

5.3.1. Deplasarea particulei prin alunecare în contact cu substratul solid.....	1
5.3.1.1. Viteza de antrenare prin alunecare pe substrat solid.....	1
5.3.1.2. Capacitatea de transport pe substrat solid.....	4

### 5.3.1. Deplasarea particulei prin alunecare în contact cu substratul solid

Declanșarea mișcării unei particule aflată în repaus pe un substrat solid se face prin **rostogolire**, proces care necesită cel mai mic consum de energie dar care este greu de modelat în condițiile heterogenității formei și dimensiunii granulelor minerale.

Pentru evaluarea deplasării sedimentelor în curentul de apă este luat în considerare procesul de antrenare al sedimentelor prin **alunecare** pe substratul solid, proces care sustine energetic deplasarea sedimentelor după ieșirea din starea de repaus.

În anumite condiții deplasarea particulelor solide implică și desprinderea lor de substratul solid ajungând în **suspensie** în curentul de apă. Separarea celor două procese de deplasare prin **alunecare** în contact cu substratul solid și în **suspensie** este o problemă dificil de rezolvat.

#### 5.3.1.1. Viteza de antrenare prin alunecare pe substrat solid

**Forța frontală** ( $F_x$ ) este cea care determină mișcarea particulei solide prin alunecare pe substratul solid, forță care (**Fig.5.21**):

- în regim laminar este proporțională cu  $V_{apa}$  (viteza fluidului din vecinătatea substratului solid)
- în regim turbulent este proporțională cu  $V_{apa}^2$

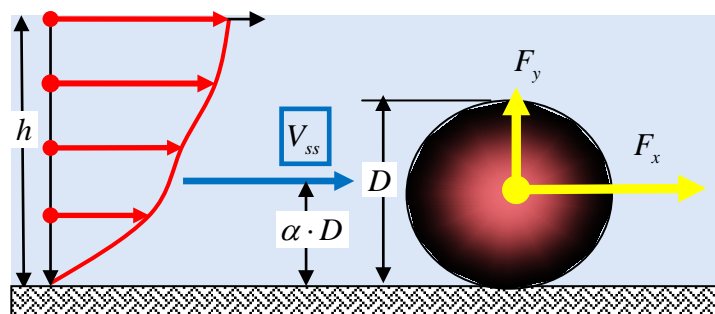
$$F_x = K_1 \cdot \mu \cdot D \cdot V_{apa} + K_2 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{apa}^2$$

**Forța de portanță** ( $F_y$ ), cea care « ridică » particula solidă de pe substratul solid se exprimă numai prin termenul pătratic :

$$F_y = K_y \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{apa}^2$$

Viteza fluidului  $V_{apa}$  la o anumită distanță de substratul solid ( $\alpha \cdot D; \alpha < 1$ ) depinde de legea de distribuție a vitezelor curentului de fluid și pentru o distribuție logaritmică ea poate fi evaluată cu (**Fig.5.21**) :

$$V_{apa}(\alpha) = \alpha \cdot \sqrt{g \cdot h \cdot J} \cdot \ln\left(1 + \frac{D}{2 \cdot k}\right)$$



**Fig.5.21.** Modelul evaluării vitezei de antrenare a particulelor solide într-un curent de apă

în care

$K_1, K_2, K_y$  - constante adimensionale determinate de forma granulelor și heterogenitatea sedimentului

$\mu$  - vâscozitatea dinamică a fluidului de antrenare

$\rho_{apa}$  -densitatea fluidului

$D$  - diametrul granulei minerale

$h$  - grosimea curentului de apă

$k$  - rugozitatea absolută exprimată în unități de lungime

$J$  - panta hidrolică

Valorile constantelor se evaluează experimental pentru forme geometrice simple :

- pentru sferă :
  - $K_y = 0,13$
  - $\frac{F_x}{F_y} = 0,35$
- pentru cilindru
- $K_y = 0,3 \div 0,4$
- $\frac{F_x}{F_y} = 0,7$

**Viteza limită de antrenare prin alunecare ( $V_{ss0}$ )** a unei particule sferice se estimează din echilibrul a trei forțe :

- Forța frontală :  $F_x = K_1 \cdot \mu \cdot D \cdot V_{ss} + K_2 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{ss}^2$
- Forța portantă :  $F_y = K_y \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{ss}^2$
- Forța arhimedică :  $F_A = \frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot g \cdot (\rho_{sed} - \rho_{apa})$

Condiția de antrenare este:

$$F_x > K_{FR} \cdot (F_A - F_y)$$

care după înlocuirea componentelor devine:

$$K_1 \cdot \mu \cdot D \cdot V_{ss} + K_2 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{ss}^2 > K_{FR} \cdot \left[ \frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot g \cdot (\rho_{sed} - \rho_{apa}) - K_y \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{ss}^2 \right] \quad (5.3.1)$$

Viteza minimă a curentului de antrenare prin alunecare pe substrat solid a granulelor minerale ( $V_{ss0}$ ) se obține prin egalarea celor doi termeni ai inegalității (5.3.1.) care prin neglijarea primului termen din membrul stâng (cu valoare foarte mică) devine:

$$K_2 \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{ss0}^2 = K_{FR} \cdot \left[ \frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot g \cdot (\rho_{sed} - \rho_{apa}) - K_y \cdot \rho \cdot D^2 \cdot V_{ss0}^2 \right]$$

din care rezultă succesiv:

$$V_{ss0}^2 \cdot (K_2 + K_{FR} \cdot K_y) \cdot \rho_{apa} \cdot D^2 = K_{FR} \cdot \left[ \frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot g \cdot (\rho_{sed} - \rho_{apa}) \right]$$

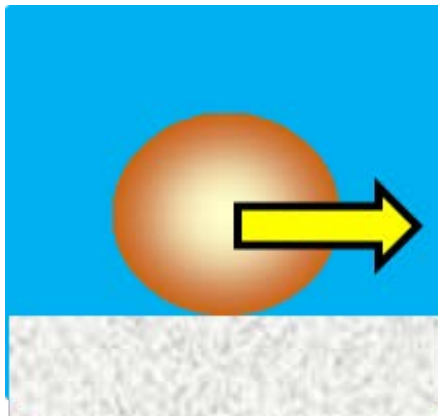
$$V_{ss0} = \sqrt{\frac{\pi \cdot K_{FR}}{6 \cdot (K_2 + K_{FR} \cdot K_y)} \cdot D \cdot g \cdot \left( \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{apa}} \right)} = K_{ss0} \cdot \sqrt{D \cdot g \cdot \left( \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{apa}} \right)}$$

Modelul final fiind:

$$V_{ss0} = K_{ss0} \cdot \sqrt{D \cdot g \cdot \left( \frac{\rho_{sed} - \rho_{apa}}{\rho_{apa}} \right)} \quad \text{cu} \quad K_{ss0} = \sqrt{\frac{\pi \cdot K_{FR}}{6 \cdot (K_2 + K_{FR} \cdot K_y)}}$$

Corectat pe baza experimentelor, modelul **vitezei minime de antrenare prin alunecare** a granulelor minerale **sferice** conduce la:

- $V_{ss0} = \sqrt{g \cdot (15 \cdot D + 0,6)}$  ;  $\bar{V}_{ss0} \left[ \frac{cm}{sec} \right]$  ;  $g \left[ \frac{cm}{sec^2} \right]$  ;  $D [cm]$  (M.A.Velikanov și N.M. Boicikov)
- $V_{ss0} = 1,4 \cdot \sqrt{D \cdot g} \cdot \left( 1 + \ln \frac{h}{7 \cdot D} \right)$     dacă  $10 < \frac{h}{D} < 60$  (I.I.Levi)
- $V_{ss0} = 1,4 \cdot \sqrt{D \cdot g} \cdot \ln \frac{h}{7 \cdot D}$     dacă  $\frac{h}{D} > 60$  (I.I. Levi)



### 5.3.1.2. Capacitatea de transport pe substrat solid

Capacitatea de transport pe substrat solid se exprimă prin **debitul solid** ( $q_s$ ) antrenat prin alunecare pe substratul solid sub forma:

$$q_s : \left[ \frac{\text{Kg\_materie\_solida}}{\text{secunda} \cdot \text{unitatea\_de\_latime\_a\_canalului}} \right] \mapsto \text{exemplu} : \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{sec} \cdot \text{m}} \right]$$

Principiul evaluării debitului solid presupune că **forța de antrenare specifică**:

$$\tau = \gamma \cdot J \cdot h$$

se consumă la antrenarea prin alunecare a unui număr de straturi de sediment din substratul solid, deplasate cu viteze din ce în ce mai mici până la  $V_{ss} = 0$  în ultimul strat (**Fig.5.22**):

$$q_s = K_T \cdot \tau (\tau - \tau_0)$$

$\tau$  - efortul de antrenare la adâncimea  $h$  ;  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$

$\tau_0$  - efortul de antrenare la adâncimea  $h_0$  care corespunde vitezei de medii de pornire  $V_0$ ;

adică

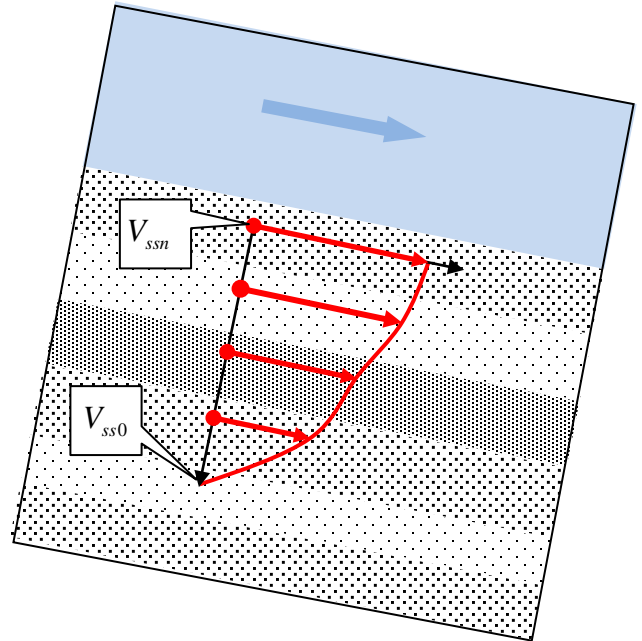
$$q_s = K_T \cdot \tau (\tau - \tau_0) = K_T \cdot \gamma \cdot J \cdot h \cdot (\gamma \cdot J \cdot h - \gamma \cdot J \cdot h_0) = K_T \cdot \gamma^2 \cdot J^2 \cdot h \cdot (h - h_0)$$

și după introducerea notației  $K_T^* = K_T \cdot \gamma^2$

$$q_s = K_T^* \cdot (h - h_0) \cdot J^2$$

sau după înlocuirea pantei hidraulice ( $J$ ) și a grosimilor ( $h, h_0$ ) corespunzătoare vitezelor ( $\bar{V}_{ss}, V_{ss0}$ ) și constantelor ( $C, C_0$ ) din legea lui Chezy ( $V = C \cdot \sqrt{J \cdot h}$ ):

$$q_s = K_T^* \cdot \frac{\bar{V}_{ss}^2}{C^2} \left( \frac{\bar{V}_{ss}^2}{C^2} - \frac{V_{ss0}^2}{C_0^2} \right)$$



**Fig.5.22.** Principiul evaluării debitului solid transportat prin antrenare pe substrat solid.

în care

$V_{ss0}$  - viteza minimă de antrenare prin alunecare pe substratul solid

$\bar{V}_{ss}$  - viteza medie de antrenare prin alunecare pe substratul solid

Din confruntarea modelului general cu date experimentale au rezultat formule adaptate pentru:

- **nisip uniform** (A.Schoklitsch, 1934):

$$q_s = \frac{7000}{\sqrt{D}} \cdot J^{\frac{3}{2}} (q - q_0); \left[ \frac{Kg}{\text{sec} \cdot m} \right]; D [mm]$$

$$q = \bar{V}_{ss} \cdot h - \text{debitul lichid corespunzător vitezei medii de antrenare prin alunecare} \left[ \frac{m^3}{\text{sec} \cdot m} \right]$$

$$q_0 = V_{ss0} \cdot h_0 - \text{debitul lichid corespunzător vitezei minime de antrenare prin alunecare} \left[ \frac{m^3}{\text{sec} \cdot m} \right]$$

- **aluviuni omogene** (V.N. Goncharov, 1938)

$$q_s = 2,08 \cdot \left( \frac{\bar{V}_{ss}}{V_{ss0}} \right) \cdot \left( \frac{D}{h} \right)^{\frac{1}{10}} (\bar{V}_{ss} - V_{ss0}); \left[ \frac{Kg}{\text{sec} \cdot m} \right]; D [mm]$$

- **nisip grosier uniform** ( $\frac{D}{h} = \frac{1}{300}$ ) (I.I. Levi):

$$q_s = 2 \cdot \left( \frac{\bar{V}_{ss}}{D \cdot \sqrt{g}} \right)^3 \cdot \left( \frac{D}{h} \right)^{\frac{1}{4}} (\bar{V}_{ss} - V_{ss0}); \left[ \frac{Kg}{\text{sec} \cdot m} \right]; D [mm]$$

**Viteza medie de antrenare prin alunecare** ( $\bar{V}_{ss}$ ) pe substratul solid rezultată pe baza experimentelor în care s-a ținut seama de diametrul granulelor ( $D$ ) și panta hidraulică ( $J$ ) s-a concretizat în formula semiempirică (Strickler):

$$\bar{V}_{ss} = 26 \cdot \left( \frac{R}{D} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot \sqrt{R \cdot J}; \bar{V}_{ss} \left[ \frac{m}{\text{sec}} \right]; D [m]; R [m]$$