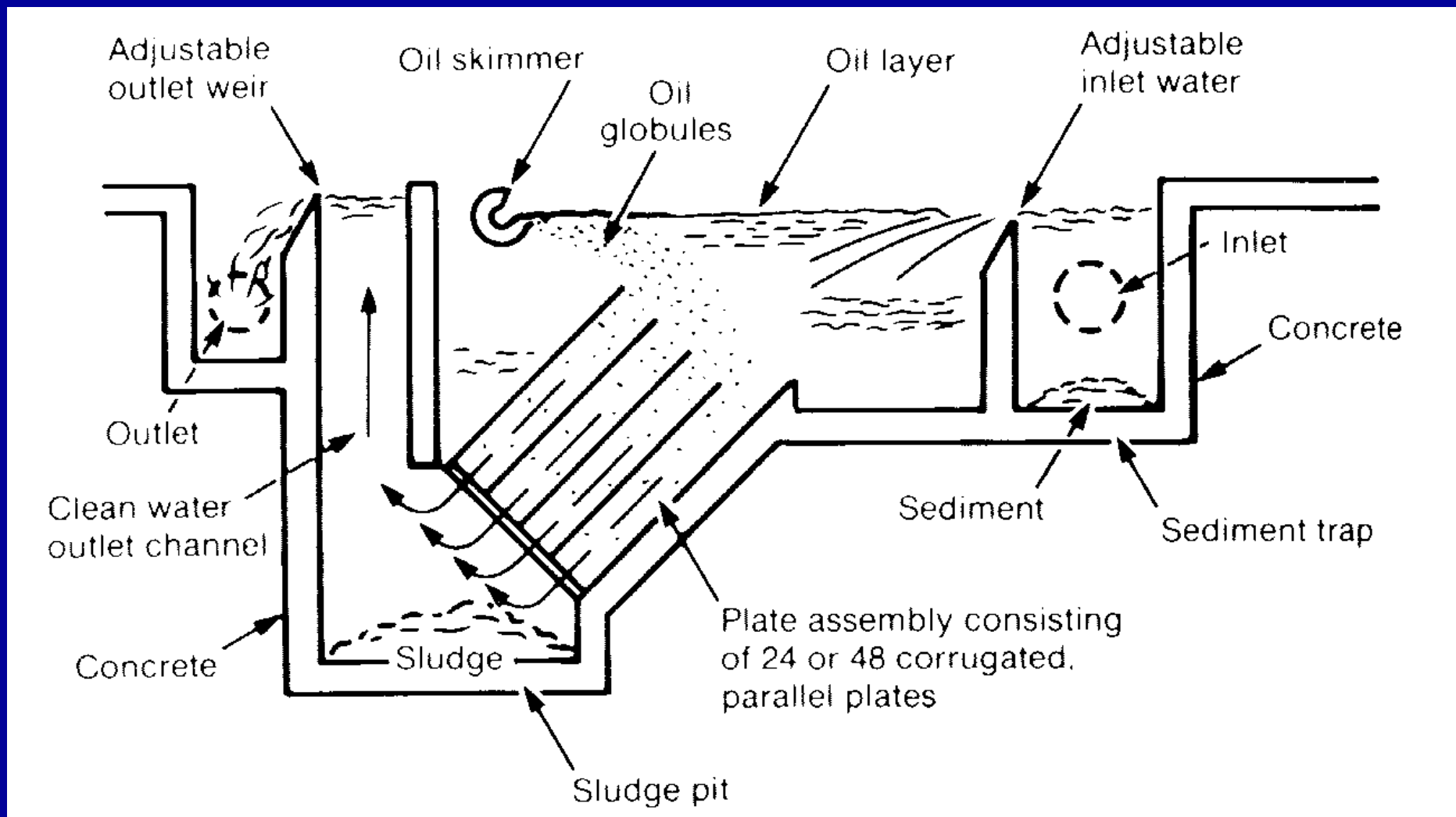
Inclined tube settler

Exemple de decantatoare lamelare

Decantor cu placi inclinate



Exemple de decantare lamelare



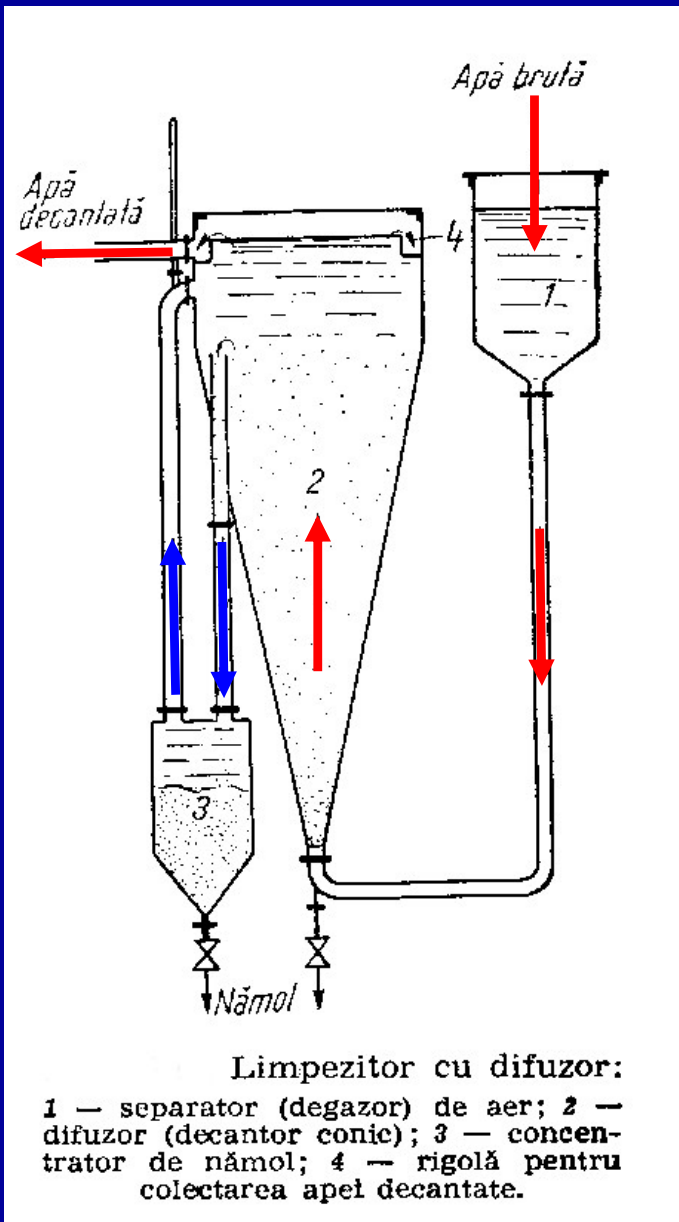
o Separator de ulei cu placi (lamele) ondulate

LIMPEZITOARE

(DECANTOARE SUSPENSIONALE)

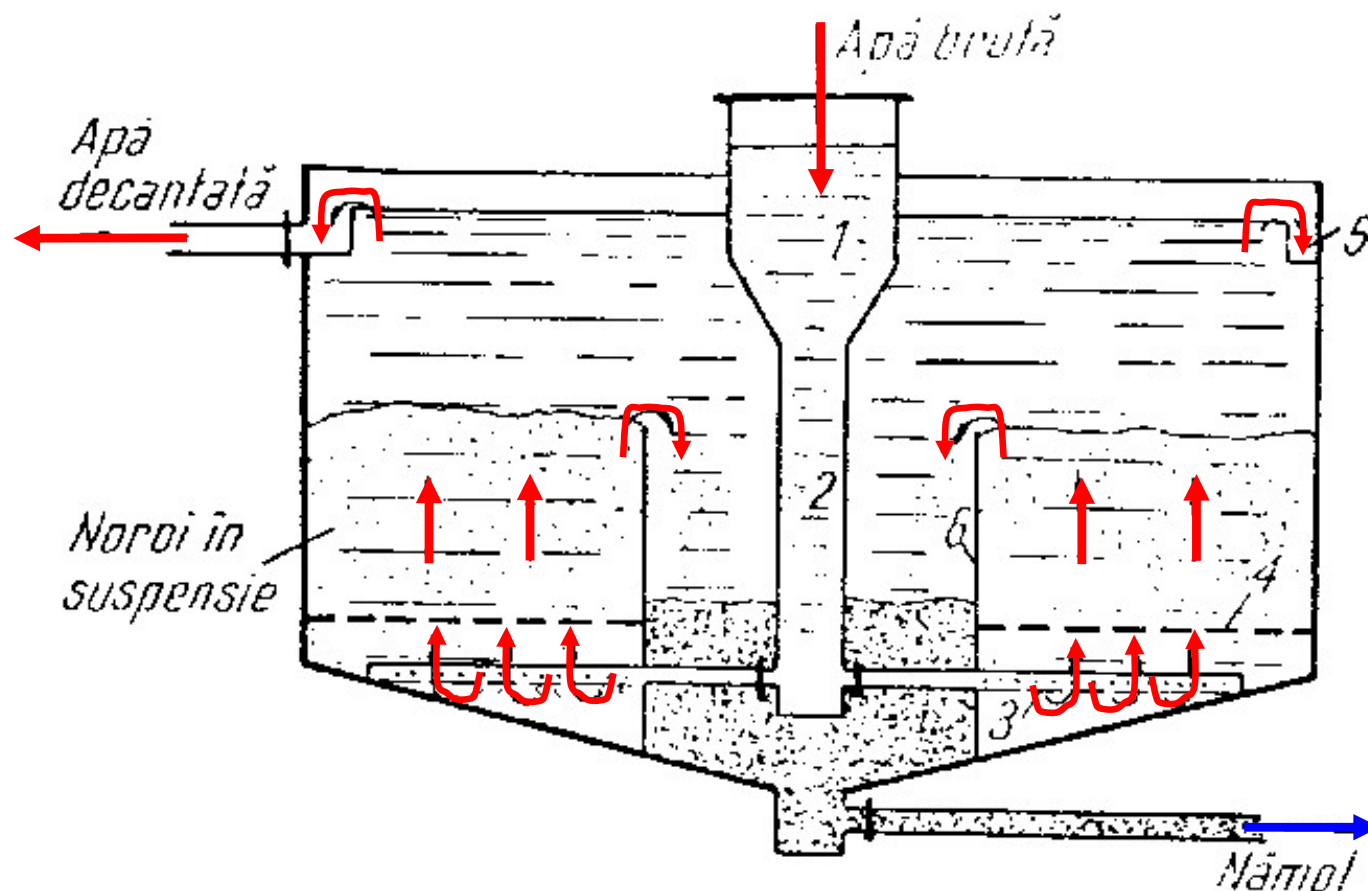
- o Sedimentarea este imbunatatita daca suspensia care sedimenteaza trece prin stratul de suspensie concentrata de la partea inferioara a decantorului;
- o Imbunatatirea sedimentarii consta in:
 - obtinerea unui decantat mai limpede;
 - cresterea de 1,5 - 2 ori a vitezei de sedimentare;
 - micșorarea consumului de coagulant.
- o Efecte similare produce recircularea partiala a namolului din decantor, sau pulsarea stratului de namol.

LIMPEZITOARE



- o Alcatuit din:
 - decantor conic;
 - separator de aer;
 - recipient pt. concentrarea nămolului.
- o Unghiul secțiunii axiale a difuzorului este mai mic de 45° ;
- o Productivitate: $60 - 80 \text{ m}^3/\text{h}$;
- o Sunt sensibile la variațiile de temperatură a apei.

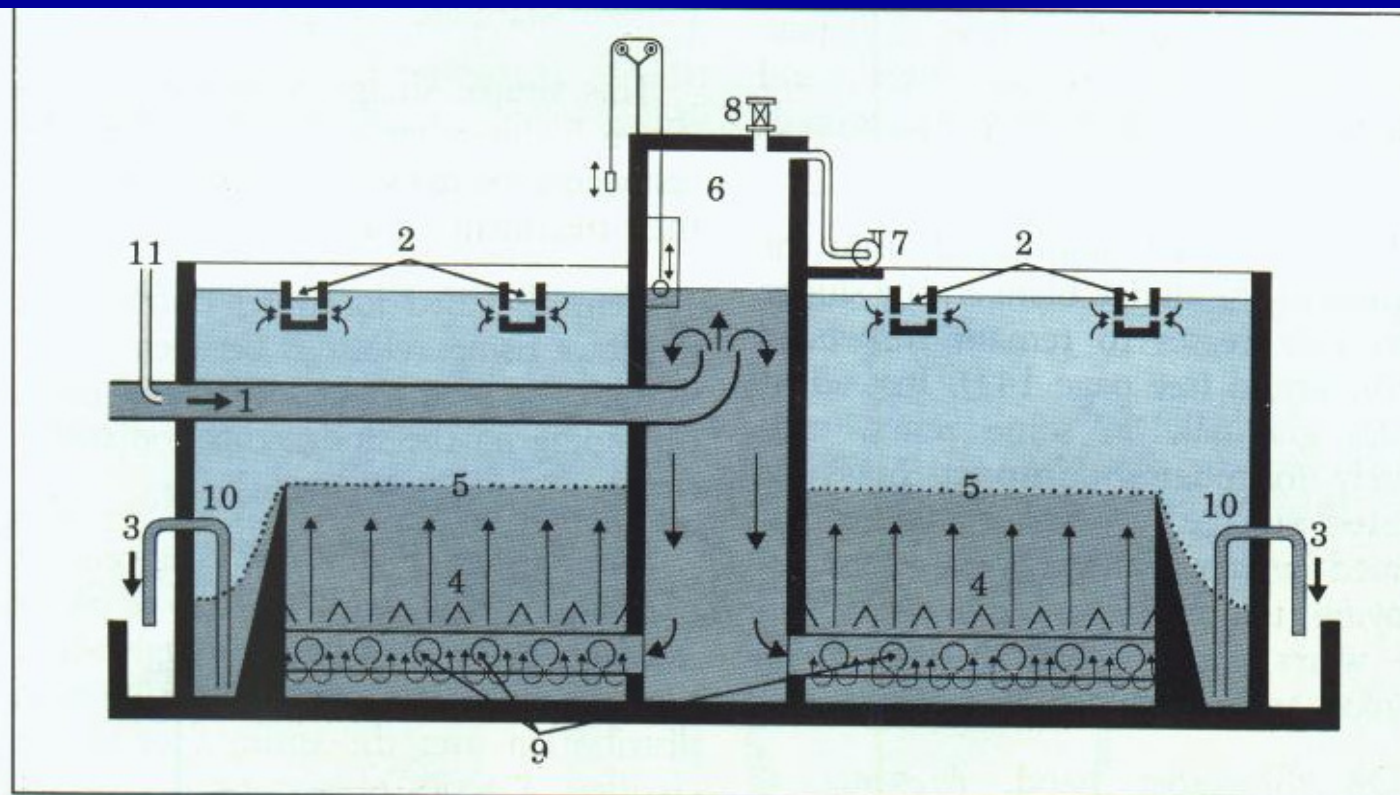
LIMPEZITORE



Limpezitor cu fund perforat:

1 — separator de aer; 2 — tub central; 3 — țevi radiale, găurite; 4 — fund perforat; 5 — rigolă periferică pentru colectarea apei limpezi; 6 — recipient pentru concentrarea nămolului.

Limpezitor “Pulsator”



1 – Raw water inlet.

2 – Clarified water outlet.

3 – Sludge removal.

4 – Stilling baffles.

5 – Upper level of sludge blanket.

6 – Vacuum chamber.

7 – Vacuum pump.

8 – Air release valve.

9 – Raw water distribution system.

10 – Sludge concentrators.

11 – Reagent feed.

Figure 332. Pulsator clarifier.

Limpezitor “Pulsatube”

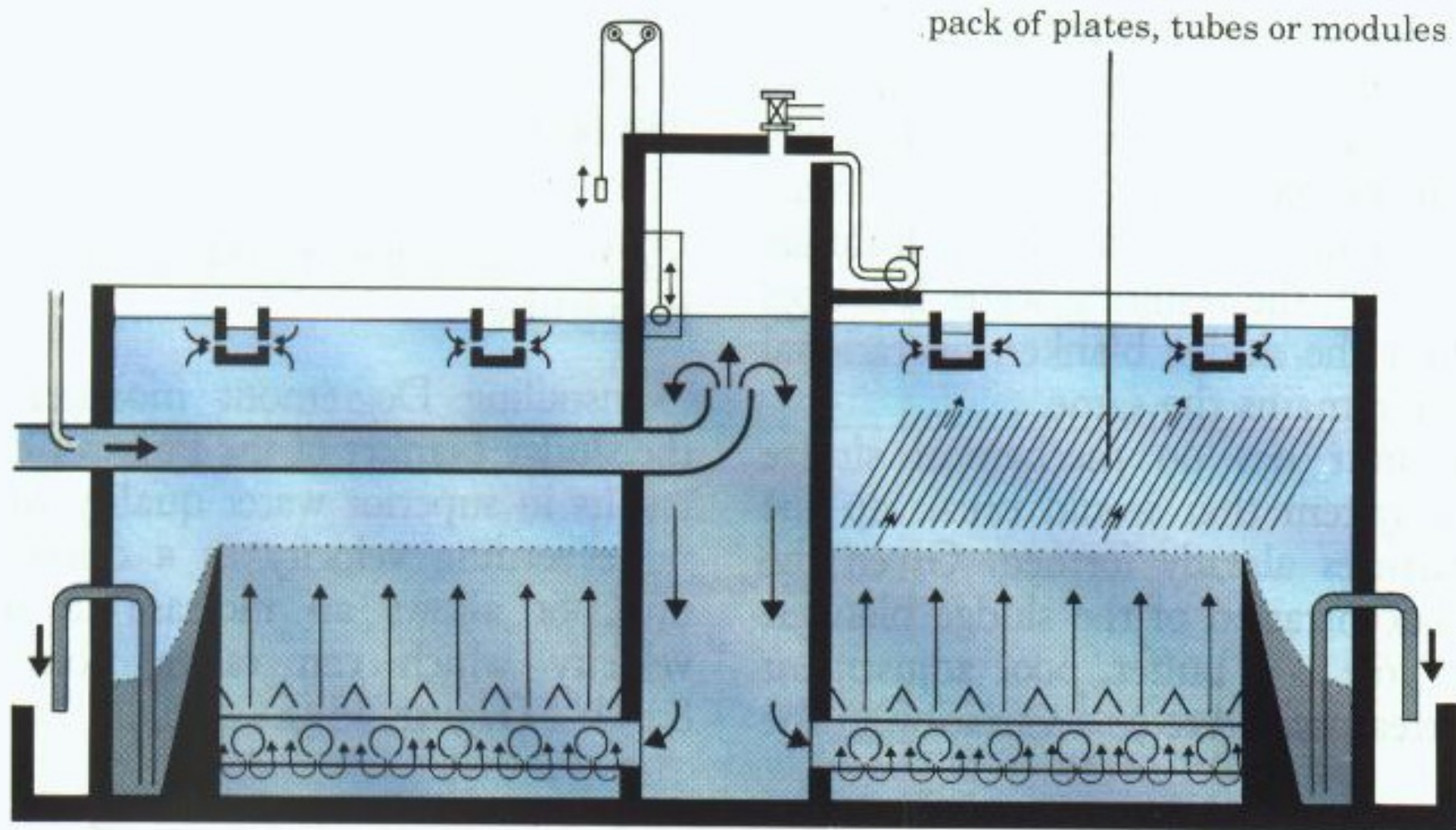
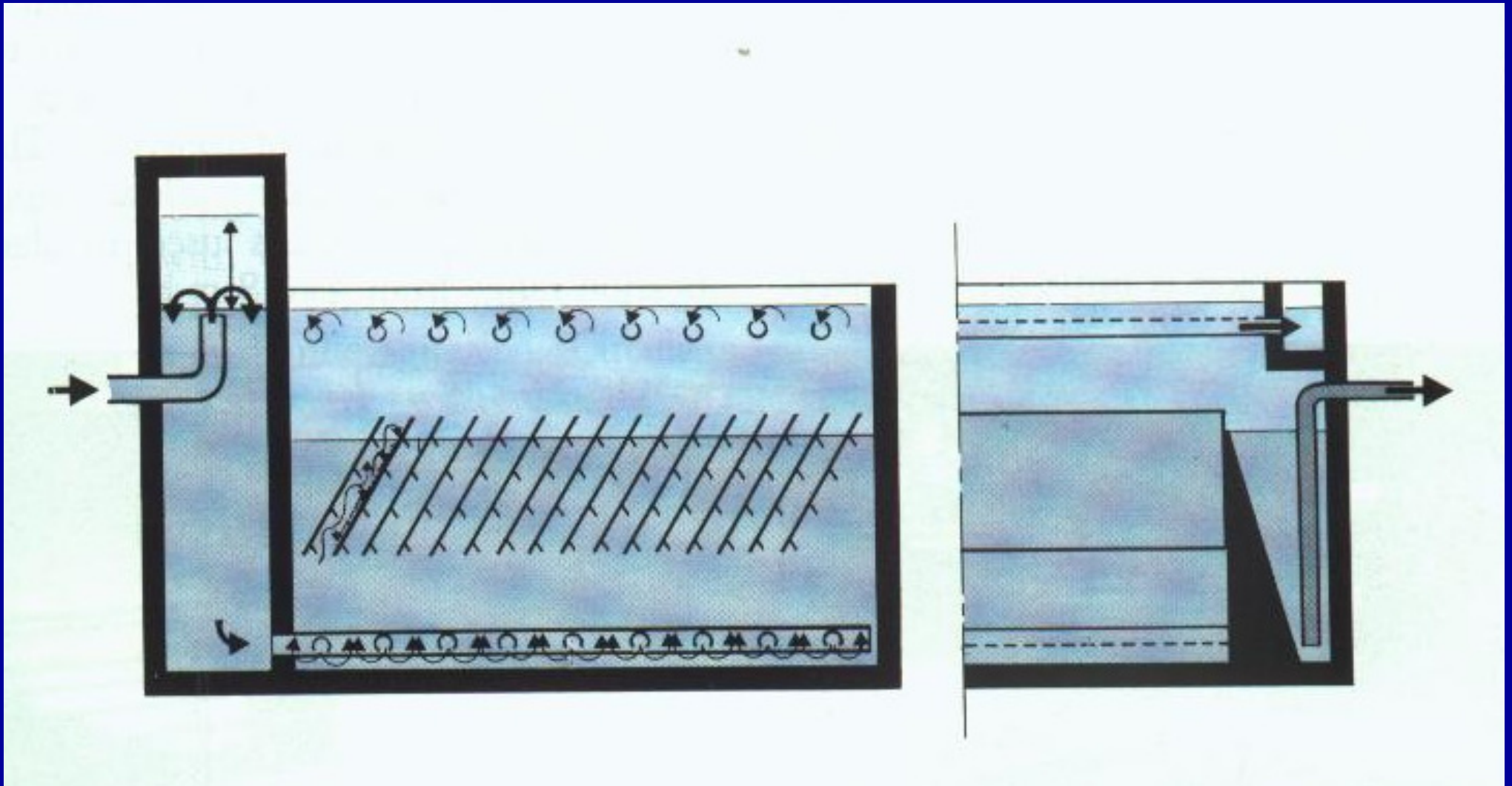
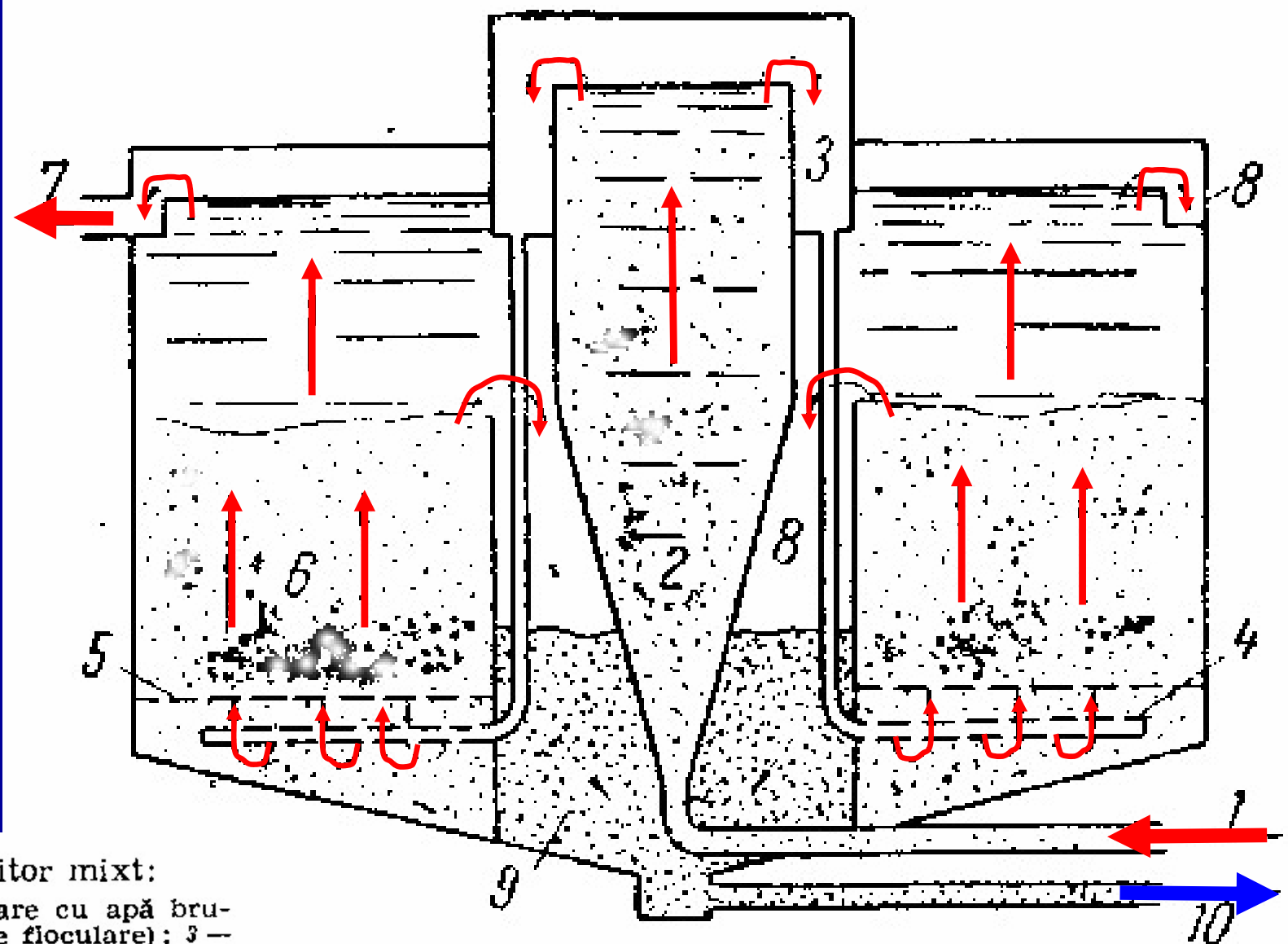


Figure 334. *Lamellae Pulsator clarifier or Pulsatube.*

Limpezitor “Superpulsator”

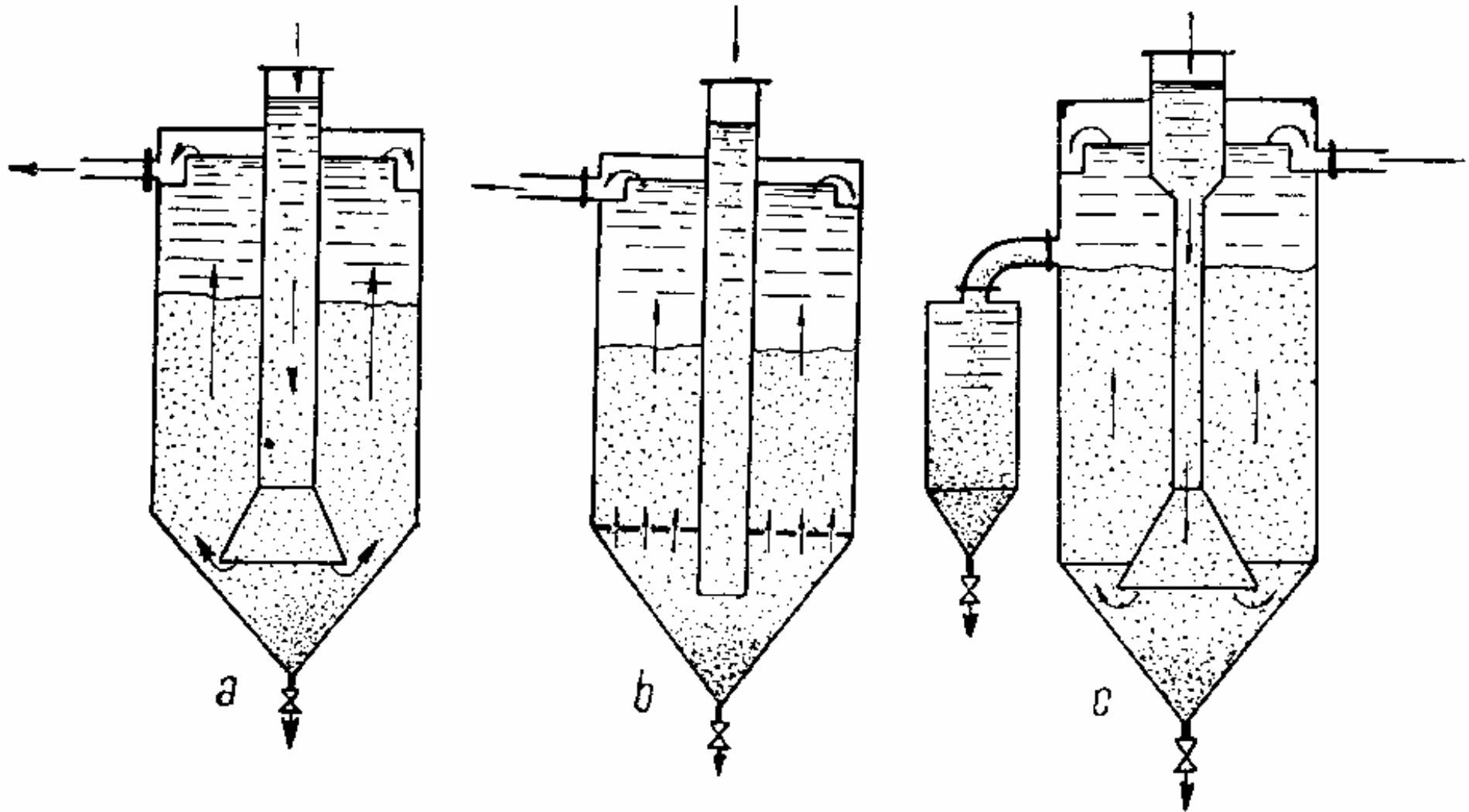




Limpezitor mixt:

1 — conductă de alimentare cu apă brută; 2 — difuzor (spațiu de floculare); 3 — separator de aer (degazor); 4 — țevi radiale găurite; 5 — fund perforat; 6 — strat de suspensie concentrată; 7 — conducte de apă decantată; 8 — rigolă periferică pentru colectarea apei limpezite; 9 — recipient pentru concentrarea nămolului; 10 — conductă pentru evacuarea nămolului concentrat.

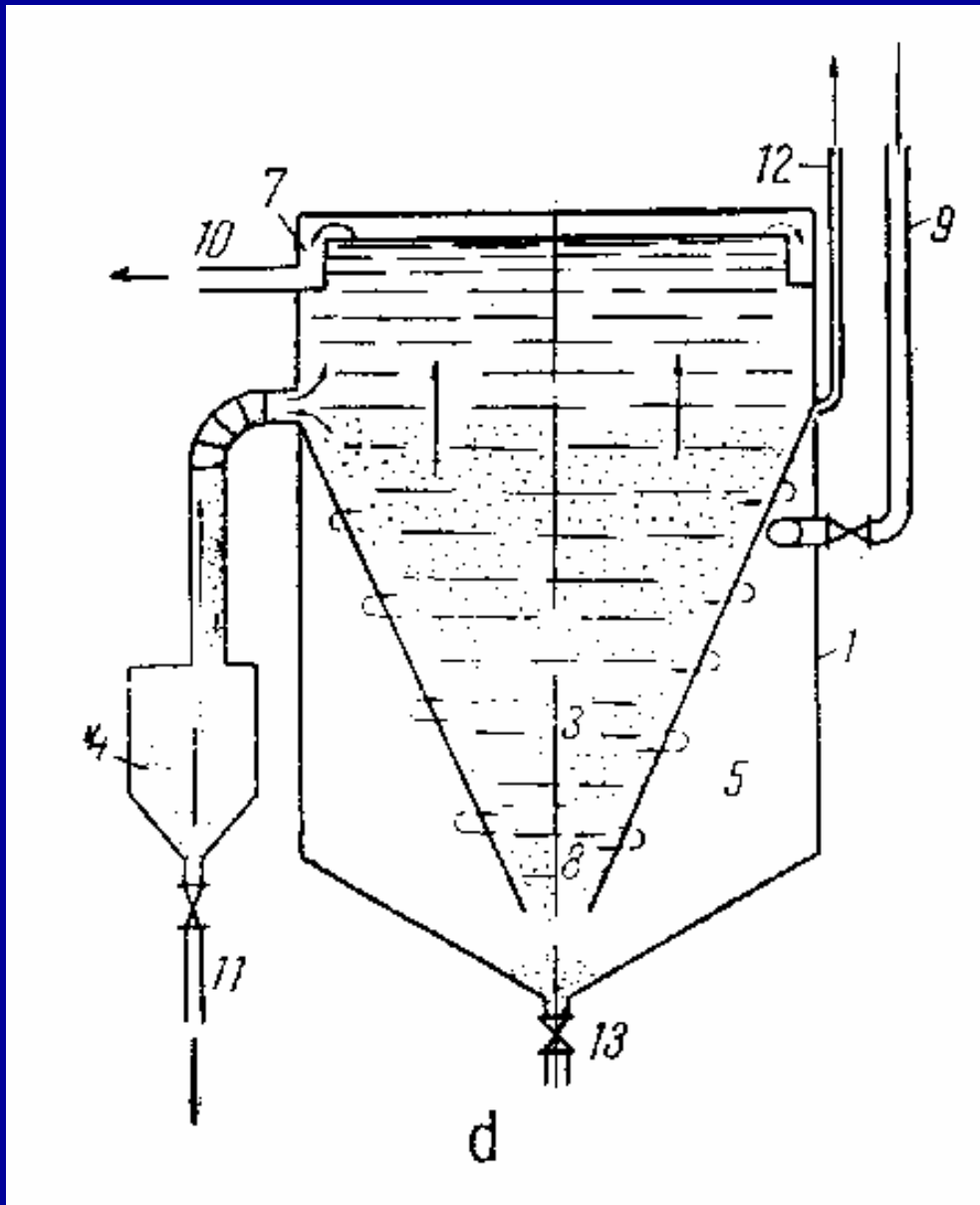
Decantoare transformate in limpezitoare



Decantoare transformate in limpezitoare

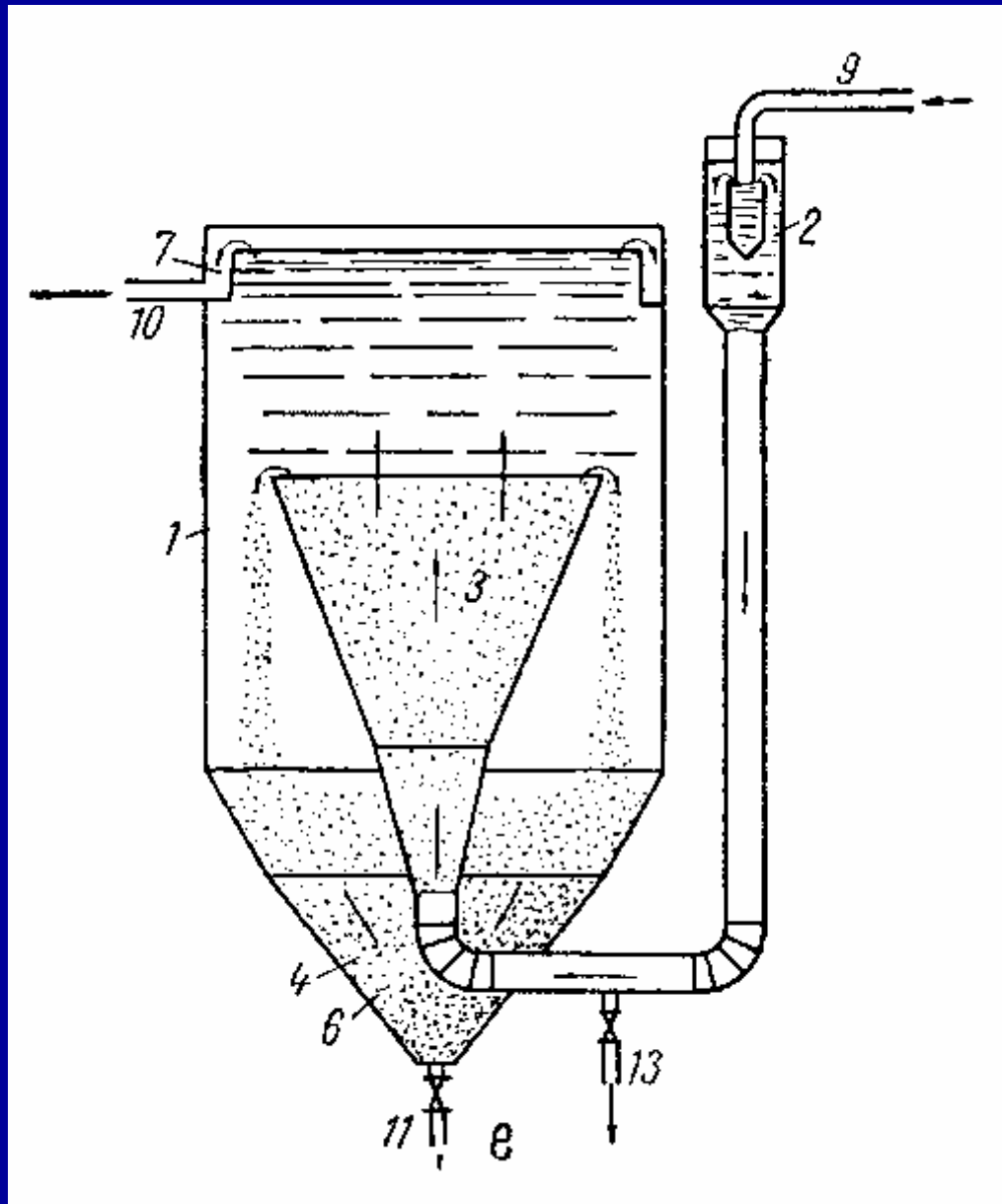
- a. Decantor vertical obisnuit, functionand innamolit: cu un strat gros de suspensie concentrata prin care trece apa bruta;
- b. decantor vertical caruia i s-a adaugat un fund perforat pentru uniformizarea curgerii ascendente;
- c. Decantor vertical completat cu un separator de aer si un concentrator de namol.

Decantoare transformate in limpezitoare



1. manta exterioara
2. separator de aer
3. difuzor
4. concentrator de namol
5. spatiu de reactie
6. fund conic
7. rigola de colectare apa decantata
8. opritor de vortejuri
9. alimentare apa bruta
10. apa decantata
11. evacuare namol
12. aerisire
13. golire de fund

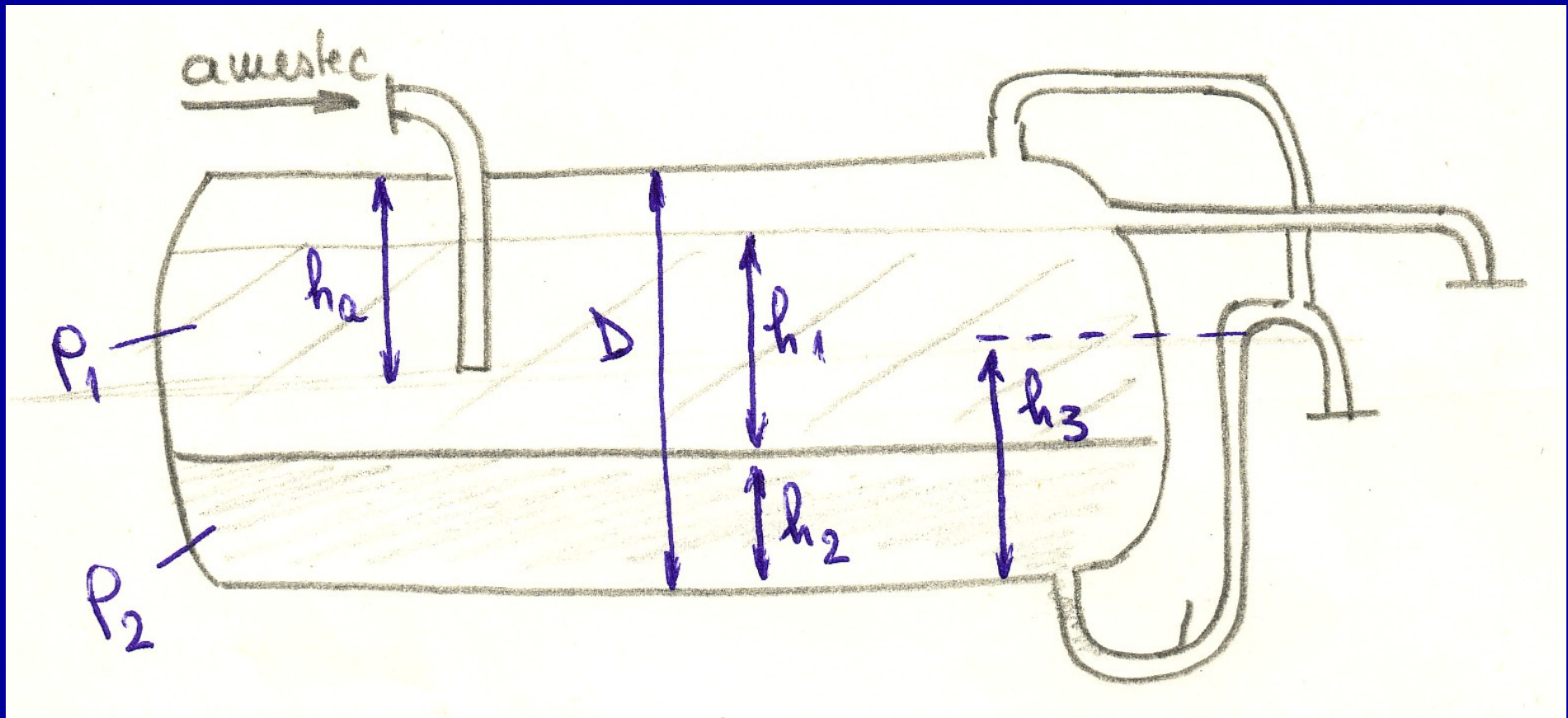
Decantoare transformate in limpezitoare



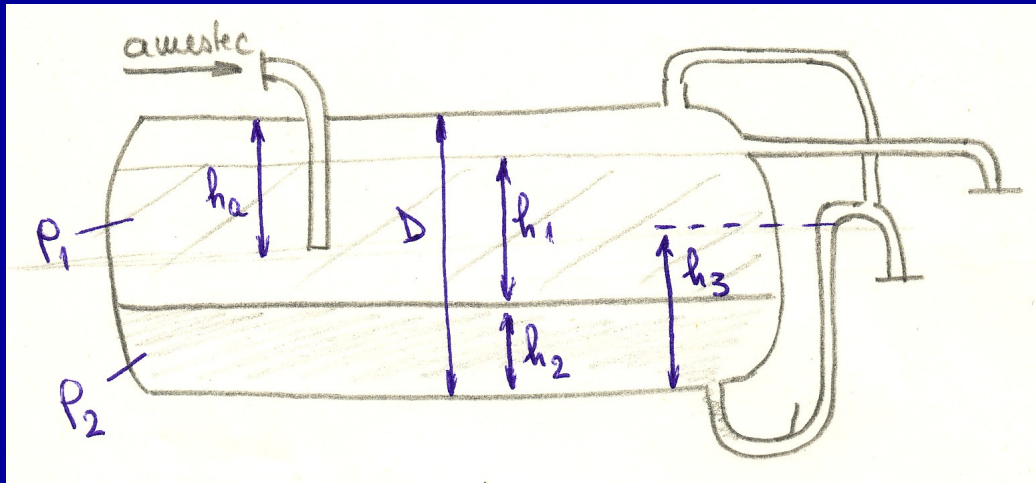
1. manta exterioara
2. separator de aer
3. difuzor
4. concentrator de namol
5. spatiu de reactie
6. fund conic
7. rigola de colectare apa decantata
8. opritor de vartejuri
9. alimentare apa bruta
10. apa decantata
11. evacuare namol
12. aerisire
13. golire de fund

SEPARAREA SUSPENSIIOR L-L

- o Separatoarele L-L (VASE FLORENTINE)
 - Vase cilindrice orizontale sau verticale:



SEPARAREA SUSPENSIIOR L-L



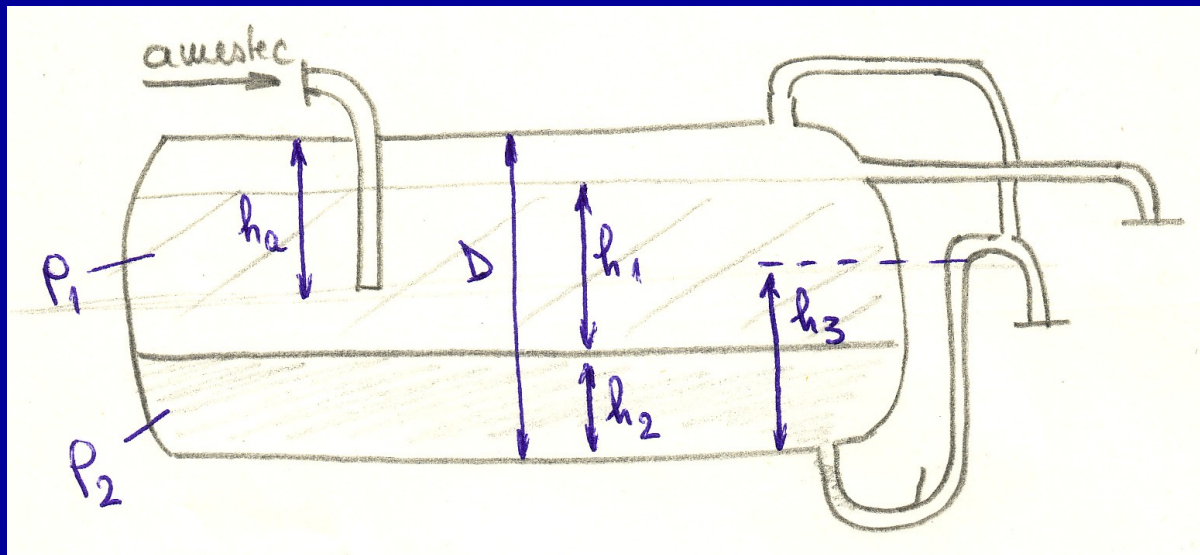
o Pt. evitarea sifonarii, conductele de evacuare sunt legate printr-o linie de echilibru

o Echil. pres. in vas:

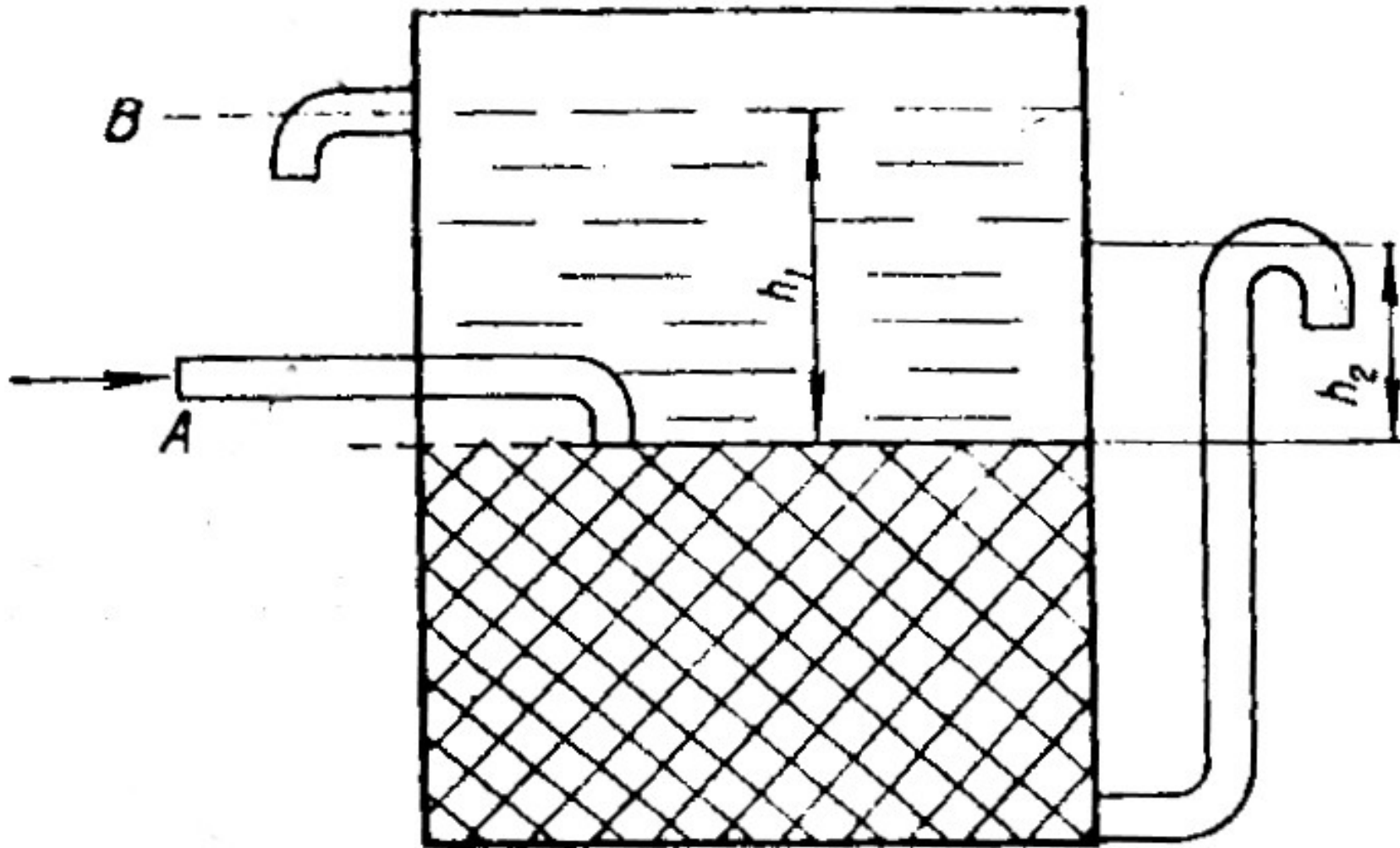
$$h_1 \times \rho_1 \times g + h_2 \times \rho_2 \times g = h_3 \times \rho_2 \times g$$

SEPARAREA SUSPENSIIOR L-L

- o Diferenta de nivel: $\Delta h = h_1 - h_2$ = caracteristica geometrica a aparatului - defineste nivelul interfetei
- o Din inaltimele h se determina diametrul D
- o Lungimea L a separatorului se obtine din timpul de stationare $t_s = f$ (nat. sist. sep.)

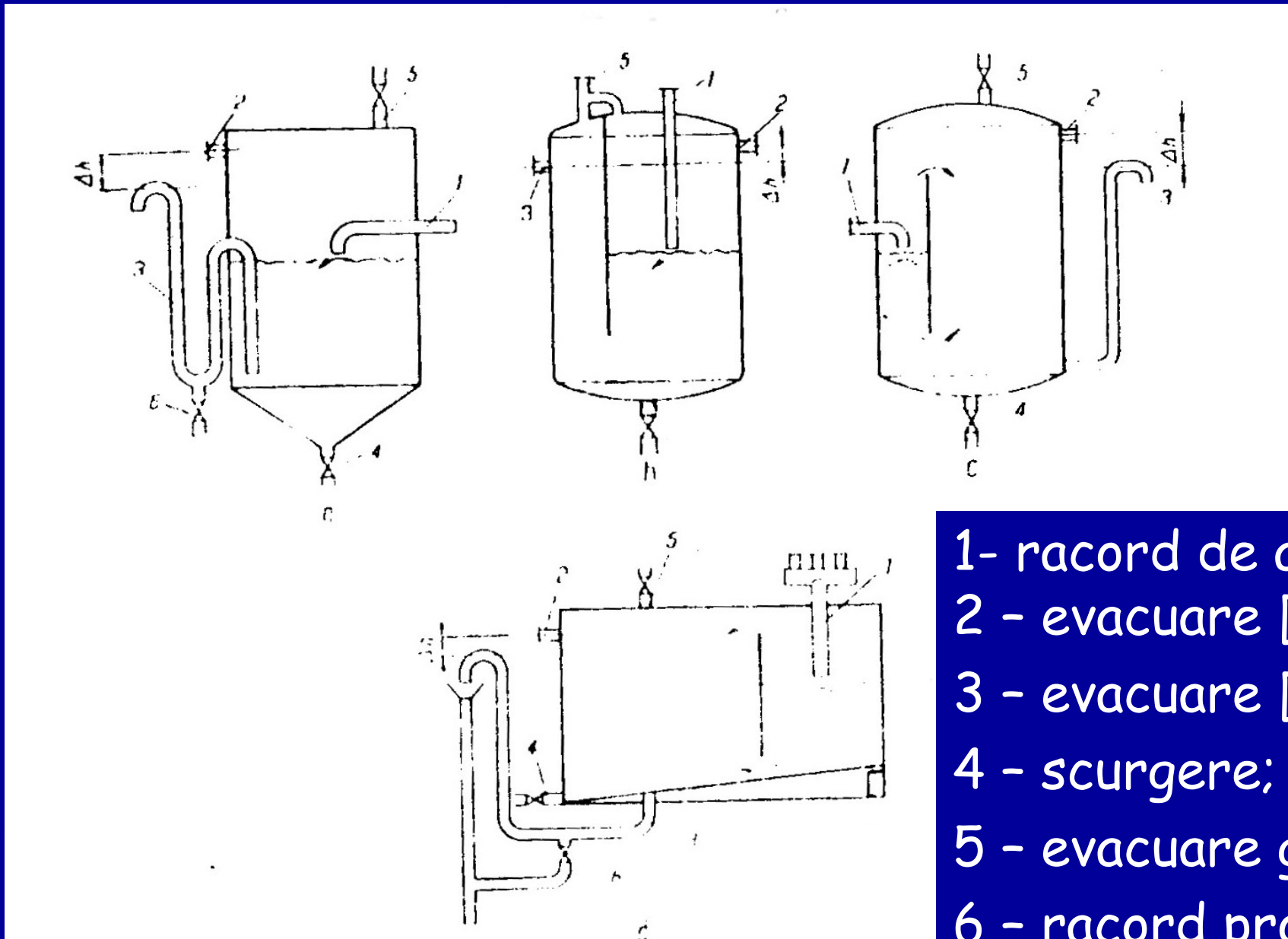


VAS FLORENTIN VERTICAL



Schema decantorului florentin continuu

Vase florentine din ind. uleiului



- 1- racord de alimentare;
- 2 - evacuare [us];
- 3 - evacuare [gr];
- 4 - scurgere;
- 5 - evacuare gaze;
- 6 - racord probe