

| | |
|--|---|
| 3.6. MODELAREA SEDIMENTĂRII ALUVIUNILOR | 1 |
| 3.6.1. Caracteristicile aluviunilor | 2 |
| 3.6.2. Modelarea sedimentării în regim hidrostatic (MS1) | 3 |
| 3.6.2.1. Modelul spatial | 3 |
| 3.6.2.2. Modelul parametric..... | 4 |
| 3.6.2.3. Modelul energetic..... | 4 |

3.6. MODELAREA SEDIMENTĂRII ALUVIUNILOR

Studiul deplasării sedimentelor are ca **obiective**:

- explicarea formării rocilor sedimentare prin acțiunea apei
- exploatarea în condiții eficiente a construcțiilor și instalațiilor hidrotehnice.

Rezultatele studiului deplasării sedimentelor se finalizează în două categorii de mărimi fizice:

- **viteza**
 - **de sedimentare**
 - în regim hidrostatic („viteza de cădere”)
 - în regim hidrodinamic („viteză de sedimentare”)
 - **de transport** în regim hidrodinamic („viteza critică de antrenare”)
- **capacitatea de transport**
 - prin alunecare (transport pe substratul solid)
 - în suspensie

Miscarea/ deplasarea sedimentelor se face în trei etape (**Fig.3.6.1**):

- **eroziune**: la nivelul suprafeței topografice, sub acțiunea factorilor meteorologici (temperatură, precipitații, vânt) cu intensități variabile determinate de gradul de acoperire cu vegetație, pantă și natura litologică a formațiunilor geologice.
- **Transport**: sub acțiunea fluidelor în mișcare (aer/apa; apa fiind principalul agent de transport)
- **Sedimentarea**: finalizată acolo unde viteza agentului de transport (apă/aer) se reduce.

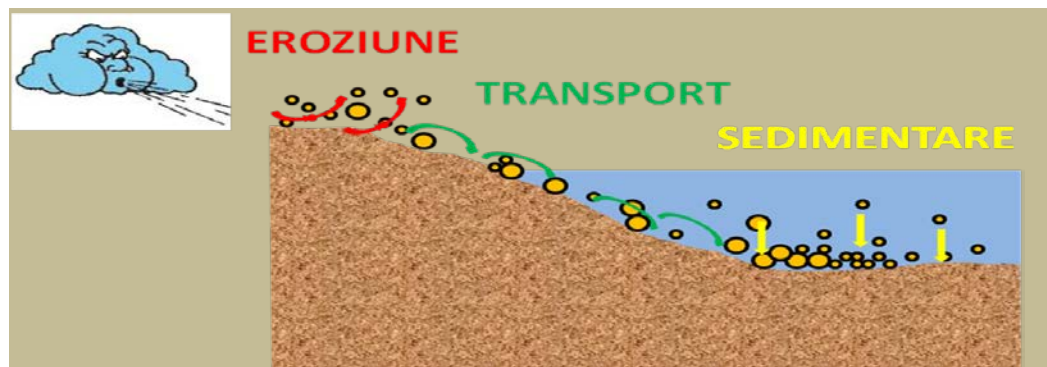


Fig.3.6.1. Etapele deplasării sedimentelor

Modelarea sedimentării aluviunilor se bazează pe un model conceptual cu trei componente:

- **modelul spațial** care în mod schematic definește geometria spațiului în care se produce sedimentarea
- **modelul parametric** care precizează caracteristicile **parametrice** ale :
 - **sedimentului**: greutate specifică, formă, dimensiune etc.
 - **fluidului** în care se produce sedimentarea: greutate specifică, densitate, vâscozitate, temperatură, tensiune superficială etc.
- **modelul energetic** care precizează forțele ce acționează asupra sedimentelor și fluidelor:
 - forțele masice
 - forțele hidrostatice
 - forțele de tensiune (normale/tangențiale)
 - forțele de rezistență hidrodinamică

3.6.1. Caracteristicile aluviunilor

Aluviunile sunt constituite din particule solide sub formă de granule de diferite forme și dimensiuni. Caracterizarea preliminară a aluviunilor se face pe baza **curbei granulometrice (Fig.3.6.2.)**, scara granulometrică cea mai utilizată în sedimentologie fiind scara granulometrică Udden-Wentworth (**Tabel 3.6.1.**)

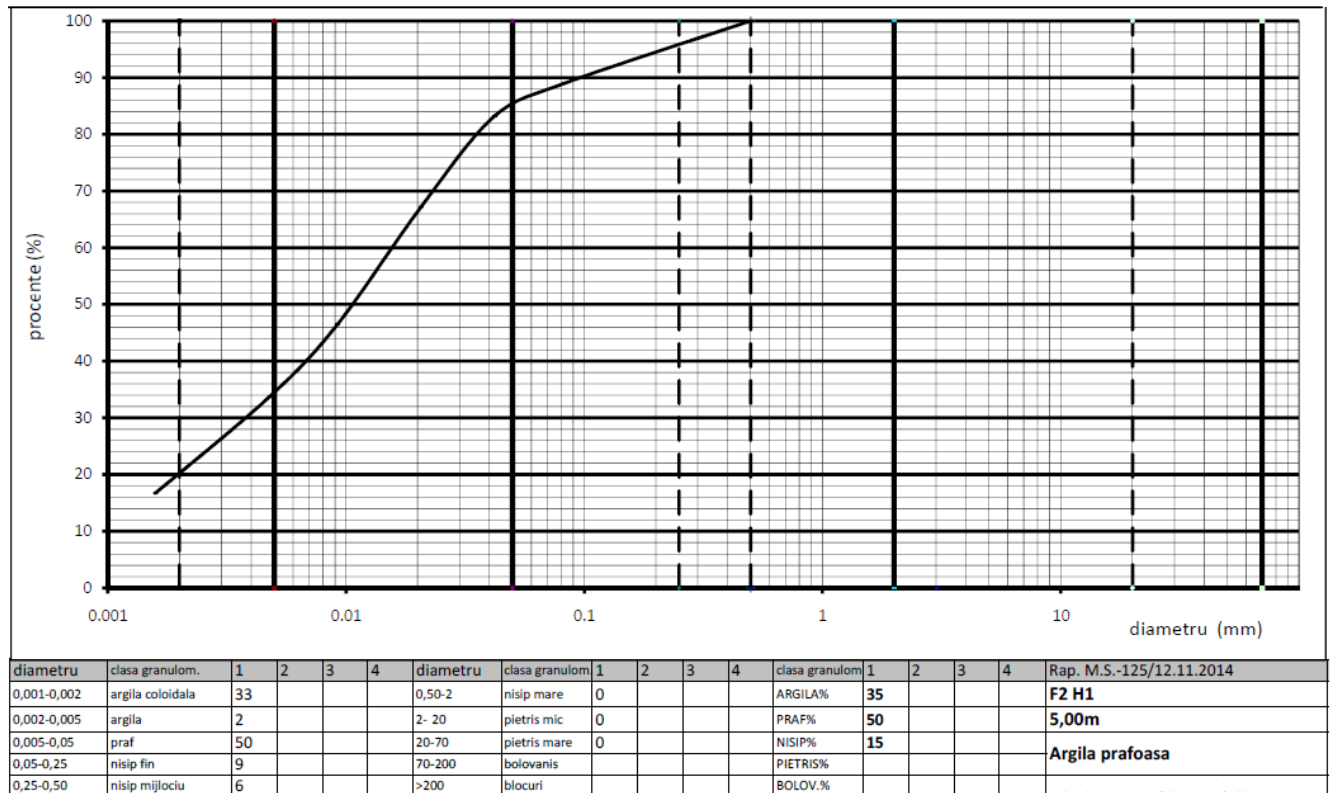


Fig.3.6.2. Curba granulometrică cumulativă standard pentru studii geotehnice.

Tabel 3.6.1. Scara granulometrica Udden-Wentworth

| Dimensiunea clastelor | | Denumirea categoriilor granulometrice | | | |
|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------------|---------------|
| [mm] | Phi: [-log ₂ (d[mm])] | Romana | | Engleza (Shepard) | |
| >256.000 | <-8 | blocuri | rudit (psefit) | <i>boulders</i> | gravel |
| 64.000 | -6 | galeți | | <i>cobbles</i> | |
| 4.000 | -2 | | | <i>pebbles</i> | |
| 2.000 | -1 | pietriș | | <i>granules</i> | |
| 1.000 | 0 | f.grosier | arenit (psamit) | <i>v. coarse</i> | sand |
| 0.500 | 1 | grosier | | <i>coarse</i> | |
| 0.250 | 2 | mediu | | <i>medium</i> | |
| 0.125 | 3 | fin | | <i>fine</i> | |
| 0.063 | 4 | f.fin | | <i>v. fine</i> | |
| 0.031 | 5 | grosier | silt (aleurit) | <i>coarse</i> | silt |
| 0.016 | 6 | mediu | | <i>medium</i> | |
| 0.008 | 7 | fin | | <i>fine</i> | |
| 0.004 | 8 | f.fin | | <i>v. fine</i> | |
| <0.004 | >8 | lutit (pelit) | | clay | |

Caracteristicile principale ale sedimentelor sunt:

- **greutatea volumică** cuprinsă între $\gamma = 2,2 \div 2,8 \frac{tf}{m^3}$ și pentru cuarț, mineral predominant în nisip $\gamma_{cuarț} = 2,65 \frac{tf}{m^3}$;
- **forma** granulelor este exprimată prin **sfericitate** care este definită ca raportul dintre aria suprafeței particulei și aria unei sfere de volum egal.
- **mărimea** granulelor, importantă pentru regimul de sedimentare al acestora, este exprimată prin **mărimea hidraulică** [ecuațiile (6.6) și (6.10)] definită ca **viteza constantă** de cădere liberă, prin proprie greutate într-un lichid cu o anumită vâscozitate aflat în repaus la o anumită temperatură (legea lui Stokes).

3.6.2. Modelarea sedimentării în regim hidrostatic (MS1)

Modelul conceptual al sedimentării în regim hidrostatic are trei componente: modelul spațial, modelul parametric și cel energetic.

3.6.2.1. Modelul spațial

Modelul spațial (Fig.3.6.3) are două componente:

- **spațiul de sedimentare** este o prismă rectangulară, suficient de mare (spațiu „infini”) în raport cu mărimea granulelor astfel încât să nu influențeze deplasarea acestora sub acțiunea forțelor masice .

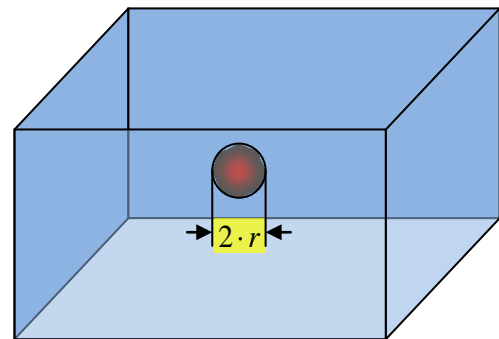


Fig.3.6.3. Modelul spațial al sedimentării în bazine stagnante

- **geometria granulelor** care se sedimentează:
 - pentru simplificarea modelării se utilizează granule **sferice**
 - pentru a elimina influența turbulenței și a forțelor inerțiale:
 - **raza sferei** $r < 0,005\text{cm}$

3.6.2.2. Modelul parametric

Modelul parametric este completat de caracteristicile „participantilor” la procesul de sedimentare :

- **caracteristicile fluidului** în care se face sedimentarea:
 - **densitatea apei:** ρ_{apa}
 - **vâscozitatea apei:** μ_{apa}, ν_{apa}
- **caracteristicile granulei care se sedimentează:**
 - **densitatea sedimentului:** ρ_{sed}

- **masa granulei de sediment:** $m_{sed} = \rho_{sed} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3}$

3.6.2.3. Modelul energetic

Modelul energetic este constituit din principalele **trei forte** al căror echilibru stabilesc starea de mișcare a granulei sedimentare sferice aflată într-un fluid în repaus (**Fig.3.6.4**):

- **forța masică:**

$$F_G = m_{sed} \cdot \vec{g} = \rho_{sed} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} \quad (3.6.1)$$

- **forța arhimedică:**

$$F_A = \rho_{apa} \cdot \vec{V}_{sed} \cdot \vec{g} = \rho_{apa} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} \quad (3.6.2)$$

- **forța de rezistență:**

$$F_{R_vascoz} = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \mu \cdot \vec{V} \quad (6.3)$$

datorată vâscozității și valabilă cu aproximație pentru o granulă sferică cu $r < 0,03\text{mm}$ care se deplasează cu viteza \vec{V} .

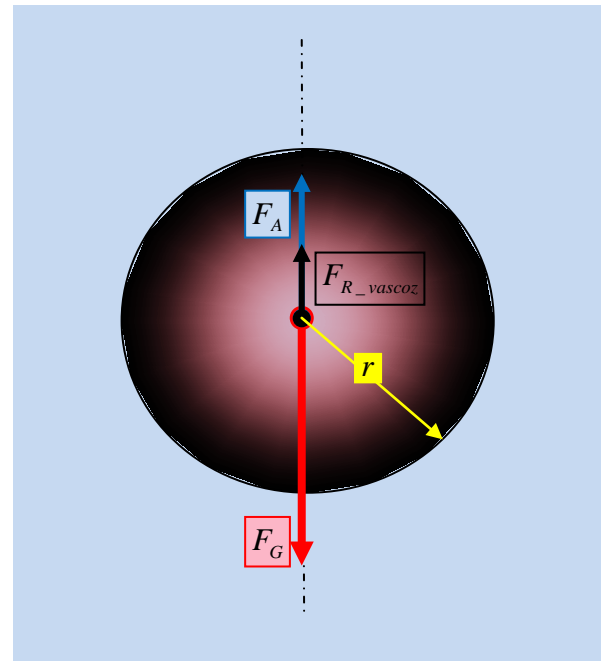


Fig.3.6.4. Echilibrul forțelor din modelul energetic al sedimentării în regim hidrostatic

Forța care determină mișcarea **accelerata** ($\frac{d\vec{V}}{dt}$) a granulei sferice de **masa** data (m_{sed}) rezultată din echilibrul celor trei forțe se obține din ecuația:

$$m_{sed} \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = F_G - F_A - F_{R_vascoz} \quad (3.6.4)$$

in care inlocuind expresiile celor trei forțe se obține:

$$m_{sed} \cdot \frac{d\vec{V}}{dt} = \rho_{sed} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} - \rho_{apa} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} - 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \mu \cdot \vec{V} \quad (3.6.5)$$

Viteza constanta de sedimentare \vec{V}_{sed} a granulei de sediment m_{sed} se obține din ecuatia (3.6.5) pentru $\frac{d\vec{V}}{dt} = 0$

$$\rho_{sed} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} - \rho_{apa} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} - 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \mu \cdot \vec{V}_{sed} = 0$$

din care rezulta

$$\vec{V}_{sed} = \frac{2 \cdot r^2}{9 \cdot \mu} \cdot \vec{g} \cdot (\rho_{sed} - \rho_{apa}) \quad (3.6.6)$$

Revenind la ecuatia (3.6.5) in care inlocuim expresia masei granulei de sediment (m_{sed}) se obține:

$$\rho_{sed} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \frac{dV}{dt} = \rho_{sed} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} - \rho_{apa} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} - 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \mu \cdot \vec{V} \quad (3.6.7)$$

si prin simplificare rezulta:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{sed}} \cdot \vec{g} - \frac{9 \cdot \mu}{2 \cdot r^2 \cdot \rho_{sed}} \vec{V} \Leftrightarrow \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{sed}} \cdot \vec{g} - K_1 \cdot \vec{V} \quad (3.6.8)$$

în care am notat cu $K_1 = \frac{9 \cdot \mu}{2 \cdot r^2 \cdot \rho_{sed}}$ coeficientul vitezei de sedimentare.

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{sed}} \cdot \vec{g} - K_1 \cdot \vec{V}; K_1 \Rightarrow \frac{1}{K_1} \frac{dV}{dt} = \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{K_1 \cdot \rho_{sed}} \cdot \vec{g} - \vec{V} \quad (3.6.9)$$

Observand (din ecuatia (3.6.6) ca:

$$\frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{K_1 \cdot \rho_{sed}} \cdot \vec{g} = \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{sed}} \cdot \frac{2 \cdot r^2 \cdot \rho_{sed}}{9 \cdot \mu} \cdot \vec{g} = \vec{V}_{sed}$$

ecuatia (3.6.9) devine:

$$\frac{1}{K_1} \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{V}_{sed} - \vec{V} \Leftrightarrow \frac{d\vec{V}}{dt} = K_1 (\vec{V}_{sed} - \vec{V})$$

care prin integrate de la momentul $t=0$ cand viteza granulei este $\vec{V}=0$ pana la un moment t cand viteza este $\vec{V} < \vec{V}_{sed}$ conduce la ecuatia:

$$\int_0^{\vec{V}} \frac{dV}{\vec{V}_{sed} - V} = K_1 \int_0^t dt \Rightarrow \vec{V} = \vec{V}_{sed} \cdot (1 - e^{-K_1 t})$$

in care pentru $t = \infty$ viteza de sedimentare („**marimea hidraulica**” a granulei de sediment) este:

$$\vec{V} = \vec{V}_{sed} = \frac{2 \cdot r^2}{9 \cdot \mu} \cdot \vec{g} \cdot (\rho_{sed} - \rho_{apa}) \quad (3.6.10)$$

Formula (3.6.10) este valabila pentru o granula cu $r < 0,03mm$, intr-un spatiu „**infinit**” si in **regim laminar** pentru

$$Re = \frac{2 \cdot \vec{V}_{sed} \cdot r}{\nu} < 0,1.$$

Intr-un **spatiu finit** in orice regim de miscare permanent ($\frac{d\vec{V}}{dt} = 0$) pentru o granula de sediment sferica de raza r viteza de sedimentare limita se poate exprima in functie de coeficientul unitar de rezistenta la inaintare (C_{rez}):

$$F_{R_vascoz} = F_G - F_A = C_{rez} \cdot \frac{\rho_{apa}}{2} \cdot \vec{V}^2 \cdot \pi \cdot r^2 = \rho_{sed} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} - \rho_{apa} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3} \cdot \vec{g} \cdot (\rho_{sed} - \rho_{apa})$$

din care rezulta:

$$C_{rez} = 2.66 \cdot \frac{r}{\vec{V}^2} \cdot \vec{g} \cdot \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{apa}}$$

Coeficientul unitar de rezistenta la inaintare (C_{rez}) si **viteza de sedimentare** mai depind si de:

- **limitarea spatiului de sedimentare** determina reducerea **vitezei de sedimentare** (dovedit experimental; **Fig.3.6.5**):
 - Daca $\frac{R}{r} = 100$ rezulta o reducere de 2,5%
 - Daca $\frac{R}{r} = 10$ rezulta o reducere de 28%

- **concentratia particulelor solide** exprimata ca raport intre volumul de particule solide (Vol_{SED}) si volumul total (Vol_{TOTAL} inclusiv lichid) conduce la reducerea vitezei de sedimentare:

- $\frac{Vol_{SED}}{Vol_{TOTAL}} = 1\%$ rezulta o reducere de 20%

- $\frac{Vol_{SED}}{Vol_{TOTAL}} = 4\%$ rezulta o reducere de 35%

- **Numarul lui Reynolds** care indica regimul miscarii:

- $Re < 1$ -laminar
- $1 < Re < 30$ -tranzitie laminar-turbulent
- $30 < Re < 400$ - turbulenta reversibila
- $Re > 400$ - turbulenta „patratice”/ireversibila

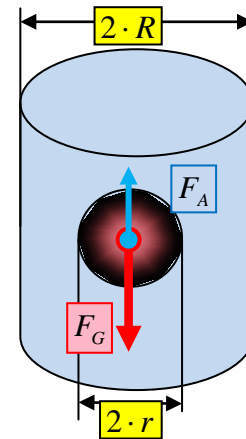


Fig.3.6.5. Efectul dimensiunii spatiului de sedimentare asupra vitezei de sedimentare

O sinteza a rezultatelor experimentale care evalueaza **viteza de sedimentare** in functie de regimul de curgere si dimensiunea granulelor arata o crestere a acestei viteze pe masura ce regimul de curgere trece de la **laminar** la **turbulent** si dimensiunea granulelor **creste** (**Tabelul 3.6.2 și Fig.3.6.6.**).

Tabelul 3.6.2. Domenii de valabilitate pentru viteza de sedimentare in regim hidrostatic

| Regim curgere | Numar Reynolds | $r[cm]$ | Viteza de sedimentare $V_{sed} \left[\frac{cm}{sec} \right]$ (Mărimea hidraulică) |
|---------------------------------|-----------------|--------------------|--|
| Laminar | $Re < 1$ | $r < 0,005$ | $V_{sed} = \frac{2 \cdot g \cdot r^2}{9 \cdot \nu} \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_{apa}} - 1 \right)$ |
| Tranzitie: laminar-turbulent | $1 < Re < 30$ | $0,005 < r < 0,03$ | $V_{sed} = \frac{2 \cdot r \cdot g^{\frac{2}{3}}}{5 \cdot \nu^{\frac{1}{3}}} \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_{apa}} - 1 \right)^{\frac{2}{3}}$ |
| Turbulent „neted” | $30 < Re < 400$ | $0,03 < r < 0,1$ | $V_{sed} = \frac{(2 \cdot r)^{\frac{2}{3}} \cdot g^{0,56}}{2,18 \cdot \nu^{0,11}} \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_{apa}} - 1 \right)^{0,56}$ |
| Turbulent „patratice” | $Re > 400$ | $r > 0,1$ | $V_{sed} = 1,2 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot r \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho_{apa}} - 1 \right)}$ |

Fig.3.6.6.

Variatia vitezei de sedimentare \vec{V}_{sed} in functie de raza particulei (r) si numarul Reynolds (Re)



| | r.laminar | r.trazitie | r.turb_neted | r_turbulent |
|------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| ■ Re_{min} [-] | 0.01 | 0.1 | 30 | 400 |
| ■ V [cm/sec] | 0.000089925 | 0.076786207 | 0.745914683 | 2.159099812 |
| ■ r_{max} [cm] | 0.005 | 0.03 | 0.1 | 0.2 |
| ■ Re_{max} [-] | 0.1 | 0.3 | 400 | 1000 |