

## 2. DECANTAREA STATICĂ

### 2.1. Considerații generale

Decantarea statică este o metodă de separare prin sedimentare a particulelor solide dintr-un fluid sub acțiunea forței gravitaționale, de aici și denumirea de separare gravitațională. Utilizarea acestei metode este posibilă în cazul în care particulele solide sunt mai grele decât lichidul suspensiei.

Particulele solide cad sub acțiunea greutatei proprii la fundul rezervorului numit cuvă de decantare, formând un amestec: solid – lichid mai mult sau mai puțin concentrat sub formă de sediment denumit uneori nămol.

Utilajul pentru separare gravitațională se numește decantor. Un decantor se compune de regulă dintr-o cuvă care se alimentează cu suspensia de separat, un dispozitiv pentru extragerea și eliminarea nămolului (sedimentului) format din materialele solide depuse prin sedimentare la fundul cuvei și un dispozitiv pentru recuperarea lichidului limpezit (curățit) care de regulă, depășește cuva și se scurge peste nivelul acesteia.

Metoda sedimentării statice este aplicabilă atât pentru separarea lichid-solid, cât și la separarea sistemelor gaz-solid a suspensiilor cu debite mari. Se poate aplica astfel la epurarea apelor uzate (menajere și industriale), la tratarea apei potabile, precum și la separarea particulelor solide și lichide din gaze.

Pentru a se asigura un proces de sedimentare care să conducă la limpezirea și epurarea completă, un decantor trebuie să îndeplinească cel puțin două condiții de ordin constructiv: volum și suprafață de sedimentare minimale suficiente. Aceste două condiții asigură pe lângă desfășurarea

procesului de decantare și „timpul de așteptare” (timpul de staționare) necesar procesului de coagulare–floculare și formarea stratului gros de sediment numit nămol.

Printre parametrii care influențează comportarea particulelor în suspensie în procesul sedimentării sunt:

- densitatea particulelor solide;
- mărimea și forma particulelor solide;
- densitatea și vâscozitatea fluidului.

Comportarea particulelor solide la sedimentare mai este puternic influențată de concentrația suspensiei și de tendința mai mult sau mai puțin accentuată a particulelor de a se influența unele pe altele în cursul sedimentării.

Procesul de sedimentare statică poate fi abordat luând în considerare patru regimuri de sedimentare:

- a) decantarea particulelor izolate;
- b) decantarea particulelor flocluate (coagulate);
- c) sedimentarea (decantarea) globală;
- d) sedimentarea prin comprimarea nămolului.

Fenomenul care are loc diferă mult de la un regim la altul. De aceea studierea lor separată reprezintă o simplificare a tratării procesului de decantare statică.

## 2.2. Decantarea particulelor izolate

Are loc în cazul suspensiilor diluate în care particulele sunt distanțate și nu se influențează unele pe altele. Dacă o particulă sferică izolată ( $d=3-100 \mu\text{m}$ ) se sedimentează într-un lichid și curgerea în jurul particulei este laminară, aceasta cade cu o viteză constantă dată de **relația lui Stokes**.

Asupra unei particule izolate de formă sferică aflată într-un fluid, acționează forța gravitațională (greutatea particulei)  $G$ , forța arhimedică  $F_A$

și forța de rezistență vâscoasă  $F_V$  (fig. 2.1). Forța gravitațională tinde să depună particula pe fundul cuvei. Celelalte două forțe împiedică sedimentarea particulei. La echilibrul acestui sistem de forțe, se poate evalua viteza de sedimentare a particulei.

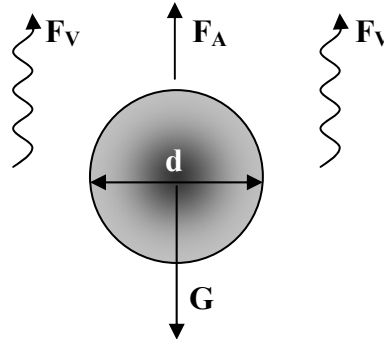


Fig. 2.1. Sistemul de forțe care acționează asupra particulei din suspensie

Astfel se poate scrie  $\sum F_i = 0$ , adică:  $G - F_A - F_V = 0$ .

Greutatea particulei se calculează cu formula:

$$G = m \cdot g = \rho_s \cdot V_s \cdot g = g \cdot \rho_s \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \quad (2.1)$$

unde:  $g$  este accelerația gravitațională;

$\rho_s$  – densitatea particulei solide;

$V_s$  – volumul particulei;

$d$  – diametrul particulei.

Forța arhimedică este dată de greutatea volumului de fluid deplasat de către particulă.

$$F_A = g \cdot \rho_l \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6} \quad (2.2)$$

unde:  $\rho_l$  – densitatea fluidului.

Forța datorată rezistenței vâscoase a fluidului este determinată de vâscozitatea fluidului. Forța de rezistență se opune deplasării, respectiv forței gravitaționale și sedimentării pe fundul cuvei. Expresia forței de rezistență vâscoasă ( $F_V$ ) rezultă astfel:

$$F_v = 3 \cdot \pi \cdot d \cdot v_p \cdot \eta \quad (2.3)$$

unde:  $v_p$  – este viteza de cădere (sedimentare) a particulei;

$\eta$  – vâscozitatea dinamică a fluidului.

Se poate calcula astfel viteza de sedimentare înlocuind termenii în ecuația de echilibru. Rezultă **relația lui Stokes**:

$$v_p = \frac{\rho_s - \rho_\ell}{18\eta} d^2 \cdot g \quad (2.4)$$

pentru calculul vitezei de sedimentare prin decantare statică a particulelor solide de impurități în condițiile curgerii laminare.

Dacă diametrul particulei este mai mare de aproximativ 2 mm, curgerea este turbulentă și viteza de sedimentare este dată de **relația lui Newton**:

$$v_p = \sqrt{3,33 \left( \frac{\rho_s}{\rho_\ell} - 1 \right) d \cdot g} \quad (2.5)$$

Între cele două regimuri de curgere laminară și turbulentă, viteza de sedimentare a particulei este cuprinsă între valorile calculate prin cele două relații de mai sus.

Viteza de deplasare prin decantare a particulelor din suspensie este influențată astfel:

- scade cu micșorarea dimensiunii particulei (fig. 2.2). Particulele mari sedimentează cu viteză mare.
- crește cu diferența dintre densitatea materialului impurității solide și a lichidului suspensiei.
- scade cu vâscozitatea suspensiei.

### 2.3. Calculul debitului fluidului

Se consideră o cuvă de decantare de formă paralelipipedică alimentată la partea superioară cu suspensie de lichid (**F**), la partea inferioară un dispozitiv de eliminare a sedimentului solid (nereprezentat) și

un jgheab deversor pentru lichidul limpezit (**L**). Se presupune că alimentarea, eliminarea nămolului (**S**) și deversarea lichidului limpezit sunt procese care se desfășoară în mod continuu și uniform (fig. 2.3).

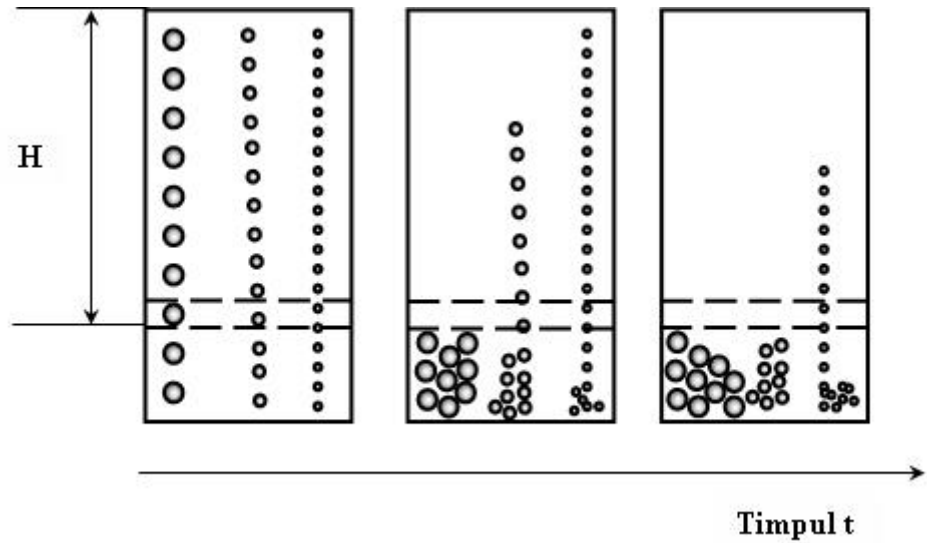


Fig. 2.2. Schema sedimentării în timp a particulelor de mărimi diferite

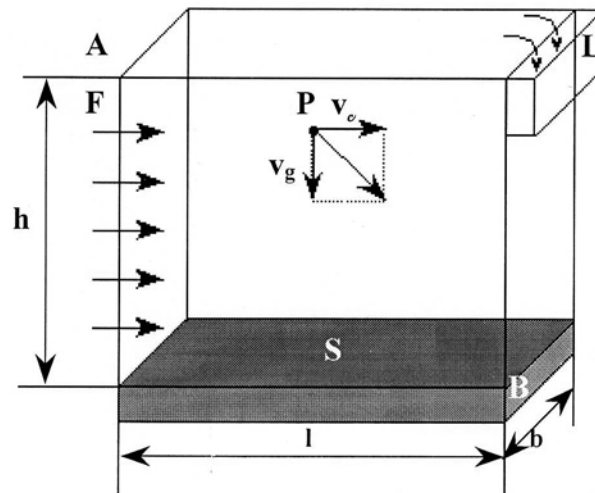


Fig. 2.3. Reprezentarea schematică a cuvei de decantare

Viteza unei particule din suspensia supusă separării, este rezultanta componentelor vitezei de cădere  $v_g$  și a vitezei de curgere a lichidului  $v_c$ , în direcția de deversare.

Timpul mediu de staționare a particulei ( $t$ ) în cuvă se calculează prin raportul dintre volumul cuvei pline  $V$  și debitul lichidului  $Q$ .

$$V = b \cdot h \cdot l \quad (2.6)$$

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{b \cdot h \cdot l}{Q} \quad (2.7)$$

Pentru a fi reținută (prin sedimentare) o particulă trebuie să atingă fundul cuvei înainte de a întâlni extremitatea din dreapta cuvei în direcția de curgere (poziția B).

Se notează cu  $d_{lim}$  (diametrul limită), respectiv diametrul echivalent al particulei care pornind din poziția superioară **A**, întâlnește fundul în extremitatea **B**, iar  $v_{lim}$  – viteza de sedimentare în aceste condiții. Toate particulele mai mari decât cele cu diametrul limită  $d_{lim}$  vor fi reținute pe fundul cuvei.

Timpul necesar pentru particulele cu diametrul limită necesar parcurgerii distanței de la **A** la **B** este:

$$t = \frac{h}{v_{lim}} \quad (2.8)$$

Egalând cele două relații:

$$\frac{b \cdot h \cdot l}{Q} = \frac{h}{v_{lim}} \quad (2.9)$$

$$\frac{b \cdot l}{Q} = \frac{1}{v_{lim}} \quad (2.10)$$

Dacă se notează:  $A = b \cdot l$ , aria suprafeței cuvei, rezultă:

$$Q = v_{lim} \cdot A \quad (2.11)$$

**Q** reprezintă debitul maximal de alimentare al suspensiei care asigură condițiile ca toate particulele solide cu diametrul egal sau superior celui  $d_{lim}$  să fie separate prin sedimentare.

**Concluzii:**

- Debitul maximal al decantorului este proporțional cu suprafața decantorului.
- Înălțimea cuvei nu influențează debitul maximal.

Concluziile rămân valabile și în cazul unor condiții reale de decantare statică.

Particulele de dimensiuni inferioare dimensiunii limită se vor sedimenta în urma tratamentului de coagulare – floculare prin care se aglomerează în agregate de dimensiuni sedimentabile prin decantare.

## **2.4. Decantarea particulelor flocluate**

### ***2.4.1. Coagularea (flocularea) impurităților din suspensii***

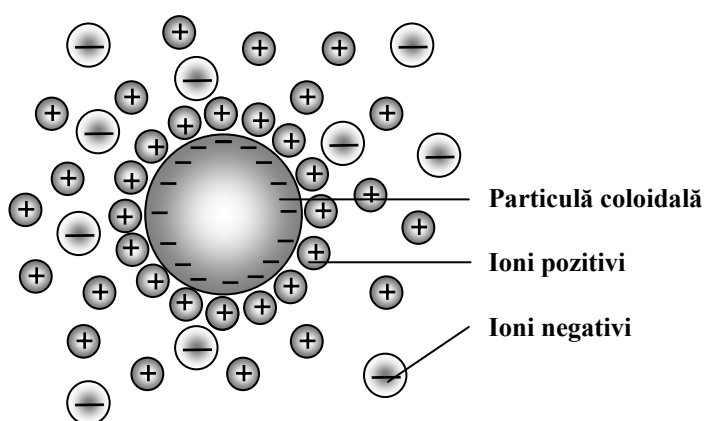
Prin decantare nu se pot elimina suspensiile foarte fine și cele coloidale (particule cu dimensiuni mai mici de  $1\mu\text{m}$ ), oricât de mare ar fi timpul de sedimentare, datorită echilibrului între sedimentare și difuziune, în care se află aceste suspensii. Când cantitatea de particule foarte fine și coloidale existente în fluidul supus decantării depășește (10–20) %, atunci este necesar tratamentul de coagulare - floculare a suspensiei, deoarece majoritatea particulelor au un diametru mai mic decât al porilor filtrelor într-o eventuală operație de filtrare.

Procesul de coagulare constă în creșterea dimensiunilor particulelor fazei disperse prin alipirea sau prin contopirea lor. Existența sarcinilor electrice de același semn (forțe electrostatice de respingere), influențează în mod deosebit stabilitatea sistemului coloidal, deoarece ele împiedică aglomerarea particulelor fazei disperse.

Stabilitatea sistemelor coloidale este asigurată de doi factori, unul electrostatic și unul steric, care împiedică aglomerarea particulelor.

**Factorul electrostatic** – se bazează pe forțele de repulsie electrostatică care apar între particulele încărcate superficial cu sarcini de același semn. Existența sarcinilor superficiale determină stabilitatea acestor particule, deoarece forțele de repulsie electrostatice sunt suficient de puternice pentru a împiedica aglomerarea lor.

În jurul particulelor coloidale încărcate de obicei negativ se formează un strat dublu electric, format dintr-un strat compact și unul difuz de particule încărcate pozitiv (fig. 2.4).



*Fig. 2.4. Reprezentarea stratului dublu electric care se formează în jurul particulei coloidale*

Între particula încărcată electric și soluție apare o diferență de potențial. În figura 2.5, este reprezentată variația potențialului electrostatic în vecinătatea particulei coloidale.

Între particule acționează și forțe de atracție van der Waals. Dacă aceste forțe de atracție sunt mai mici decât forțele de respingere electrostatică, sistemul coloidal este stabil.

Pe de altă parte, există o serie de interacțiuni între apă și particulele coloidale solide, care împiedică, de asemenea aglomerarea.



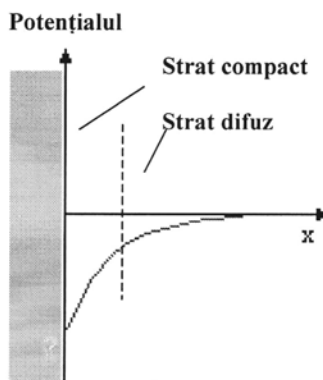


Fig. 2.5. Variația potențialului electrostatic cu distanța în electrolit în vecinătatea particulei coloidale

**Factorul steric** – se bazează pe adsorbția la suprafața particulelor a unor substanțe polimerice sau a unor amfifile, care acționează ca o barieră mecanică protectoare ce împiedică coagularea și aglomerarea particulelor.

Pentru ca aceste particule să poată fi separate prin sedimentare, flotație sau filtrare, este necesar un tratament chimic care să anuleze interacțiunile dintre particulele coloidale și apă și să inițieze aglomerarea și depunerea particulelor.

Formarea agregatelor începe cu apropierea particulelor datorită reducerii forțelor de respingere electrostatice, prin introducerea în mediul lichid a unor electroliți capabili să genereze ioni cu încărcare electrică opusă încărcării particulelor coloidale (contraioni). Ionii formați sunt adsorbiți la suprafața particulelor coloidale neutralizând sarcina electrică a acestora. Un alt efect constă în comprimarea stratului dublu electric difuz, conducând la scăderea razei de acțiune a forțelor electrostatice de respingere, astfel încât se ajunge să predomine forțele de atracție van der Waals. Efectul electrolitului coagulant crește foarte mult cu creșterea sarcinii ionilor.

În consecință, coagularea este un proces fizico–chimic complex de tratare a lichidelor (de exemplu tratarea apei potabile sau a apelor uzate), cu reactivi chimici electroliți sau agenți superficial activi), cu scopul eliminării

particulelor fine, coloidale sau cvasi coloidale, având loc totodată și eliminarea, într-o măsură mai mică sau mai mare, a unor poluanți prezenți și a microorganismelor. Coagularea poate fi considerată ea însăși o metodă de epurare pentru limpezirea apelor uzate sau pentru tratarea apei potabile.

Acest procedeu de tratare a apei se poate realiza cu ajutorul unor reactivi chimici. Oricare ar fi tehnologia aplicată, procesul de coagulare (floculare) reprezintă una din cheile succesului tratării și epurării apelor.

Coagularea poate fi considerată ca fiind rezultatul a două procese distincte: destabilizarea sistemului coloidal al particulelor și transportul particulelor destabilizate.

În procesul de destabilizare a dispersiei coloidale, sistemul coloidal stabil se transformă în sisteme instabile, prin intermediul substanțelor de coagulare.

Procesul de transport aduce în contact particulele coloidale destabilizate, favorizând aglomerarea lor.

Reactivii de coagulare frecvent utilizați la coagularea suspensiilor din apă sunt din categoria sărurilor de fier și de aluminiu, conținând ioni cu sarcină mare, +3 sau +2, ca de exemplu:

- sulfatul de aluminiu:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ;
- hidroxidul de aluminiu:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ;
- sulfatul feros:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;
- sulfatul feric:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ;
- clorura ferică:  $\text{FeCl}_3$ .

În unele cazuri se pot utiliza aluminatul de sodiu ( $\text{NaAlO}_3$ ), oxidul de calciu (varul) ( $\text{CaO}$ ) sau hidroxidul de calciu (laptele de var) ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

În ultimii 40 de ani au fost elaborați numeroși coagulanți organici, precum și anorganici, dintre care menționăm policlorura de aluminiu, iar la ora actuală aceștia fiind folosiți pe scară largă. O mare parte dintre aceștia pot determina apariția unor probleme de sănătate, în cazul în care se folosesc pentru tratarea apei potabile, dacă se depășesc anumite concentrații. În unele țări utilizarea pentru tratarea apelor potabile a coagulanților

polielectroliți cationici este categoric interzisă. Utilizarea coagulanților polielectroliți neionici sau anionici nu este restricționată total, dar concentrația lor admisă în apa potabilă este reglementată. Polielectroliții se utilizează însă fără probleme pentru tratarea apelor de canalizare, sau în industria minieră.

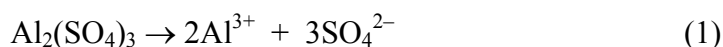
Pentru coagularea unor substanțe complexe existente în apă și pentru a se crea condiții favorabile coagulării se mai utilizează oxidanți ca permanganatul de potasiu ( $\text{KMnO}_4$ ), sau ozonul ( $\text{O}_3$ ).

Coagularea este procesul în care între produșii de hidroliză ai coagulanților (săruri de aluminiu sau de fier) și particulele solide coloidale se formează legături stabile, rupându-se legăturile dintre apă și faza solidă dispersă, creându-se condițiile necesare coagulării și floculării ulterioare.

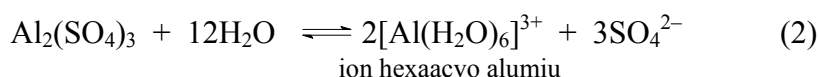
Sărurile de Al și Fe adăugate au un dublu efect:

1. ionii ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ) neutralizează sarcina electrică a particulelor coloidale, ușurând coagularea lor;
2. prin hidroliză formează ele însele un gel care înglobează agregatele de particule coloidale, favorizând depunerea.

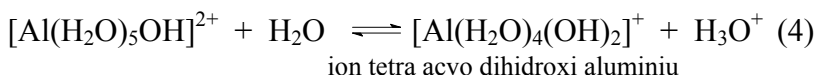
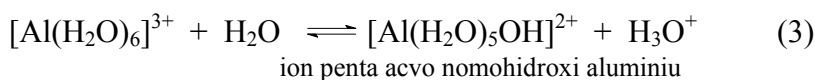
Luând în discuție cazul particular al sulfatului de aluminiu, acesta este format din ioni de aluminiu și ioni de sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ):

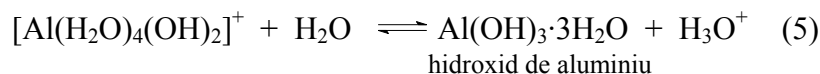


Ionii  $\text{Al}^{3+}$  sunt termodinamic instabili, de aceea în soluție apoasă se vor găsi sub formă hidratată, ca hexaaquocomplecși,  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ , care se formează imediat după adăugarea coagulantului ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) în apă:

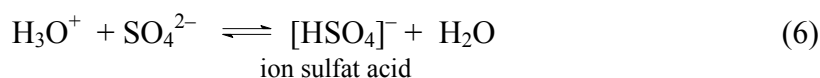


În urma reacției cu apa, un proton din acvocomplex este cedat unei molecule de apă, cu formarea unui ion hidroniu (oxoniu)  $\text{H}_3\text{O}^+$  având loc următorul lanț de reacții:





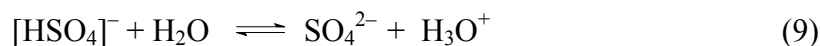
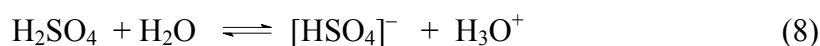
Ionii pozitivi de hidroniu formați în urma reacțiilor 3–5, reacționează cu ionii negativi din mediu (ionii sulfat – formați în urma reacției 2):



Ionii de sulfat acid reacționează în continuare cu ionii hidroniu, cu formarea acidului sulfuric ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ):



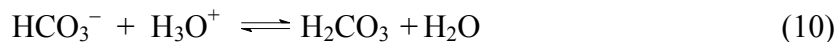
Acidul sulfuric fiind un acid tare, disociază imediat cu formarea ionilor de hidroniu și a ionilor de sulfat acid și sulfat:



Reacțiile 2–5 sunt reacții de echilibru, iar echilibrul poate fi deplasat spre dreapta, doar dacă acidul ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) format este înlăturat din sistem.

Se stabilește astfel un echilibru dinamic între speciile ionice existente în soluție:  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ,  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5\text{OH}]^{2+}$ ,  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . Acidul sulfuric prezent în sistem împiedică deplasarea totală a echilibrului de reacție spre dreapta, de aceea în apa distilată nu se formează hidroxid de aluminiu, esențial în procesul de coagulare și nici flocoane.

Echilibrul dinamic stabilit nu se poate deplasa spre dreapta, decât dacă se reușește îndepărtarea permanentă a ionilor de hidroniu din vecinătatea ionilor complecși de aluminiu. Aceasta se poate realiza doar în cazul în care ionii  $\text{H}_3\text{O}^+$  vor forma legături stabile în urma reacției cu carbonații acizi de calciu ( $\text{CaHCO}_3$ ) și magneziu ( $\text{MgHCO}_3$ ) prezenți în apă, când se formează acidul carbonic ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) și apă:



Acidul carbonic format fiind un acid slab va fi puțin disociat. Deoarece este instabil se descompune ușor în dioxid de carbon ( $\text{CO}_2$ ) și apă:



Dioxidul de carbon format se va degaja din apă, deplasând echilibrul reacțiilor 3–5 spre formarea hidroxidului de aluminiu puțin solubil în apă.

Dacă apa nu conține cantități suficiente de bicarbonați de calciu și magneziu, care au rolul de a asigura capacitatea de tamponare a sistemului, pH-ul apei va scădea din cauza formării acidului sulfuric, iar procesul de hidroliză cu formarea hidroxidului de aluminiu va fi împiedicat. De aceea în unele cazuri în apă se adaugă compuși bazici:

- var stins (hidroxid de calciu,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ );
- sodă (carbonat de sodiu,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ );
- sodă caustică (hidroxid de sodiu,  $\text{NaOH}$ ),

pentru neutralizarea acidului sulfuric format.

Deci hidroliza ionilor de  $\text{Al}^{3+}$  în urma reacțiilor 2–5 este insuficientă pentru producerea flocoanelor de hidroxid de aluminiu (sau de fier în cazul utilizării unui coagulant pe bază de Fe), dacă valoarea pH-ului scade prea mult. Reacțiile 3–5 au loc doar simultan cu reacțiile 10 și 11.

Reacții asemănătoare au loc în cazul utilizării unui coagulant care conține ioni  $\text{Fe}^{3+}$ .

În condiții de pH favorabil, ionii de aluminiu sau fier hidrolizează, conducând la formarea produșilor finali de reacție (ioni complecși de aluminiu, hidroxid de aluminiu, hidroxid de fier).

Ionii complecși de aluminiu sau fier fiind încărcăți pozitiv interacționează cu particulele coloidale încărcate negativ. Anulând sarcinile negative, particulele coloidale nu se mai resping și se pot ulterior aglomera.

Ionii complecși de aluminiu pot de asemenea suferi reacții de polimerizare în urmă cărora se formează ioni polimerici puțin solubili:  $[\text{Al}_2(\text{OH})_4]^{2+}$ ,  $[\text{Al}_6(\text{OH})_{15}]^{3+}$ ,  $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{+4}$ , ...,  $[\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}]^{+5}$ . Acești ioni polimerici pot la rândul lor să formeze legături stabile cu particulele solide dispersate, modificându-le sarcina electrică și declanșând procesul de aglomerare.

Pentru înlăturarea eficientă a particulelor aflate în suspensie, e necesar să se formeze legături stabile între ionii complecși solubili ai Al (Fe), hidroxidul de aluminiu puțin solubil și particulele dispersate, într-un interval de timp de (10–15) secunde de la introducerea coagulantului, altfel nu are loc procesul de coagulare, chiar dacă în apă se formează flocoane de hidroxid de aluminiu. De aceea trebuie asigurate condițiile în care reacția de hidroliză are loc rapid, în timp ce formarea hidroxidului de aluminiu să aibă loc mai lent. Acest deziderat se poate atinge printr-o amestecare energetică (mecanică sau hidraulică), timp de 30 secunde ...1 minut, după adăugarea coagulantului. Amestecarea rapidă inițiază efectul de destabilizare a hidroxizilor de aluminiu sau fier asupra coloizilor din apă asigurând:

- dispersia cât mai rapidă a coagulantului în apă;
- un contact intim al tuturor particulelor coloidale cu coagulantul hidrolizat;
- condițiile necesare desfășurării rapide a reacției de hidroliză;
- îndepărtarea rapidă a ionilor sulfat din vecinătatea ionilor complecși de aluminiu sau fier (III);
- accesul ionilor de bicarbonat în vecinătatea ionilor complecși de aluminiu.

De asemenea amestecarea rapidă împiedică aglomerarea prea rapidă a flocoanelor de hidroxid de aluminiu (floculația secundară).

Pentru asigurarea unei amestecări rapide, este importantă dizolvarea coagulanților și floculanților înainte de introducerea în apă.

Inițierea proceselor de coagulare are loc de obicei în camerele de amestecare.

Amestecarea mecanică se poate realiza cu ajutorul agitatoarelor sau prin insuflare de aer comprimat.

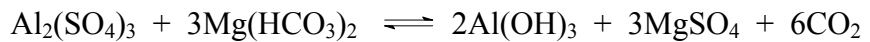
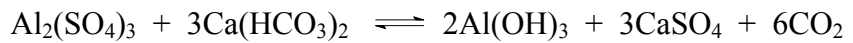
Faza a doua de floculare (creșterea flocoanelor formate) se realizează în camerele de reacție, timp de (10–40) de minute (în funcție de necesitățile impuse de tratamentele aplicate ulterior și de temperatura apei), pentru asigurarea formării particulelor aglomerate care pot fi separate prin metode de separare solid–lichid grosiere sau fine. Procesul efectiv de floculare

necesită un regim lent de amestecare pentru a permite contactul dintre particulele gelatinoase de hidroxid de aluminiu și a flocoanelor mici între ele.

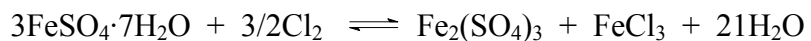
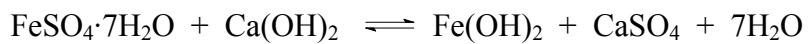
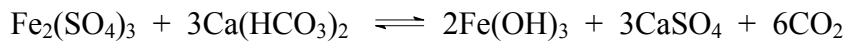
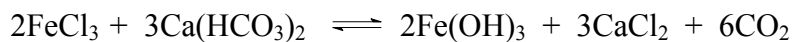
Există și reactoare (cuve) de separare care funcționează în flux continuu. În cazul acestora, timpul de amestecare rapidă a coagulanților trebuie să fie semnificativ mai scurt.

De asemenea flocularea poate fi realizată într-o rețea de conducte sau canale. Necesitatea existenței unei etape separate de floclare depinde de tipul tratamentului aplicat ulterior apei.

Simplificat, în cazul utilizării sulfatului de aluminiu pentru coagulare, făcând abstracție de etapele intermediare ale reacțiilor, se poate considera că acesta reacționează direct cu bicarbonații de calciu și magneziu existenți în apă:



În continuare sunt prezentate reacțiile care au loc între diferiți coagulanți, bicarbonații prezenți în apă și hidroxidul de calciu adăugat pentru corectarea pH-ului, în prezența oxigenului sau a clorului.



Hidroxidul feric format are rol în procesul de coagulare - floclare.

#### ***2.4.2. Viteza procesului de coagulare***

Procesul de coagulare poate avea loc dacă se neutralizează sarcinile superficiale ale particulelor, iar aceste particule se ciocnesc. Dacă se presupune că forțele de repulsie electrostatice sunt nule, ca rezultat al

tratamentului cu coagulantul, viteza de coagulare depinde de mișcarea browniană. În conformitate cu teoria lui Smoluchowski, coagularea cea mai rapidă va avea loc dacă fiecare ciocnire dintre particulele coloidale conduce la aglomerarea particulelor. Timpul de înjumătățire (timpul în care numărul inițial de particule se reduce la jumătate) este redat de relația:

$$t_{1/2} = \frac{1}{8\pi \cdot D \cdot r_0 \cdot n_0} \quad (2.12)$$

unde:  $D$  – este coeficientul de difuzie;  
 $r_0$  – raza inițială a particulei coloidale;  
 $n_0$  – numărul inițial de particule din mediu.

Constanta de difuzie  $D$  se poate calcula cu relația:

$$D = \frac{k \cdot T}{6\pi \cdot \eta \cdot r_0} \quad (2.13)$$

unde:  $k$  – este constanta lui Boltzmann –  $1,38 \times 10^{-23}$  [J/K];  
 $T$  – temperatura absolută [K];  
 $\eta$  – vâscozitatea lichidului.

Înlocuind expresia constantei de difuzie în expresia timpului de înjumătățire se obține:

$$t_{1/2} = \frac{3 \cdot \eta}{4 \cdot k \cdot T \cdot n_0} \quad (2.14)$$

Timpul de înjumătățire care depinde de vâscozitatea mediului, temperatură și de concentrația particulelor (numărul de particule coloidale) este cu atât mai mic, cu cât concentrația particulelor este mai mare, deci viteza de coagulare va fi cu atât mai mare cu cât concentrația inițială a sistemului coloidal este mai mare.

În realitate, nu toate ciocnirile sunt eficiente, unele dintre ciocniri sunt elastice, nu duc la aderarea particulelor între ele.



Dacă doar o fracțiune  $\beta$  dintre ciocnirile dintre particule conduce la aderarea particulelor, expresia timpului de înjumătățire devine:

$$t_{1/2} = \frac{1}{8 \cdot \beta \cdot \pi \cdot D \cdot r_0 \cdot n_0} \quad (2.15)$$

În realitate procesul de coagulare este mai complex, fiind influențat și de alți factori dintre care amintim distanța dintre particule, existența unei bariere energetice pentru ciocniri, etc.

Particulele dintr-o suspensie se atrag reciproc, se aglutinează, adică se spune că flocoază. Flocularea poate fi naturală sau accelerată prin mijloace artificiale. Mărimea agregatului (numite flocoane) crescând, viteza de sedimentare crește progresiv.

Viteza de creștere a floculilor, numită și viteză de floclare este deci un factor important pentru dimensiunea cuvei de decantare. Viteza de floclare influențează procesul de sedimentare pe ansamblul său.

R.H. Van Note și R.A. Fiedler au demonstrat că viteza de floclare variază cu pătratul concentrației părții solide a suspensiei. Altfel spus, viteza de descreștere a concentrației materiei solide nefloclate este proporțională cu pătratul acestei concentrații (este un proces cinetic de ordinul 2 în raport cu concentrația).

Astfel se poate scrie relația:

$$\frac{-dC}{dt} = K \cdot C^2 \quad (2.16)$$

Prin integrare se obține:

$$\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} = K \cdot t \quad (2.17)$$

unde:  $K$  este constanta de floclare;

$t$  – timpul de așteptare pentru floclare;

$C$  – concentrația solidului la timpul  $t$ ;

$C_0$  – concentrația solidului la timpul  $t=0$ .

Constanta **K** poate fi determinată experimental.

Cunoscând valoarea **C** și **C<sub>0</sub>** se poate calcula timpul teoretic **t** necesar floculării pentru atingerea concentrației **C** a solidului. Dar un decantor nu are o eficacitate egală cu 1 când funcționează continuu. Eficacitatea variază în general între (30–70) %. Trebuie deci multiplicat volumul teoretic calculat al cuvei cu un coeficient de eficacitate.

**Pentru un debit dat, această metodă nu permite decât determinarea volumului decantorului fără a permite calcularea suprafeței și înălțimii acestuia.**

Determinarea suprafeței decantorului pentru regimul de funcționare ca decantor – limpezitor cu tratament de coagulare, se poate face printr-o metodă pur empirică, dar care dă rezultate corecte.

Calculul suprafeței necesare a decantorului se face în modul următor. Cea mai mare parte a particulelor sedimentează la o anumită viteză, denumită în general ”viteză de sedimentare globală”. Această viteză poate fi determinată experimental (de exemplu în eprubetă). Viteza medie de alimentare a lichidului în cuvă trebuie să fie cel mult egală cu viteza de sedimentare globală.

Cunoscând viteza și debitul de alimentare, se calculează suprafața cuvei. Având volumul și suprafața se poate calcula înălțimea cuvei.

### ***2.4.3. Factorii procesului de coagulare – floculare***

Factorii care influențează procesele de coagulare sunt:

- natura coagulantului;
- cantitatea coagulantului;
- pH-ul apei;
- alcalinitatea apei;
- temperatura apei;
- compoziția chimică a apei;
- concentrația și natura fazei solide în suspensie;

- volumul flocoanelor formate;
- potențialul electrocinetic Zeta (PZ).

**Natura coagulantului.** Alegerea coagulantului se face în funcție de tipul coloizilor prezenți în apă, astfel încât:

- coagulantul să aibă o viteză și o capacitate cât mai mare de coagulare;
- să se formeze floccule mari, consistente cu densitate mare.

De asemenea coagulantul se alege în funcție de pH-ul apei tratate, deoarece fiecare coagulant are un domeniu optim de pH de hidroliză și de coagulare.

**Cantitatea coagulantului.** Stabilirea cantității de coagulant necesar se face prin încercări de laborator. În general, dozele de coagulant cresc odată cu conținutul de substanțe coloidale și de materii organice din apa brută.

**pH-ul.** Așa cum s-a arătat anterior, pH-ul este un factor decisiv în procesul de coagulare. În cazul utilizării sulfatului de aluminiu la pH acid nu are loc formarea hidroxidului de aluminiu, deci nici procesul de coagulare. Dacă același sulfat de aluminiu se utilizează la pH bazic, în apă se pot forma produși solubili, care de asemenea nu vor declanșa procesele de coagulare. De asemenea, creșterea pH-ului poate influența forma în care particulele coloidale se găsesc în apă. Astfel, acizii humici insolubili sunt transformați în humați solubili care nu coagulează.

Pentru corectarea pH-ului în apă se adaugă agenți de alcalinizare (sodă –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , sodă caustică –  $\text{NaOH}$ , lapte de var –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , doza de reactiv stabilindu-se pe baza relației:

$$A=(0,05a-D_t+2)\cdot r \quad (2.18)$$

unde: **A** este doza de reactivi de alcalinizare, [mg/l];

**a** – doza de sulfat de aluminiu pur, [mg/l];

**D<sub>t</sub>** – duritatea temporară;

**r** – doza de reactiv de alcalinizare, corespunzătoare mării alcalinității apei cu 1 grad (pentru lapte de var  $r = 10$  mg/l; pentru sodă  $r = 18,3$  mg/l; pentru sodă caustică,  $r = 14,3$  mg/l).

În tabelul 2.1 sunt prezentate domeniile de pH în care pot fi utilizați anumiți coagulanți.

*Tabelul. 2.1. Domeniile optime de pH pentru unii coagulanți*

Coagulantul	pH
sulfatul de aluminiu – $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	4,0–7,0
sulfatul feros – $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	>8,5
clorura ferică – $FeCl_3$	3,5–6,5
	<8,5
sulfatul feric: $Fe_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O$	3,5 – 7,0

**Temperatura.** Temperatura influențează viteza reacției de hidroliză, a cărei importanță a fost discutată anterior. Dependența vitezei reacției de hidroliză de temperatură este redată de relația:

$$v_t = v_0 \cdot 2^{0,1t} \quad (2.19)$$

unde:  $v_t$  este viteza de hidroliză la temperatura  $t$ ;

$v_0$  – viteza de hidroliză la temperatura de  $0^\circ C$ ;

$t$  – temperatura în grade Celsius.

Viteza de hidroliză crește deci cu creșterea temperaturii. În cazul coagulanților pe bază de aluminiu, la temperaturi mai mici de  $10^\circ C$ , viteza hidrolizei este mică, de aceea procesul de coagulare este frânat. Coagulanții pe bază de Fe (III) se pot utiliza și la temperaturi scăzute. Deci în cazul temperaturilor scăzute este necesară creșterea dozelor de coagulanți și utilizarea acceleratorilor de coagulare.

În tabelul 2.2 sunt prezentate dozele de coagulant (sulfat de aluminiu) necesare la temperaturi scăzute în comparație cu dozele necesare la  $(18-22)^\circ C$ , în funcție de turbiditatea apei exprimată în grade  $SiO_2$ .

**Duritatea temporară a apei –  $D_t$**  (determinată de concentrația bicarbonaților de Ca și Mg), influențează capacitatea de tamponare a apei, care determină limitarea scăderii pH-ului, când echilibrul reacțiilor de hidroliză este deplasat spre formarea hidroxizilor insolubili. În cazul apelor cu o duritate temporară prea mică, pentru corectarea pH-ului se adaugă, așa cum s-a menționat anterior, carbonat de sodiu, lapte de var, etc.

**Concentrația fazei disperse.** În ceea ce privește concentrația fazei disperse, literatura de specialitate prezintă două situații:

- o dependență liniară a concentrației de coagulant față de concentrația fazei disperse – situație în care există o relație stoechiometrică între doza de coagulant și cantitatea de particule coloidale;
- cantitatea de coagulant necesară nu depinde de concentrația de particule coloidale aflate în suspensie (comportare nestoechiometrică).

*Tabelul 2.2. Dozele de coagulant (sulfat de aluminiu) necesare la temperaturi scăzute în comparație cu dozele necesare la (18–22) °C, în funcție de turbiditatea apei*

Turbiditatea apei brute [°SiO <sub>2</sub> ]	Temperatura de comparație [°C]	Cantitatea de Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> [mg/l]		Creșterea dozei de reactiv la temperatură redușă [%]
		La temperatura respectivă	La 18–22 [°C]	
1500	1,0	90	65–70	30–40
212	1,0	50	20–25	100–150
184	1,0	30	15–20	50–100
102	1,0	25	10–15	65–150
184	1,0	30	15–20	50–100
250	1,5	100	90	10
280	2,0	60	25	140
380	2,5	70	30	130
1500	3	80	65–70	15–20
212	3,0	40	20–25	65–100
1000	3,0	60	50	20
292	3,0	50	25	100

**Potențialul electrocinetic Zeta**

Diferența de potențial dintre particula aflată în mișcare și soluție poartă de numirea de potențial Zeta  $\xi$  sau potențial electrocinetic.

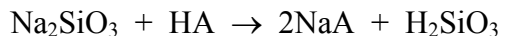
Valoarea potențialului Zeta este o măsură a stabilității sistemului coloidal.

În practică se utilizează acceleratori de floclare, în cazul în care fără aceștia procesul nu are loc în condiții satisfăcătoare. Aditivii sunt în general substanțe solubile în apă, cu masă moleculară mare, care în condițiile respective formează legături cu particulele aflate în suspensie.

Aditivii de coagulare se pot clasifica în funcție de natura, originea [naturali (bentonita) sau sintetici (polimeri)], semnul încărcăturii electrice, starea de agregare (solizi sub formă de pulbere, soluții concentrate) și rolul pe care îl au în tratarea apelor (coagulanți, adjuvanți de coagulare).

În funcție de natura substanțelor, aditivii se pot clasifica în:

- aditivi anorganici:
  - silicea activată, obținută prin neutralizarea parțială a silicatulului de sodiu cu un acid, de obicei acid sulfuric sau acid clorhidric. Considerând situația în care silicatul de sodiu ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) este tratat cu un acid notat cu HA, are loc reacția:



silicat	acid	sarea de Na	acid
de sodiu		a acidului	metasilicic

Acidul metasilicic format polimerizează formând macromolecule liniare sau ramificate de acizi polisilicici cunoscuți în literatura de specialitate sub denumirea de silice activată.

Ca agenți de activare, în locul acidului sulfuric sau clorhidric se mai pot utiliza: acidul fosforic ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), acidul carbonic ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), acidul sulfuros ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), etc. Silicea activată este folosită pentru ape cu temperaturi scăzute și pH variabil în timp. Silicea activată se introduce în apă după sulfatul de aluminiu, după ce primele flocoane au început să se formeze. Rolul silicei

activate apare în cazul în care flocoanele care adună impuritățile rămân încărcate superficial cu sarcini electrice pozitive, apărând între ele forțe electrostatice de respingere, care împiedică formarea unor flocoane mari sedimentabile;

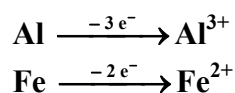
- silicatul de sodiu;
- bentonita;
- anumite argile;
- praful de cărbune activ;
- carbonatul de calciu.
- aditivi organici naturali care provoacă o sedimentare rapidă. Dintre aditivii organici naturali menționăm o serie de polizaharide ca: amidonul, gelatina, dextranul, compuși celulozici, guma arabică, agar-agarul;
- aditivi organici sintetici – polielectroliți. În funcție de semnul sarcinii electrice aceștia pot fi:
  - polielectroliți anionici, compuși macromoleculari cu grupări funcționale carboxilice sau sulfonice, de exemplu copolimeri acrilat-acrilamidă; poliacrilamide; ionizate sub acțiunea unor baze; acizi polivinil sulfonici. Polielectroliții anionici sunt activi în medii bazice;
  - polielectroliți cationici, compuși macromoleculari care au în moleculă un ion cuaternar de amoniu, de exemplu polietilenamidele, clorhidrații de polivinil amoniu. Polielectroliții cationici sunt activi în medii acide;
  - polielectroliți neutri, compuși macromoleculari cu masa moleculară de ordinul milioanei, obținuți prin polimerizarea radicalică a acrilamidei. Polielectroliții neutri sunt activi indiferent de pH-ul soluției.

Acțiunea polielectroliților este complexă, fiind dependentă de structura și proprietățile electrice ale acestora. În principiu aceștia absorb particulele aflate în suspensie, participând activ la formarea agregatelor.

Remarcabilă în cazul utilizării polielectroliților este concentrația extrem de mică (0,1–0,15 mg/l) necesară pentru coagulare, în cazul unora dintre aceștia. Polielectroliții pot fi utilizați atât pentru înlocuirea reactivilor de coagulare pe bază de săruri anorganice de Al sau Fe, cât și pentru accelerarea procesului de coagulare.

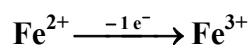
Coagulanții se pot adăuga sub formă uscată sau sub formă de soluții preparate anterior. Se preferă soluțiile deoarece utilizarea acestora asigură condițiile necesare reacțiilor de hidroliză în intervalul de timp impus (de maxim un minut de la adăugare).

Există și procedee de coagulare *electrolitice* (coagulare electrochimică sau electrocoagulare). În cazul acestora, coagulanții sunt produși prin electroliză direct în mediul apos prin dizolvarea anodică electrochimică a unor electrozi de Al sau Fe:



Pentru producerea coagulării electrochimice apa trece printr-un electrolizor conectat la o sursă de curent continuu, utilizându-se anodi de Fe sau Al.

Ionul de  $\text{Fe}^{2+}$  poate suferi un proces de oxidare în prezența oxigenului sau a clorului din mediu, cu formarea ionilor  $\text{Fe}^{3+}$ :



Ionii  $\text{Fe}^{3+}$  vor fi hidrolizați cu formarea hidroxidului de fier  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . În cazul în care pH-ul apei este mai mic de 7,5 oxidarea fierului bivalent la fier trivalent este foarte lentă, de aceea se recomandă clorinarea apei, introducându-se 0,64 mg clor pentru fiecare miligram de fier care se va forma în urma electrolizei.

Așa cum se remarcă, în urma oxidării anodice a electrozilor de Al se formează direct ioni  $\text{Al}^{3+}$ , care vor hidroliza cu formarea hidroxidului de aluminiu  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .



Cantitatea de metal dizolvat se poate calcula cu ajutorul legii lui Faraday:

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F}, \text{ [g]} \quad (2.20)$$

unde: **m** este masa metalului dizolvat;

**M** – masa atomică a metalului;

**I** – intensitatea curentului [A];

**t** – timpul electrolizei [s];

**n** – valența;

**F** – constanta lui Faraday  $F=96.500$ .

Dizolvarea în apă a 1 g de Al este echivalentă cu introducerea în apă a 6,35 g de sulfat de aluminiu pur, anhidru, în timp ce dizolvarea a 1 g de Fe este echivalentă cu introducerea în apă a 2,93 g de clorură ferică.

Procedeul se poate aplica în două moduri, cu tratarea întregii cantități de apă sau cu tratarea unei părți din apă. În general este recomandat ca electroliza să se desfășoare la o intensitate a curentului slabă (3–4) A.

Acest procedeu are următoarele avantaje:

- nu modifică mineralizarea apei;
- nu modifică pH-ul apei;
- poate fi aplicată indiferent de pH.

Eficiența procesului de electrocoagulare depinde de: temperatură, pH, conținutul inițial de suspensii, intensitatea curentului, etc.

## 2.5. Determinarea vitezei de sedimentare

Dacă într-un cilindru gradat se toarnă o suspensie de concentrație suficientă, dar nu prea ridicată, se vor putea observa fenomenele următoare:

Particulele de dimensiuni mari sedimentează rapid și se depun la fundul cilindrului gradat (fig. 2.6). Puțin sub suprafața lichidului apare imediat o suprafață de separare (interfața **I**) care separă lichidul limpede **L** sau aproape limpede de o zonă inferioară formată din suspensie. Această interfață se deplasează de sus în jos cu viteză constantă (porțiunea dreaptă a

curbei de sedimentare). Apoi scade viteza, solidele se îndeasă (se adună) pe fundul eprubetei, iar viteza de sedimentare scade, curba de sedimentare evoluând asimptotic paralel cu axa timpului.

Analiza de sedimentare în câmp gravitațional de forțe, permite determinarea dimensiunii particulelor de impurități dintr-o suspensie, stabilirea distribuției granulometrice a dimensiunilor, precum și determinarea vitezei de sedimentare.

Considerăm viteza de sedimentarea, viteza de deplasare descendentă a interfeței **I** dintre volumul de lichid limpezit **L** și suspensia **F**, care în timp urmează să se limpezească (fig. 2.6). Altfel exprimat, viteza de sedimentare este practic, viteza de limpezire a volumului de fluid.

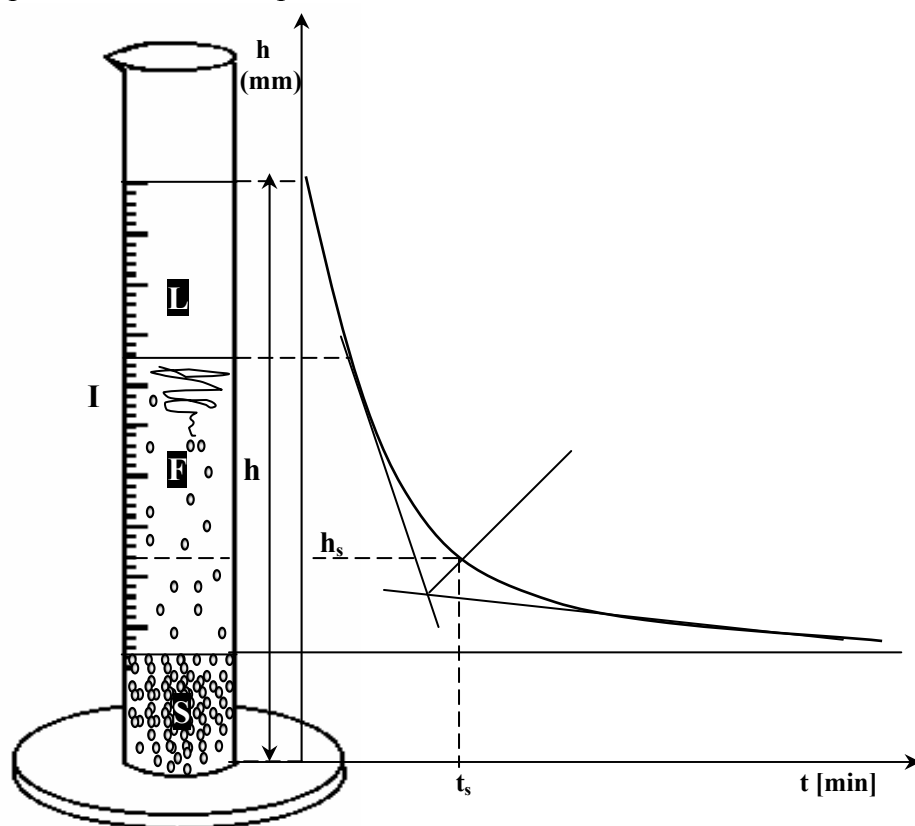


Fig. 2.6. Curba de sedimentare

Proba de suspensie supusă analizei se introduce într-un cilindru gradat de sticlă și se agită puternic pentru omogenizare. Prin măsurarea

evoluției în timp a înălțimii interfeței **I** se poate trasa curba de sedimentare. La început se poate observa sedimentarea particulelor grosiere cu viteză de cădere mare, superioară celorlalte particule de mărime mai mică. După un anumit timp începe să se observe în partea superioară a cilindrului o zonă de lichid limpede, iar la partea inferioară zona de suspensie și zona de compresie a sedimentului la fundul cilindrului.

Se constată în timp evoluția descendentă a poziției liniei de interfață între volumul de lichid limpezit **L** și volumul de suspensie **F** încă nesusedimentată.

Curba de sedimentare are două părți distincte, respectiv două linii drepte racordate între ele. Prelungirea celor două segmente drepte ale curbei, reprezentând tangentele trasate la curbă în punctele corespunzătoare timpului  $t=0$  și a timpului final formează un unghi. Intersecția bisectoarei unghiului tangentelor cu curba de sedimentare reprezintă punctul care definește valorile înălțimii critice și timpului critic cu care se calculează viteza de sedimentare (**u**) astfel:

$$\mathbf{u} = \frac{\mathbf{h}_{cr}}{\mathbf{t}_{cr}} \quad [\text{mm/min}] \quad (2.21)$$

$$\text{sau } \mathbf{u} = \frac{\mathbf{h}_{cr}}{\mathbf{t}_{cr}} \cdot \frac{60}{1000} \quad [\text{m/h}] \quad (2.22)$$

Spre finalul procesului de sedimentare dispăre zona cu suspensie în lichid, iar limita de separare (interfața **I**) se confundă cu limita superioară a zonei de compresie, respectiv cu limita superioară a nămolului format de impuritățile solide sedimentate. În acest moment începe procesul de comprimare (tasare) a sedimentului.

## 2.6. Sedimentarea globală

În anul 1916 Coe și Clevenger propune un model de calcul al sedimentării globale, prezentat în continuare.

Procesul sedimentării globale se produce în cazul suspensiilor cu concentrații relativ mari de impurități solide. Se consideră o curgere continuă, respectiv un flux continuu al părții solide din fluid de la intrarea în cuva de decantare până la ieșirea sedimentului (nămolului) prin baza cuvei.

Se definesc următoarele mărimi:

**G** – fluxul de solide din sediment la un nivel oarecare al cuvei exprimat prin masa pe unitate de suprafață și timp, adică debitul specific al solidului [ $\mathbf{M} \cdot \mathbf{L}^{-2} \cdot \mathbf{t}^{-1}$ ]. Fluxul solidului poate fi definit astfel prin produsul dintre concentrația solidului și viteza de sedimentare;

**C** – concentrația în solid [ $\mathbf{M} \cdot \mathbf{L}^{-3}$ ];

**u** – viteza de sedimentare a solidelor la această concentrație [ $\mathbf{L} \cdot \mathbf{t}^{-1}$ ] reprezentând viteza de coborâre a interfeței **I** care separă suspensia **F** de zona lichidului limpezit **L**;

**v** – viteza de deplasare spre fund a suspensiei în ansamblul său rezultată din evacuarea continuă a sedimentului din fundul decantorului [ $\mathbf{L} \cdot \mathbf{t}^{-1}$ ];

**C<sub>u</sub>** – concentrația solidului din nămol (sediment) [ $\mathbf{M} \cdot \mathbf{L}^{-3}$ ];

**A** – suprafața decantorului [ $\mathbf{L}^2$ ];

**Q<sub>u</sub>** – debitul sedimentului extras [ $\mathbf{L}^3 \cdot \mathbf{t}^{-1}$ ].

**M** – unitate de masă;

**L** – unitate de lungime;

**[t]** – unitate de timp.

Fluxul de solid are două componente:

**G<sub>B</sub>** – componenta de transport a nămolului brut (debitul specific al curgerii nămolului);

**G<sub>S</sub>** – componenta datorată sedimentării impurităților solide definită prin viteza de sedimentare.

Astfel:

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_B + \mathbf{G}_S = \mathbf{C} \cdot \mathbf{v} + \mathbf{C} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{C}(\mathbf{v} + \mathbf{u}) \quad (2.23)$$

Masa solidului care intră în decantor în unitatea de timp este egală cu masa solidului care părăsește decantorul la scurgerea continuă prin fundul cuvei. Astfel:

$$Q_F \cdot C_F = Q_u \cdot C_u = T \quad (2.24)$$

$$Q_u = Q_F \cdot C_F \frac{1}{C_u} \quad (2.25)$$

dar

$$v = \frac{Q_u}{A} = \frac{Q_F \cdot C_F}{A} \cdot \frac{1}{C_u} \quad (2.26)$$

Prin definiție:

$$G = \frac{Q_F \cdot C_F}{A} \quad (2.27)$$

$$v = G \frac{1}{C_u} \quad (2.28)$$

Dacă se înlocuiește în relația:

$$G = C \cdot v + G_s \quad (2.29)$$

se obține:

$$G = \frac{G \cdot C}{C_u} + G_s \quad (2.30)$$

sau

$$G_s = G - \frac{G}{C_u} C \quad (2.31)$$

$$G_s = G \left( 1 - \frac{C}{C_u} \right) \quad (2.32)$$

Mărimile  $G$  și  $C_u$  sunt impuse de performanțele necesare pentru operația de decantare. Astfel numai  $G_s$  și  $C$  sunt mărimi necunoscute.

Combinând ecuațiile se mai poate deduce:

$$G = \frac{u}{\frac{1}{C} - \frac{1}{C_u}} \quad (2.33)$$

Fluxul de solide  $G$  care poate fi tratat cu un decantor de suprafață unitară este în funcție de concentrația solidului în nămol  $C_u$ , de viteza de sedimentare  $u$  și de concentrația  $C$  a impurităților solide în suspensie.

Se desprind două constatări:

- viteza de sedimentare  $u$  este funcție de concentrația  $C$ .
- alimentarea cuvei se face la o concentrație  $C_F$  inferioară concentrației  $C_u$  a solidului în nămol.

Astfel, conform modelului lui Coe și Clevenger, se recomandă să se facă determinări experimentale ale vitezei de sedimentare ( $u$ ) pentru un număr de valori ale concentrației  $C$  cuprinse între  $C_F$  și  $C_u$  date. Se va calcula  $G$  pentru toate valorile concentrației  $C$ . Pentru calculul suprafeței decantorului se va alege cea mai mică valoare găsită pentru  $G$  (corespunzătoare punctului minim  $G_C$  de pe graficul din figura 2.7 în urma determinărilor experimentale).

Determinarea vitezei de sedimentare  $u$  se efectuează relativ simplu, conform procedurii prezentate anterior.

Metoda permite astfel determinarea suprafeței  $A$  a decantorului:

$$A = \frac{T}{G} = \frac{Q_u \cdot C_u}{G} \quad (2.34)$$

unde:  $T$  este debitul masic (masa pe oră) al solidului tratat.

Modelul prezentat nu permite însă determinarea volumului și înălțimii cuvei de decantare.

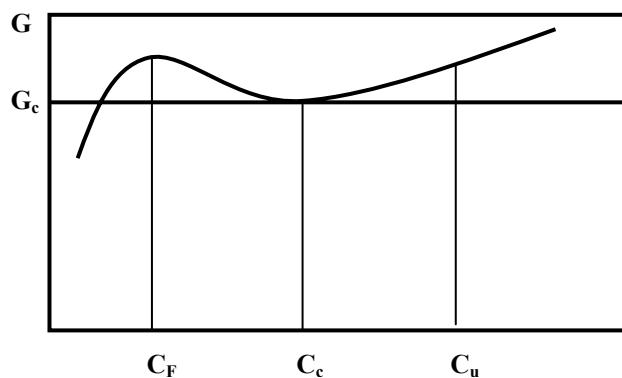


Fig. 2.7. Variația fluxului solidului în funcție de concentrație (Modelul Coe Clevenger)

### 2.7. Sedimentarea cu comprimarea nămolului

Particulele care execută o mișcare descendentă, ajung să se apropie, să se deranjeze reciproc și să ia contact cu alte particule care sunt deja depuse la fundul cuvei, neputând astfel să coboare mai jos. Astfel, viteza de sedimentare are tendință de scădere. Particulele se tasează, adică se comprimă pe fundul eprubetei (cuvei), concentrația solidelor crește formând o zonă de o anumită grosime care se dezvoltă continuu. Când interfața întâlnește limita superioară a zonei cu concentrație mare de materie solidă depusă, curba de sedimentare devine asimptotică la o dreaptă paralelă cu axa timpului, datorită reducerii vitezei de coborâre a interfeței I. Este astfel necesară cunoașterea volumului de nămol depus la o anumită concentrație într-un anumit interval de timp de așteptare (timp de staționare). Se ridică curba de sedimentare (fig. 2.6). Se fixează “punctul de comprimare” – adică timpul  $t_k$  la care nămolul intră în regim de tasare (comprimare).

Se determină timpul  $t_F$  – la care nămolul atinge concentrația finală.

Se determină concentrația medie a solidelor din nămol  $C_m$ ;  $T$  – debitul masic – masa solidelor intrate în cuva decantoare, în unitatea de timp (oră):

$$T = Q_F \cdot C_F \quad (2.35)$$

Volumul afectat de nămolul îngroșat va fi calculat astfel:

$$V_B = \frac{T(t_f - t_k)}{C_m} \quad (2.36)$$

Suprafața  $A$  fiind determinată prin procedura de calcul a sedimentării globale, înălțimea nămolului poate fi calculată astfel:

$$h_B = \frac{V_B}{A} \quad (2.37)$$

Experiența arată că nu este convenabil ca înălțimea nămolului să depășească circa un metru. Dacă din calcule reiese mai mult, atunci se recomandă recalcularea suprafeței prin adoptarea înălțimii de un metru.

Înălțimea decantorului se va lua egală cu  $h_B$  plus 1 metru pentru înălțimea lichidului limpezit.

## 2.8. Etapele dimensionării cuvei de decantare

De regulă, cazurile frecvente întâlnite în practica decantării pot fi rezumate la două regimuri de funcționare: regimul de decantare cu floculare (limpezirea) și regimul de sedimentare globală.

### A. Limpezirea

- Se determină „viteza de sedimentare” și se calculează suprafața  $A$  a decantorului, conform indicațiilor de la paragraful 2.6.
- Prin încercări de floculare, se determină constanta de floculare  $K$  și cunoscând eficacitatea decantorului, se calculează volumul decantorului  $V_1$  necesar pentru asigurarea limpezirii.
- Se poate calcula astfel înălțimea necesară operației de limpezire:

$$h_1 = \frac{V_1}{A} \quad (2.38)$$

- Prin încercări de comprimare a nămolului, se determină „timpul de așteptare (staționare)” a nămolului în decantor, necesar atingerii concentrației finale dorite ( $C_u$ ) și volumul necesar  $V_2$ .

Rezultă astfel:

$$h_2 = \frac{V_2}{A} \quad (2.39)$$

unde:  $h_2$  este grosimea nămolului.

Dacă  $h_2 > 1\text{m}$ , se va adopta:  $h_2 = 1\text{m}$  și se va recalcula suprafața:

$$A' = \frac{V_2}{h_2} = V_2 \quad (2.40)$$

- Se calculează  $h_1$  care devine:

$$h_1' = \frac{V_1}{A'} \quad (2.41)$$



- Suprafața decantorului va fi:  $A$  (sau  $A'$ ) și înălțimea decantorului:

$$h = h_1 + h_2 \text{ sau } h = 1 + h_1' \quad (2.42)$$

**Exemplu de calcul:**

- Se consideră următoarele date inițiale:
  - Debitul suspensiei supuse decantării:  $Q = 130 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
  - Viteza de curgere:  $v = 7 \text{ m/h}$ ;
  - Timpul de staționare:  $t = 1,1 \text{ h}$ ;
  - Factorul de eficacitate:  $f = 0,7$  (70%).

- Se calculează:

- Volumul cuvei de decantare:

$$V = Q \cdot t = 130 \cdot 1,1 = 143 \text{ m}^3$$

- Aria cuvei:

$$A = \frac{Q}{v} \cdot \frac{1}{f} = \frac{130}{7} \cdot \frac{1}{0,7} = 26,5 \text{ m}^2$$

- Înălțimea cuvei:

$$h = \frac{V}{A} = \frac{143}{26,5} = 5,4 \text{ m}$$

- Dacă decantorul are formă circulară:

- Diametrul cuvei:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 26,5}{\pi}} = 5,8 \text{ m}$$

**B. Sedimentarea globală**

Se determină suprafața necesară a cuvei, conform indicațiilor de la paragraful 2.6 (modelul Coe și Clevenger):

- Se calculează volumul  $V_2$  și înălțimea  $h_2$  necesară atingerii concentrației finale (conform punctului A de mai sus);
- Dacă:  $h_2 > 1\text{m}$ , se va adopta:  $h_2 = 1\text{m}$  și se va recalcula suprafața care devine  $A' = V_2$  (ca și mai sus).

- Se va prevedea înălțimea de 1 m pentru lichidul limpezit deasupra nămolului. Înălțimea cuvei de decantare va fi:

$$h = h_2 + 1$$

**Exemplu de calcul:**

- Date inițiale:
  - Debitul total al suspensiei care intră în decantor:  
 $Q_F = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
  - Concentrația solidului în suspensie:  $C_F = 4 \text{ g/l}$ ;
  - Concentrația maximă a solidului în nămol:  $C_u = 10 \text{ g/l}$ ;
  - Fluxul de solid din nămol:  $G = 5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{h}$ .

- Se calculează:

- Debitul nămolului la fundul cuvei:

$$T = Q_F \cdot C_F = Q_u \cdot C_u$$

$$Q_u = Q_F \cdot C_F \frac{1}{C_u} = 2000 \cdot 4 \cdot \frac{1}{10} = 800 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Aria cuvei:

$$A = \frac{T}{G} = \frac{Q_u \cdot C_u}{G} = \frac{800 \cdot 10}{5} = 1600 \text{ m}^2$$

- Diametrul cuvei:

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1600}{\pi}} = 45 \text{ m}$$

## 2.9. Factori de influență asupra decantării statice

Principalii factori care influențează separarea prin decantare statică sunt:

- Viteza de curgere orizontală a fluidului care influențează timpul limită de cădere a particulei la fundul decantorului. În cazul apei, valoarea vitezei de curgere nu trebuie să depășească circa 1 cm/s.

- Regimul de curgere (laminară sau turbulentă) respectiv cifra Reynolds. Se preferă ca la trecerea fluidului prin decantor să fie întrunite condițiile de curgere în regim laminar, adică cifra Reynolds să aibă o valoare cât mai mică.
- Concentrația de impurități în suspensie. Dacă este ridicată (peste  $1 \text{ g/dm}^3$ ), particulele se deranjează între ele în timpul sedimentării, mai ales în zonele adânci ale cuvei de decantare.
- Curenții datorati vântului (în cazul decantoarelor cu suprafața mare);
- Regimul de alimentare și evacuare, care trebuie să se desfășoare cât mai uniform și în mod continuu.

Factorii perturbatori ai procesului de decantare sunt:

- Supraîncărcarea decantorului;
- Alimentarea neregulată (creează turbulență);
- Curenții de convecție care apar datorită curenților de aer și ai vântului, la suprafața decantorului;
- Curgerea statică datorită straturilor de apă cu densitate diferită.

## 2.10. Principii constructive ale utilajelor pentru decantare

Construcția, funcționarea și denumirea utilajelor și echipamentelor pentru separarea impurităților din fluide este funcție de tipul fluidului supus tratamentului de decantare.

Astfel, pentru lichide (exemplu apă) utilajul pentru sedimentare statică se numește decantor.

La purificarea gazelor sub acțiunea forței gravitaționale se utilizează de regulă camere de sedimentare (depunere) și camere de desprăfuire.

În funcție de forma lor, decantoarele se clasifică în: decantoare dreptunghiulare (fig. 2.8) și decantoare radiale (fig. 2.9).

După direcția de curgere a lichidului supus limpezirii se deosebesc decantoarele orizontale și decantoarele verticale.

De regulă, decantoarele orizontale au formă dreptunghiulară cu circulația orizontală a lichidului.

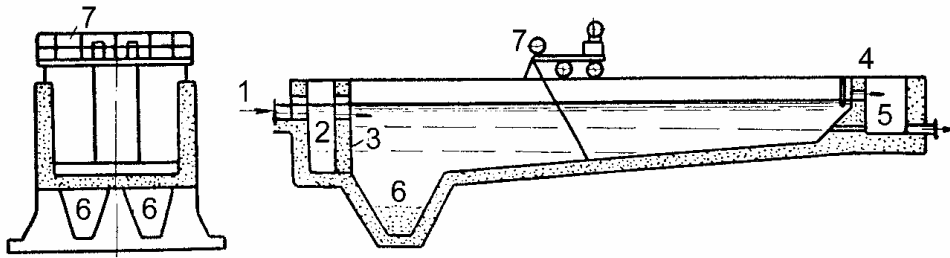


Fig. 2.8. Decantor dreptunghiular. 1 – intrarea apei impură; 2 – cameră de distribuție; 3 – perete pentru repartizarea uniformă a apei; 4 – baraj deversor; 5 – cameră pentru colectarea apei decantate; 6. – șanț pentru colectarea nămolului; 7 – curățitor cu racletă pentru nămol [28]

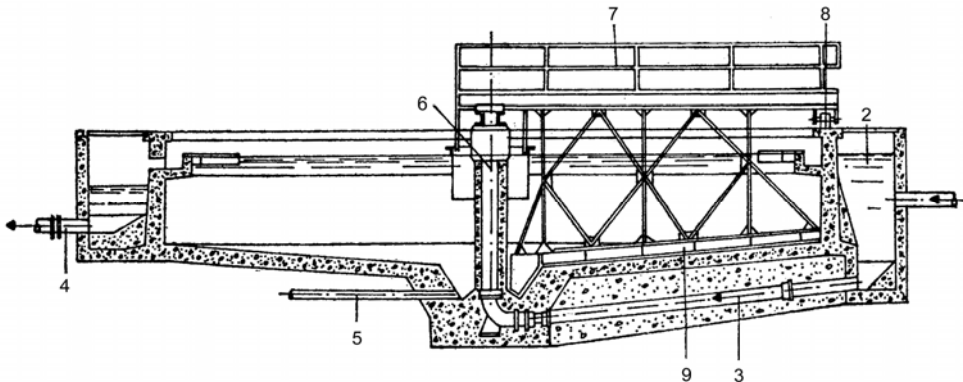


Fig. 2.9. Decantor radial cu pod raclor pentru nămol. 1 – intrarea apei impure; 2 – cămin de alimentare; 3 – alimentare; 4 – apă limpezită; 5 – evacuarea nămolului; 6 – cilindru de difuzie; 7 – pod raclor; 8 – sistem de rulare; 9 – raclor [28]

Decantoarele radiale au formă circulară iar circulația lichidului, poate fi orizontală sau verticală, în funcție de tipul constructiv. De altfel, există un număr însemnat de tipuri constructive și funcționale pentru decantoarele radiale, ca de exemplu: decantoarele circulare clasice, decantoarele floclatoare, decantoarele cu lamele, decantoarele cu pat de nămol, decantoarele combinate.

Orice decantor circular clasic are următoarele părți componente:

- cuva de decantare;
- canalul circular de deversare a lichidului limpezit;

- cilindrul de alimentare (cu dispozitive pentru tratamentul de coagulare–floculare);
- mecanismul de raclare a nămolului;
- pasarela (pod) pentru deplasarea personalului – operator;
- tubul de evacuare a nămolului sedimentat.

În decantoarele radiale apa brută intră printr-un recipient central de unde deversează peste marginea superioară și traversează cuva circulară în direcții radiale. Particulele de impurități se depun pe fundul cuvei și sunt colectate sub formă de nămol spre zona centrală de către un sistem cu racleți. Lichidul limpezit este colectat în rigola periferică (canal circular) pe marginea superioară a cuvei.

Decantoarele floculatoare sunt prevăzute cu compartiment de coagulare–floculare. În acest compartiment se introduc și se prepară agenții de floculare, se realizează contactul intim cu particulele din suspensie și formarea agregatelor de particule sedimentabile.

Decantorul lamelar are volumul cuvei de decantare divizat într-un mare număr de compartimente prin intermediul unor lamele înclinate sau tuburi de secțiune circulară (fig. 2.10). Existența lamelelor înclinate sau a tuburilor crește suprafața de decantare deci și debitul admisibil al lichidului. Înclinarea lamelelor, ori a tuburilor despărțitoare este necesară pentru curgerea nămolului. În această situație, viteza de cădere a particulei solide ( $v$ ) se calculează astfel:

$$v=v_0(1+k\cdot\cos \alpha) \quad (2.43)$$

unde:  $\alpha$  este unghiul de înclinare a pereților despărțitori (lamelă sau tub);  
 $v_0$  – viteza de sedimentare a particulelor în decantorul fără lamele;  
 $k$  – coeficientul determinat experimental (depinde de forma compartimentului;  $k>0$ ).

Prin urmare, viteza de sedimentare crește în cazul decantorului cu lamele sau tuburi despărțitoare, iar debitul de lichid tratat crește proporțional cu numărul de pereți despărțitori.

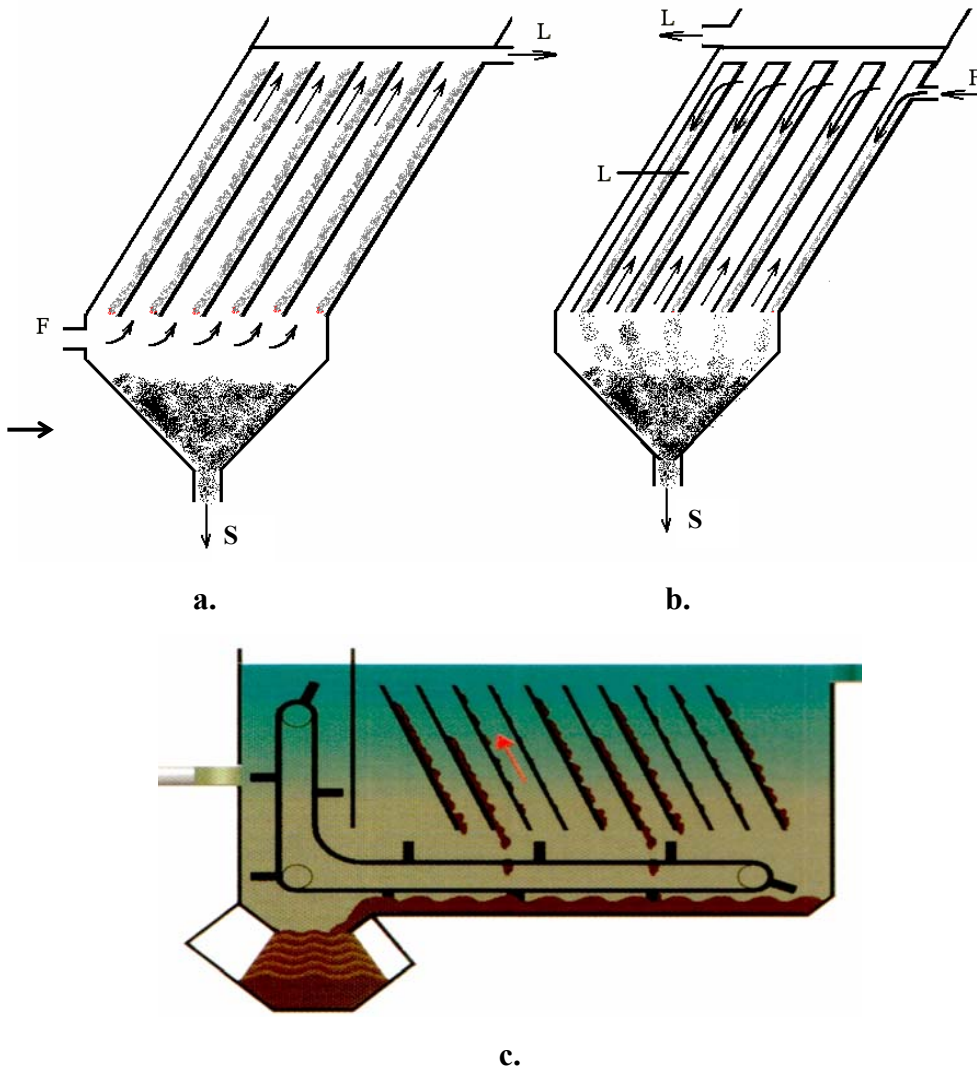


Fig. 2.10. Decantor lamelar. a. în contracurent; b. în co-curent  
c. cu sistem de înlăturare a nămolului; L – lichid limpezit; F – suspensie;  
S – sediment (nămol) [25]

Unghiul de înclinare al lamelelor trebuie să fie suficient pentru a garanta evacuarea nămolului. Forța care antrenează nămolul este dată de rezultanta greutateii și a forței exercitate de lichid pe suprafața nămolului. Dacă cele două faze (lichidul limpede și nămolul), curg în același sens (fig. 2.10. b – curgere în co-curent) componentele rezultante au același semn. Dacă însă cele două faze curg în sensuri inverse (fig. 2.10. a – curgere în

contracurent), atunci forța exercitată de lichid asupra suprafeței nămolului se opune evacuării acestuia; respectiv deplasării lui spre partea inferioară a cuvei.

Curgerea în contracurent (fig. 2.10. a) este mai ușor de realizat. În acest caz alimentarea trebuie să se facă de la baza compartimentelor iar lichidul iese limpezit la partea superioară a cuvei. Curgerea în același sens (co-curent, fig 2.10 b), se realizează prin introducerea lichidului brut pe la partea superioară, curge în jos și apoi are loc schimbarea direcției spre partea superioară prin tuburi până la vârful cuvei și apoi iese spre exterior.

Soluția constructivă mixtă a unui decantor cu lamele este redată în figura 2.11 (compartimentul din stânga – curgere în contracurent; compartimentul din dreapta – curgere în co-curent). Acest tip de decantor are o eficacitate de decantare ridicată.

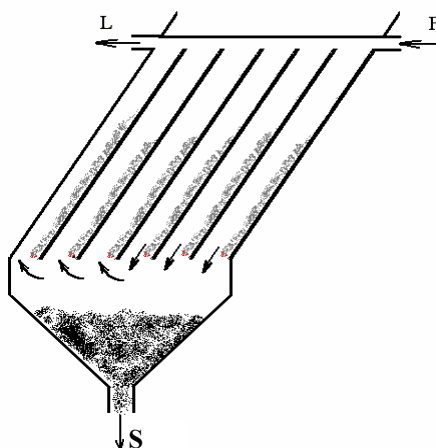


Fig. 2.11. Decantor lamelar mixt [25]

Unul dintre dezavantajele decantoarelor cu lamele este tendința de aderare a particulelor solide pe suprafața lamelelor, care face dificilă operația de curățire.

Separarea gravitațională este cea mai simplă metodă de purificare a unui curent de gaz, de particulele solide (peste 75  $\mu\text{m}$ ), utilizând conductele (tuburile) și camerele de sedimentare.

### 2.11. Particularități ale purificării gazelor prin sedimentare

Se poate afirma că densitatea unui gaz este mult mai mică decât densitatea particulelor solide ale impurităților din suspensie. Prin urmare, termenul  $\rho_1$  din relația lui Stokes poate fi neglijată. Se poate calcula astfel, viteza de sedimentare statică a unei particule:

$$v_p = \frac{1}{18} \cdot \frac{\rho_s}{\eta} \cdot d^2 \quad (2.44)$$

unde:  $\rho_s$  este densitatea particulelor solide;

$d$  – diametrul particulei;

$\eta$  – vâscozitatea suspensiei.

În practică, se constată că viteza de sedimentare a particulelor solide într-un curent de gaz este mai mică decât cea calculată, datorită influenței formei neregulate a acestora, care mărește rezistența la deplasare.

La sedimentarea particulelor în suspensie, viteza curentului de gaz trebuie să fie mai mică decât viteza la care particulele sedimentate pot fi antrenate de gaz.

Cel mai simplu echipament pentru purificarea gazelor de particule solide (sub formă de praf) sunt camerele sau conductele de sedimentare (fig 2.12). Astfel, în lungul conductelor de transport a gazelor care necesită tratamentul de desprăfuire, se montează camere de sedimentare prevăzute cu pereți verticali. Se mărește astfel, drumul parcurs de gaz, se micșorează viteza de curgere a gazului, condiții care contribuie la separarea prafului. În plus, pereții verticali în calea gazului impurificat, reprezintă suprafețe de depunere pe care din inerția fluxului de aer aderă o importantă cantitate de particule solide, în afara celor sedimentate sub influența forței gravitaționale. Pentru purificarea gazelor tehnologice calde din instalațiile siderurgice și metalurgice (exemplu: cuptoarele de elaborare a materialelor metalice), se utilizează instalațiile de desprăfuire a căror principiu constructiv și funcțional este redat în figura 2.13.



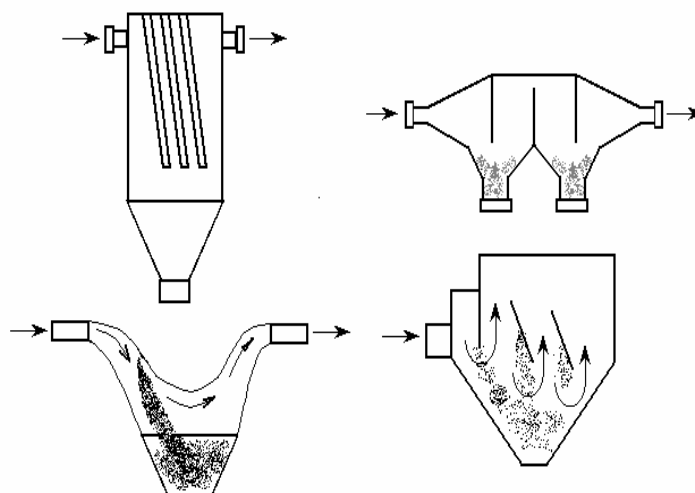


Fig. 2.12. Conduțe de sedimentare a impurităților din gaze

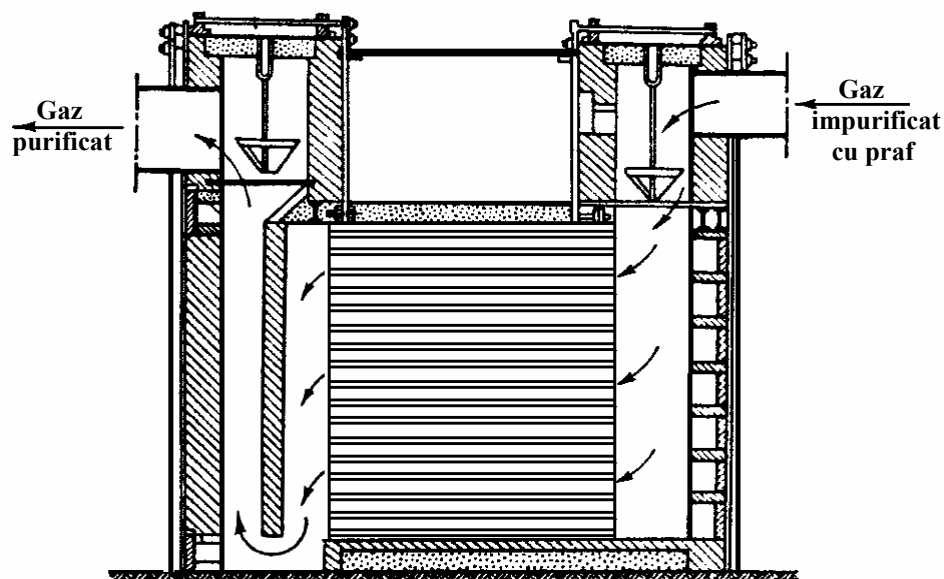


Fig. 2.13. Cameră de desprăfuire cu polițe [1]

Fluxul de gaz impurificat cu praf se distribuie și curge printr-o serie de polițe orizontale care reprezintă suprafețe de sedimentare (depunere) a prafului. Praful depus se elimină periodic dintre polițe cu ajutorul unor dispozitive speciale cu racleți sau prin spălare cu jet de fluid.

Cunoscând debitul gazului  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) și volumul  $V$  (prin dimensiunile constructive  $L$ ,  $B$ ,  $H$ ) ale camerei (sau tubului) se poate calcula timpul de ședere (de așteptare) al gazului în camera de sedimentare:

$$t = \frac{L}{v}, \text{ dar } t = \frac{V}{Q} = \frac{LBH}{Q} \quad (2.45)$$

în care:  $v$  este viteza de curgere a gazului;

$L$  – lungimea camerei;

$B$  – lățimea camerei;

$H$  – înălțimea camerei.

de unde: 
$$v = \frac{Q}{B \cdot H} \quad (2.46)$$

Acceptând valabilitatea legii lui Stokes, se poate calcula diametrul limită al particulelor solide care se separă prin sedimentare gravitațională:

$$d_{\text{lim}} = \sqrt{\frac{18 \cdot Q \cdot \eta}{(\rho_s - \rho_g)g \cdot B \cdot L}} \quad (2.47)$$

unde:  $\eta$  este vâscozitatea aerului;

$\rho_s$  – densitatea particulei solide;

$\rho_g$  – densitatea gazului care se purifică.

Toate particulele de impurități din curentul de gaz cu mărimi superioare dimensiunii  $d_{\text{lim}}$  astfel calculate se vor sedimenta prin decantare statică.

Aplicând aceleași raționamente de calcul, ca și în cazul decantării statice a lichidelor, se poate concluziona că și în cazul sedimentării gravitaționale a particulelor solide din gaze, potențialul de decantare depinde de suprafața de depunere a cuvei.

Purificarea gazelor prin separarea gravitațională este un procedeu mai puțin eficace în cazul prafului fin dispersat. De aceea desprăfuirea este o operație prealabilă de purificare.

Pentru a asigura gradul de purificare mai ridicat se aplică procedeele de purificare umedă și procedeele de separare centrifugală ca de exemplu ciclonarea.