

DHI

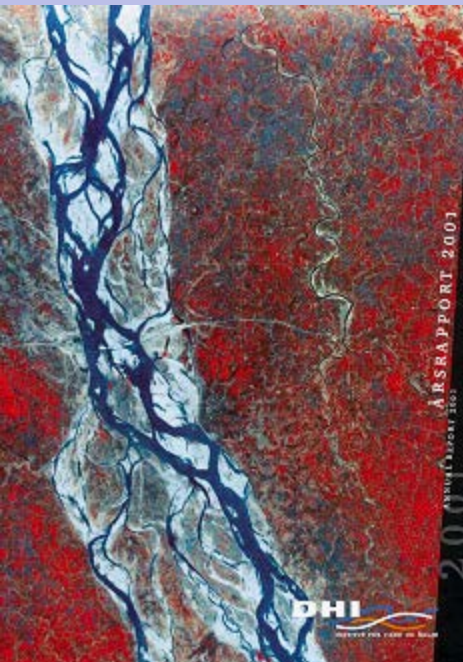
Transportul sedimentelor

Instrumente de modelare a transportului sedimentelor și a morfologiei albiilor

DHI Software



DHI Software
Transport de sedimente
de la sursă la mare



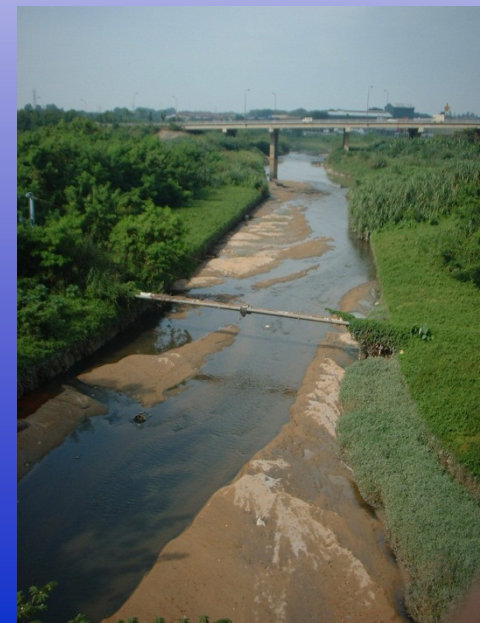
Eroziunea solului în bazinele hidrografice
Colmatarea lacurilor de acumulare
Transportul sedimentelor în râuri și estuare
Morfologia albiei râurilor
Dinamica sedimentelor coezive
Procese de sedimentare în zonele de coastă
Utilizând
modele 1D, 2D și 3D



Instrumente de modelare a transportului sedimentelor și a morfologiei albiilor

.... Pot fi pârauri mici, fluvii mari,
zone mlăștinoase,
sedimente grosiere, nisipuri

.....În stadiul natural,
sau influențat de om



Instrumente de modelare a transportului sedimentelor și a morfologiei albiilor

Instrumentele de modelare sunt:

- MIKE Basin
Modelarea integrată a bazinelor hidrografice
- MIKE11
Modelul 1D a albiilor deschise
- MIKE21C
Modelul 2D a albiilor deschise
- LITPACK
- MIKE21/FM
Modele 2D pentru râuri și coaste
- MIKE3
Model tridimensional
Toate împreună descriu o gamă largă a proceselor de sedimentare, tipuri diferite de modele de simulare

MIKE 11 AD/ACS/ST/GST

Transportul sedimentelor coezive și necoezive

MIKE 21 C

Modelarea morfologiei albiilor State-of-the-Art

LITPACK

Procese de sedimentare în zonele de coastă

MIKE21ST

Transportul sedimentelor necoezive în curenți și valuri

MIKE21MT

Transportul sedimentelor necoezive în curenți și valuri

Ingineria râurilor / Morfologie și sedimentare

- **Servicii de consultanță**
- Navigație pe râuri (dragare etc.)
- Structuri hidraulice pe cursuri de apă (stăvilare, diguri, ecluze, baraje)
- Morfologia râurilor și transportul sedimentelor
- Sedimentare în porturile fluviale, golfuri, câmpii inundabile
- Restaurarea cursurilor de apă
- Managementul colmatării lacurilor de acumulare
- Intruziunea apei sărate
- Ruperi de baraje

Ingineria râurilor / Morfologie și sedimentare

- **Servicii de consultanță**

Tipuri de studii:

- Studii pilot
- Studii de impact
- Studii de fezabilitate
- Proiecte tehnice și detalii de execuție
- Cursuri de formare

Clienți

- Autoritățile publice
- Consultanți privați
- Instituții și agenții internaționale și naționale

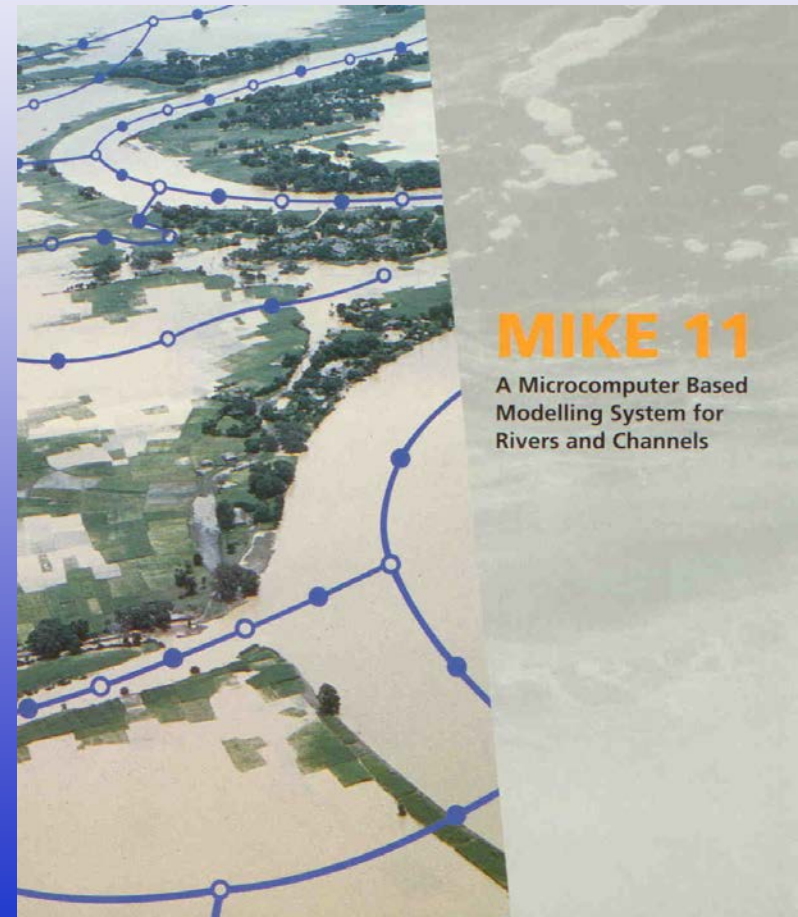
Ingineria râurilor / Morfologie și sedimentare

Cercetare & Dezvoltare

- Dezvoltarea continuă a software-urilor de ingineria râurilor în domeniile serviciilor oferite de DHI
- Un element important este feedback-ul între proiecte și domeniul cercetării-dezvoltării
- Exemple curente:
 - Metode îmbunătățite de spălare a lacurilor de acumulare
 - Scurgeri solide de concentrație mare

MIKE 11 Modele de transport de sedimente

Introduzione



MIKE 11 Modèles de transport de sédiments

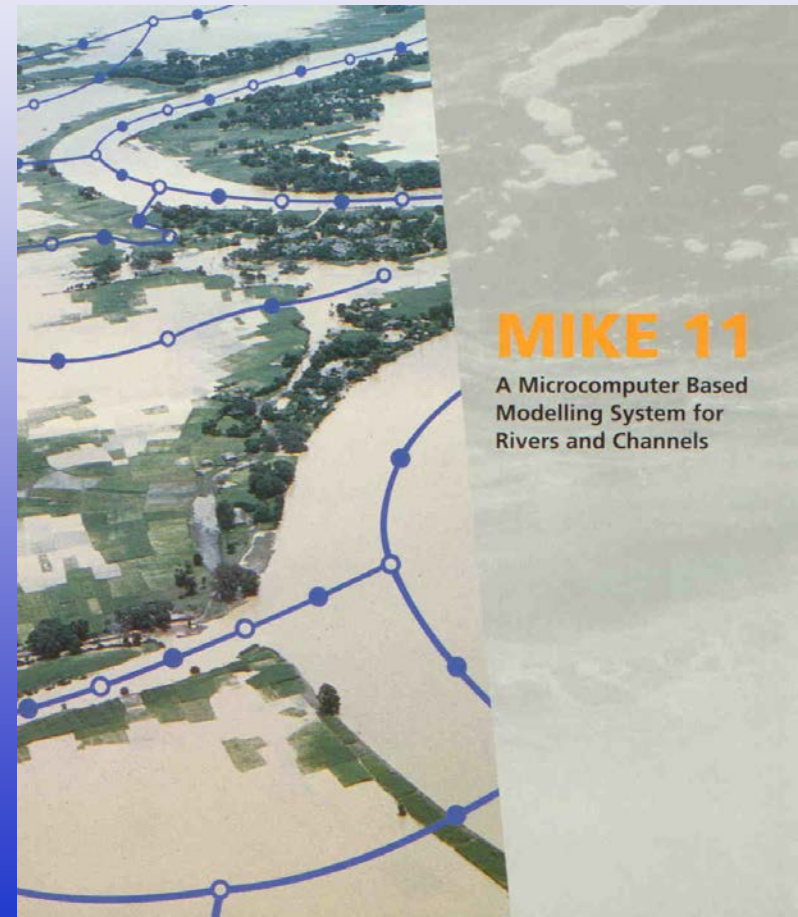
Module disponible

MIKE 11 AD

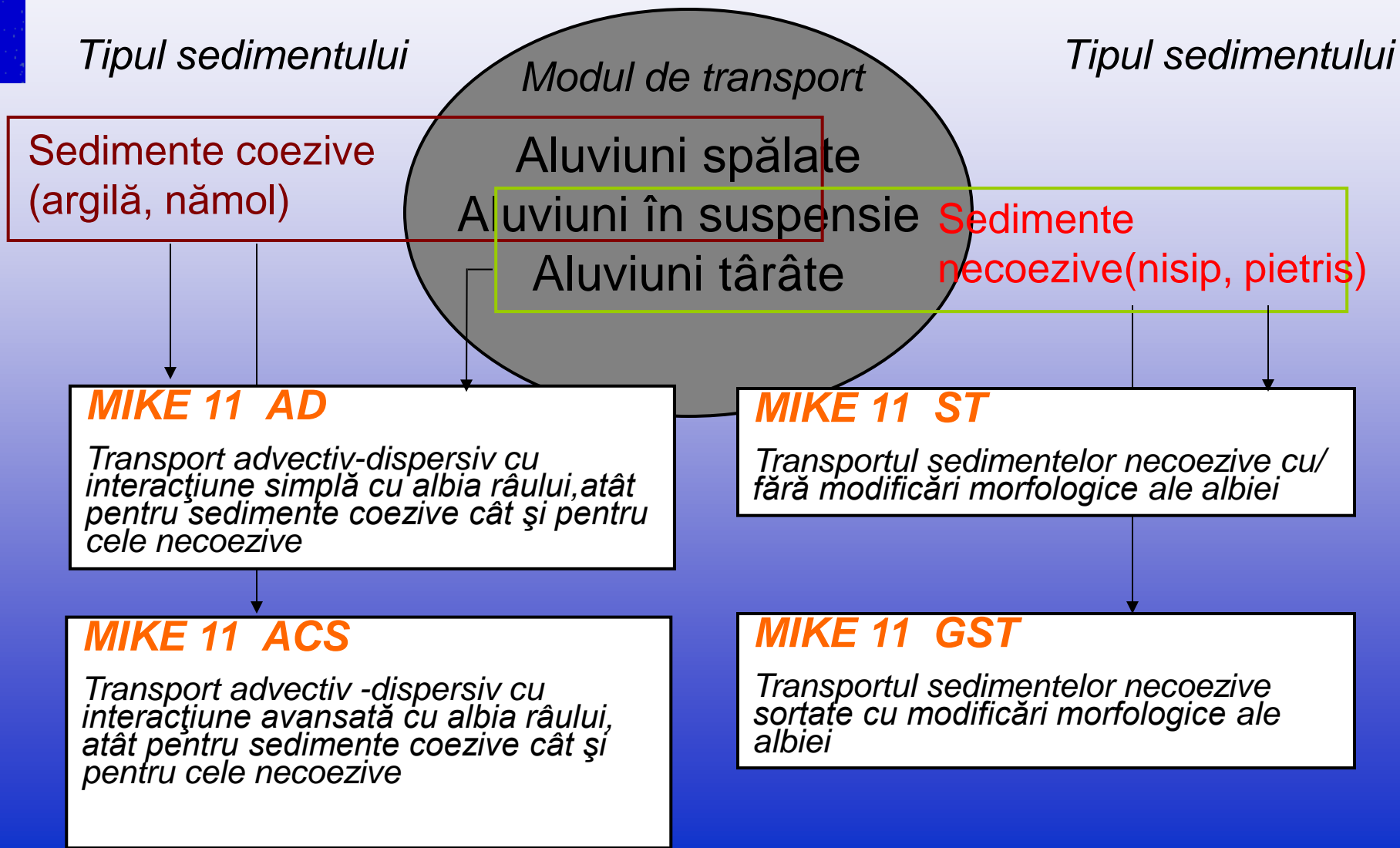
MIKE 11 ACS

MIKE 11 ST

MIKE 11 GST



MIKE 11 Modele de transport de sedimente – Care modul îl alegem?



MIKE 11 Model pentru Transportul Sedimentelor

MIKE 11 ACS

Transport advection -dispersiv cu interacțiune avansată cu albia râului, atât pentru sedimente coezive cât și pentru cele necozive

Floculația

Depunere încetinită

Separate erosion characteristics and density for each layer

Caracteristici separate de eroziune și densitate pentru fiecare strat

Consolidare

Date de intrare

Serii de timp a concentrațiilor

Viteza de depunere

Înălțimea inițială a patului râului

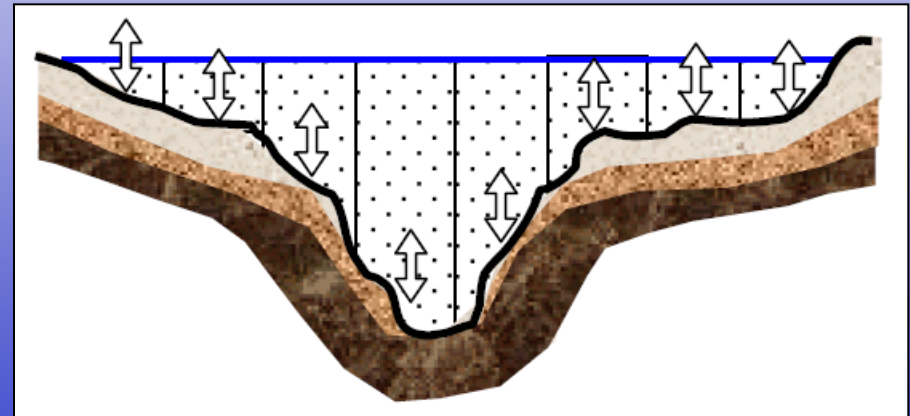
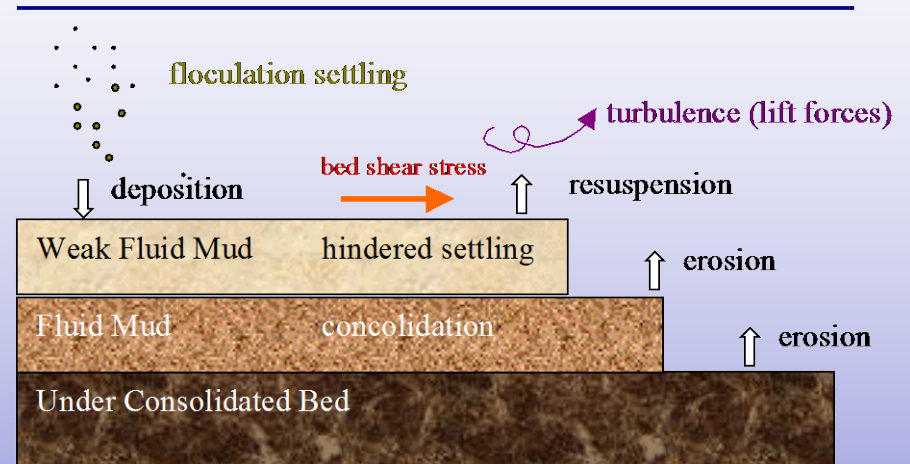
Densitatea materialului patului albiei

Date de ieșire

Concentrația sedimentelor în suspensie

Grosimea straturilor patului albiei

Masa sedimentelor în albie



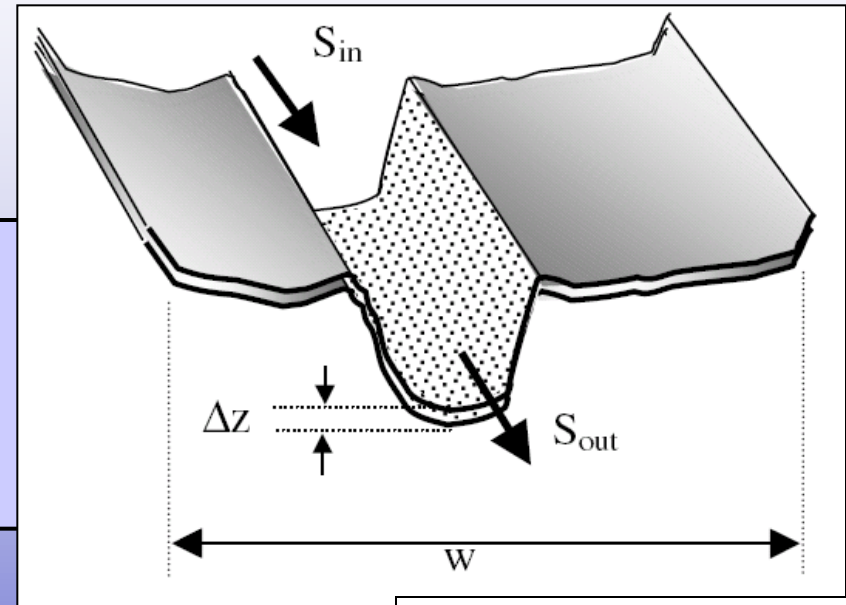
Secțiunea transversală divizată în fâșii pentru descrierea fenomenului eroziune/depunere

MIKE 11 Model pentru Transportul Sedimentelor

Rezolvarea ecuației de
continuitate pentru
sedimente (cu modificări
morfologice)

MIKE 11 ST

Transportul sedimentelor necoezive cu/
fără modificări morfologice ale albiei



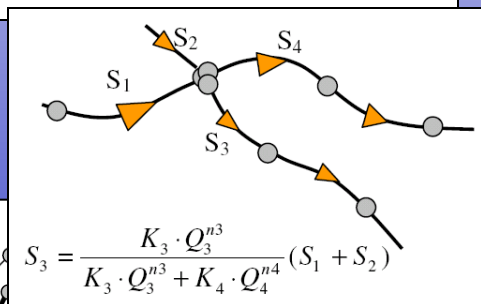
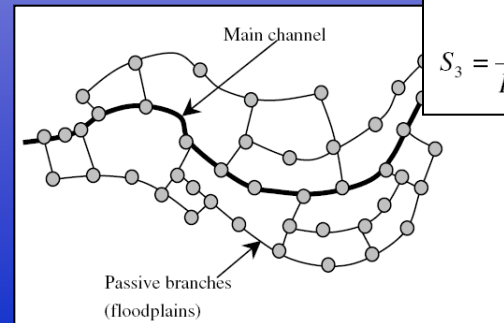
Date de intrare

Dimensiunea particulelor
Densitate și porozitate
Formula de transport
Condiții de margine

Date de ieșire

Debitul solid
Depuneri
Nivelul fundului
albiei
Nivelul patului albiei
Rugozitatea
Dimensiunea
dunelor

Distribuția sedimentelor
în noduri



$$S_3 = \frac{K_3 \cdot Q_3^{n_3}}{K_3 \cdot Q_3^{n_3} + K_4 \cdot Q_4^{n_4}} (S_1 + S_2)$$

Ramuri pasive

Formulele transportului de sedimente

- Engelund-Hansen
- Ackers-White
- Smart-Jaeggi
- Engelund-Fredsøe
- Van Rijn
- Meyer-Peter & Müller
- Sato, Kikkawa & Ashida
- Ashida & Michiue
- Lane-Kalinske
- Yang

MIKE 11 Model pentru Transportul Sedimentelor

MIKE 11 GST+ACS

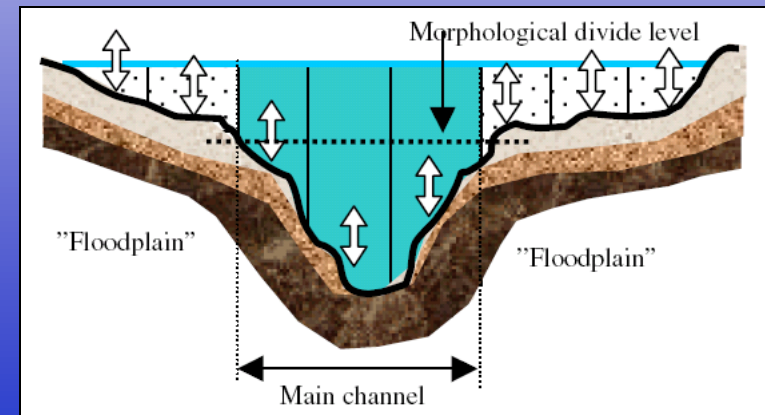
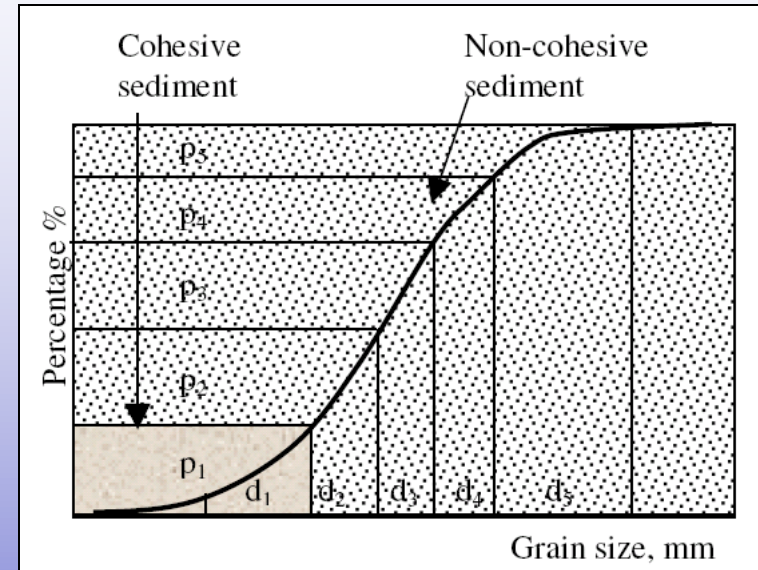
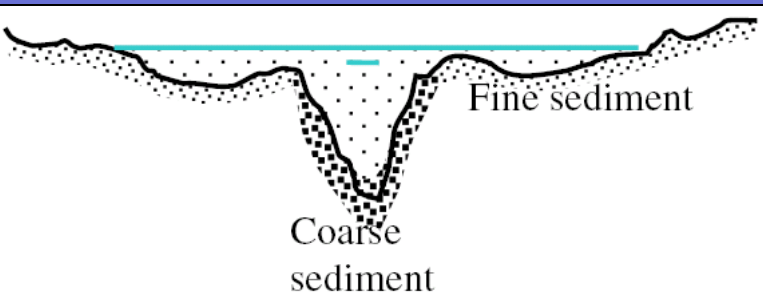
Transportul sedimentelor necoezive sortate cu modificări morfologice ale albiei

Modulul GST este la fel cu modulul ST, cu excepția faptului că coeficientul pentru dimensiunea granulelor este definit și simulat

$$S_i = S_{capacity,i} \cdot P_i$$

$$S = \sum S_{capacity,i} \cdot P_i$$

Modelul GST poate fi combinat cu modelul ACS pentru simularea transportului de sedimente necoezive combinată cu transportul sedimentelor coezive



MIKE 11 Model pentru Transportul Sedimentelor

Aplicații tipice:

MIKE 11 AD/ACS/ST/GST

Transportul sedimentelor coezive și
necozive

Abordare 1D

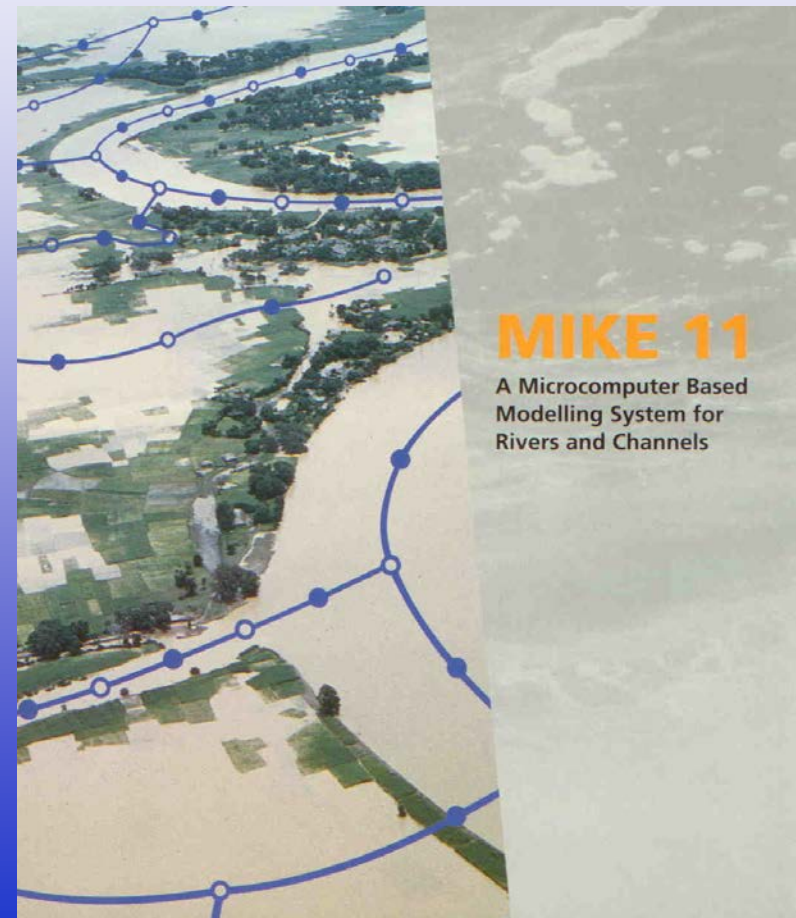
Modulul sedimentelor cuplate la
MIKE 11 HD

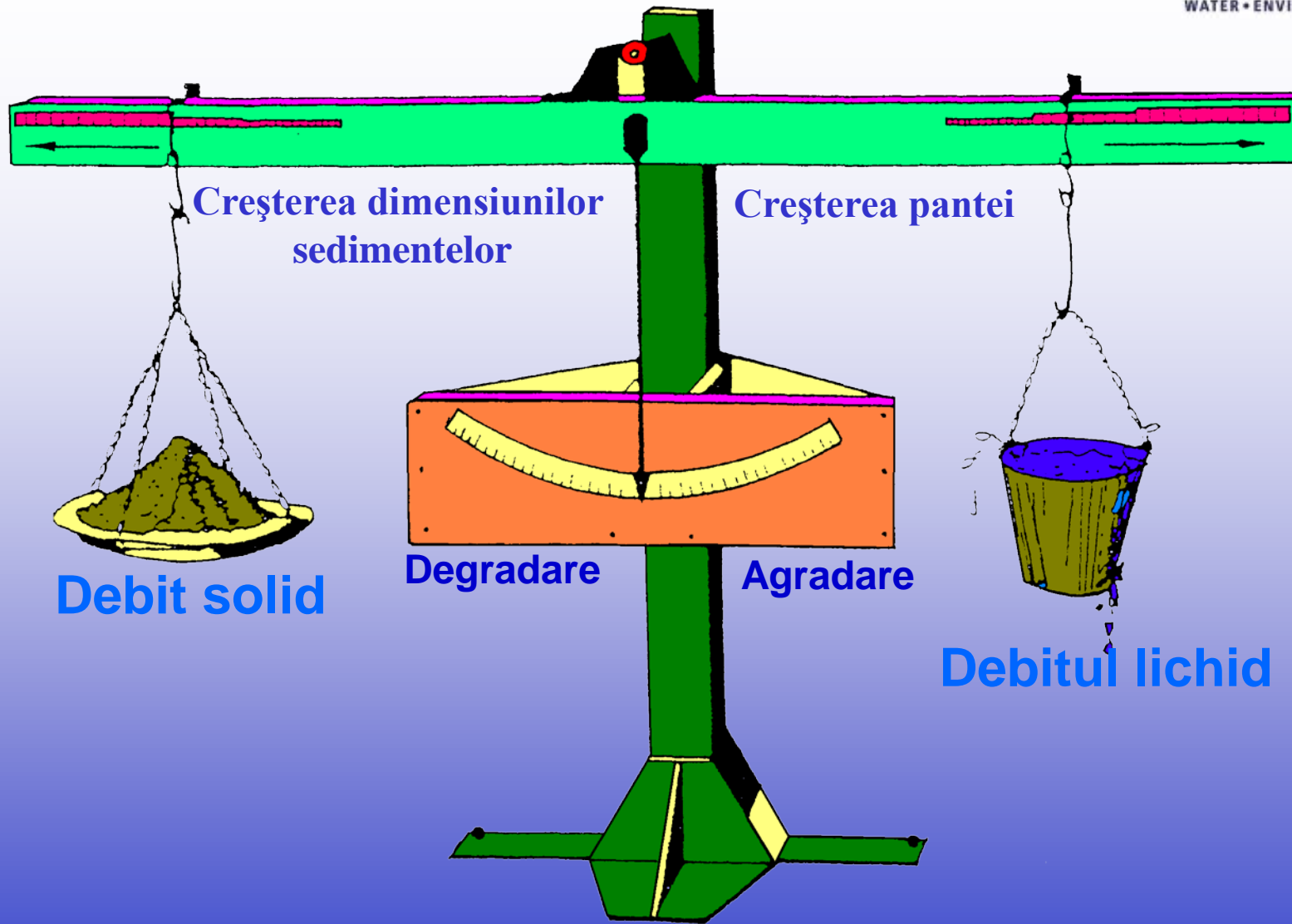


- Modificările morfologice pe termen lung a albiei râului
- Antrenarea, transportul și depozitarea sedimentelor contaminate
- Optimizarea investiției și întreținerea albiilor prin dragare pentru navigație
- Sedimentarea în porturi, câmpuri inundabile
- Evaluarea duratei de viață a unui lac de acumulare
- Restaurarea râului printr-o proiectare optimă a interacțiunii dintre albie și luncă

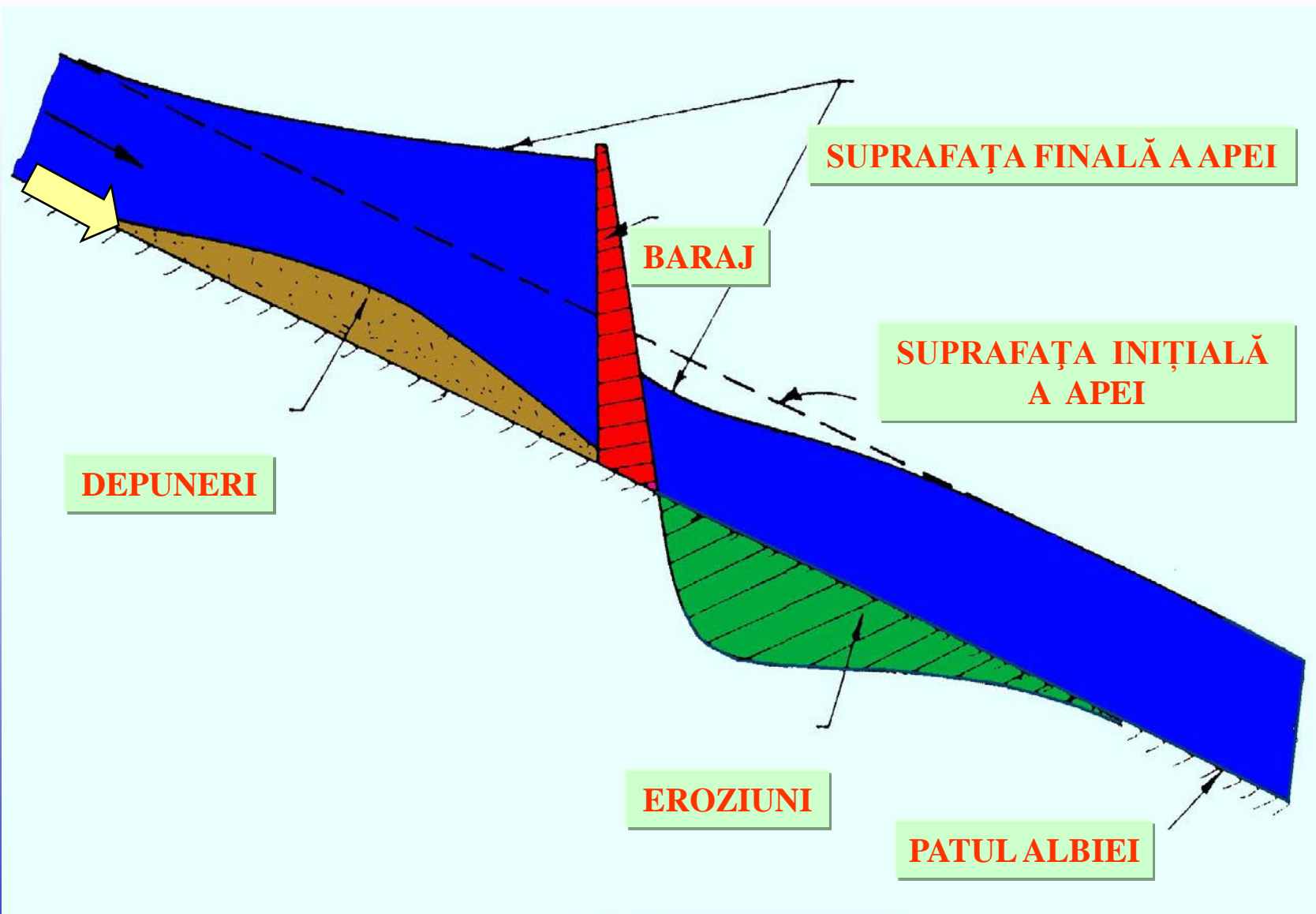
MIKE 11 Modele de transport de sedimente

Modelarea impactului asupra mediului în aval de baraje





Analogia cu bilanțul lui Lane



SUPRAÎNĂLȚAREA ȘI DEGRADAREA ÎN ZONA BARAJULUI

MIKE 11 Modele de transport de sedimente

Impactul în aval de baraj:

- *Eroziunea/degradarea patului albiei*
- *Pavarea fundului albiei*
- *Eroziunea malurilor*
- *Probleme de calitate a apei*

	MIKE11	MIKE21	Ecolab
• Eroziunea/degradarea patului albiei	✓	✓	
• Pavarea fundului albiei	✓	✓	
• Eroziunea malurilor		✓	
• Probleme de calitate a apei			✓

MIKE 11 Modele de transport de sedimente

- *Tehnica de modelare*

Schematizarea sectorului de râu din avalul barajului

Dacă este cunoscut debitul deversat atunci nu este necesară schematizarea barajului

=> Q și Q_s sunt condiții la limită pentru sectorul de râu imediat în aval de' baraj



MIKE 11 Modele de transport de sedimente

În cazul în care nu este cunoscut debitul deversat sau când barajul este în funcțiune, atunci trebuie să fie schematizat => se adăugă un sector de râu suplimentar la schematizarea acumulării și la baraj, introducerea regulilor de exploatare a bătărajului furnizează un debit Q și Q_s în amonte de acumulare.



MIKE 11 Modele de transport de sedimente

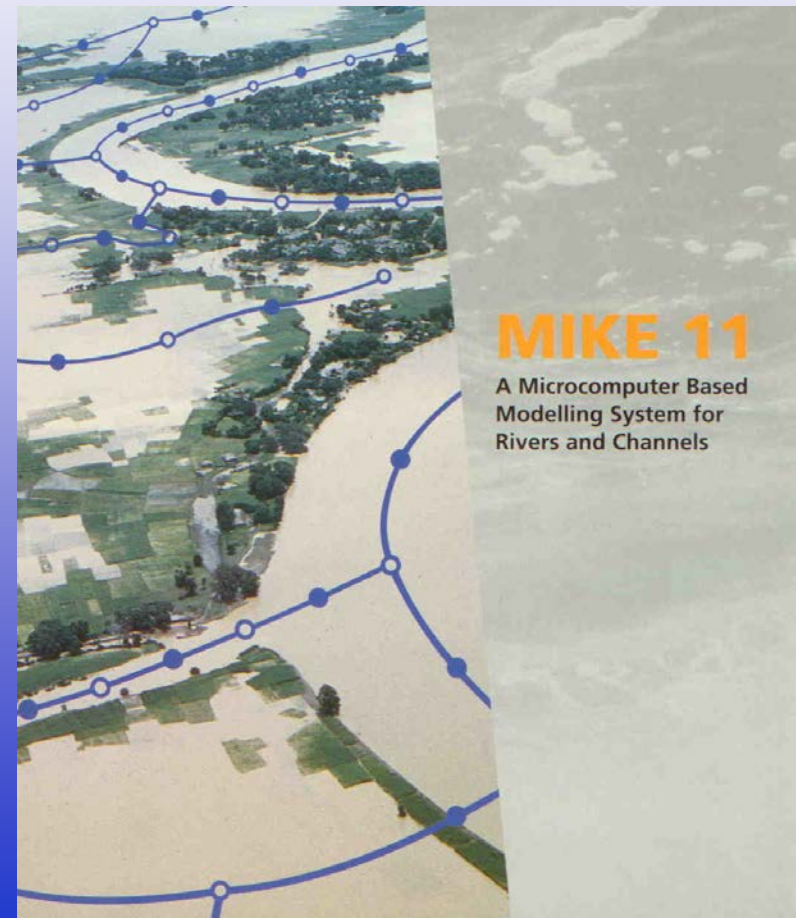
- *Module folosite:*

MIKE 11 ST/GST/ACS după caz

MIKE 11 Modele de transport al sedimentelor

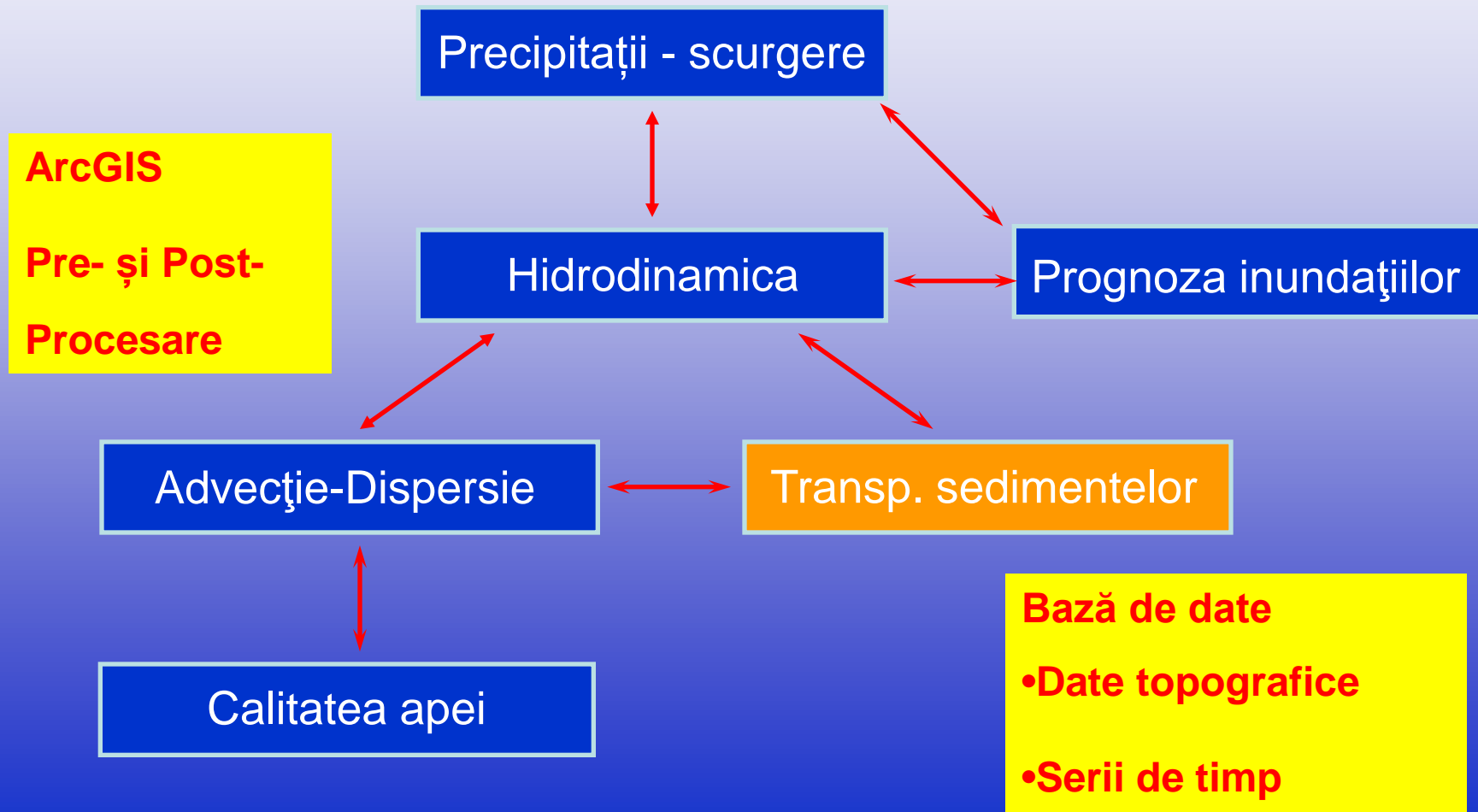
MIKE 11 ST

*Transportul sedimentelor
necoezive*



STRUCTURĂ MODULARĂ

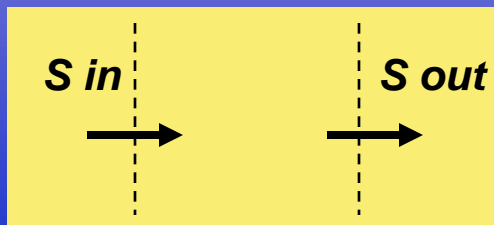
Module și baze de date care interacționează dinamic



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

- Sedimente uniforme (d_{50})
- Moduri de calcul:
 1. Capacitatea de transport a sedimentelor (nivelul fundului albiei fixat)
 2. Calculul morfologic (actualizarea nivelului fundului albiei)

Bilanțul sedimentelor între două secțiuni consecutive ale albiei



$S_{in} > S_{out} \Rightarrow$ Depunere

$S_{in} < S_{out} \Rightarrow$ Eroziune

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Calcul morfologic

Bazat pe ecuația de continuitate unidimensională a sedimentelor:

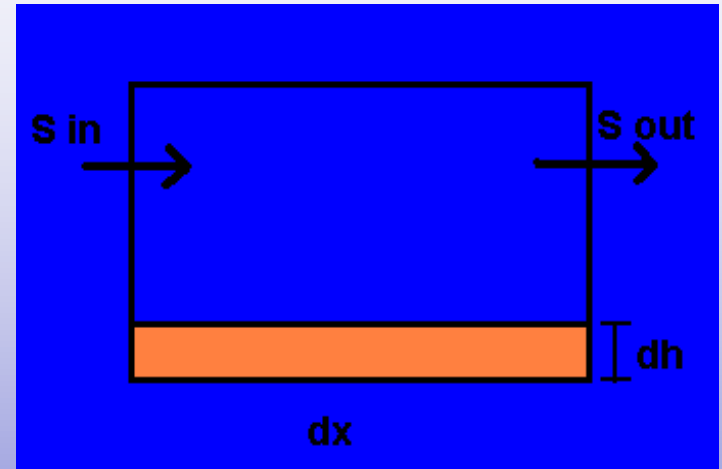
$$\frac{\partial S}{\partial x} + (1 - \varepsilon) \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

Unde:

S : transportul de sedimente [$\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$]

h : nivelul fundului albiei [m]

ε : porozitatea particulelor aluvionare



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Calculul capacității de transport (modul explicit)

- Fără condiții de margine ST
- Calculul capacității de transport
- Nicio actualizare a nivelului fundului albiei
- **NU influențează modulul HD**
- Simulare doar transport sedimente sau în paralel cu HD

Calculul morfologic (modul implicit)

- Necesită condiții de margine
- Calculul transportului
- Actualizarea nivelului fundului albiei
- Influențează modulul HD
- Simulare în paralel cu HD

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

- Informații de la HD la ST
 - *Adâncimea apei*
 - *Rezistența hidraulică (rugozitatea)*
 - *Viteza apei*

- Informații de la ST la HD
 - *Nivelurile fundului albiei*
 - *Rezistența hidraulică (numărul lui Manning)*

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor **MIKE 11 ST**

Definiții de bază

Diametrul granulelor : diametrul cu procent de 50% pe *curba granulometrică* cumulativă D_{50} și abaterea standard σ

Densitatea relativă: $s = \gamma_s / \gamma$, unde γ_s și γ greutatea specifică a nisipului și respectiv a apei. Pentru nisip $s = 2.65$

Porozitatea : $e =$ definită ca raport între volumul de pori (V_p) și volumul brut al sistemului aluviuni-pori (V_b)
Pentru particule sferice porozitatea este 0.35

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Viteza de sedimentare rezultă din echilibrul dintre forțele de antrenare (drag force) F_d și greutate F_g

$$F_d = \frac{1}{2} c_D V^2 A = \frac{1}{2} c_D \rho w_s^2 \pi/4 d^2$$

$$F_g = (\gamma_s - \gamma) \pi/6$$

Echilibrul forțelor :

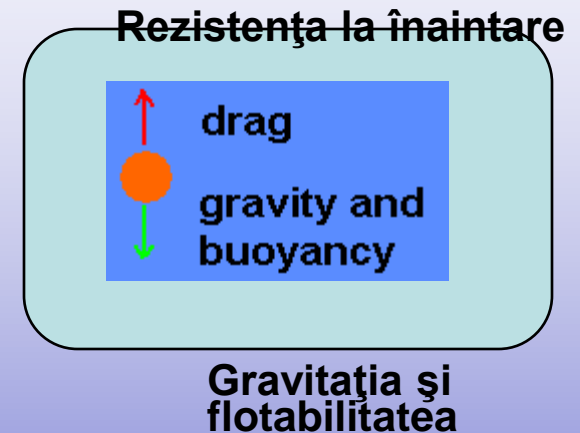
$$F_d = F_g$$

⇓

$$\frac{1}{2} c_D \rho w_s^2 \pi/4 d^2 = (\gamma_s - \gamma) \pi/6$$

⇓

$$w_s = \sqrt{4(s - 1) g d / 3 c_D}$$



Legea lui Stoke :

$$R = \frac{w_s d}{\nu}$$

$$c_D = 24/R$$

$$w_s = \frac{(s - 1)gd^2}{18 \nu}$$

Efortul critic de antrenare adimensional

$$\tau_c^* = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho)gD} \quad \text{or} \quad \theta_c = \frac{U_f^2}{(s-1)gd}$$

Unde:

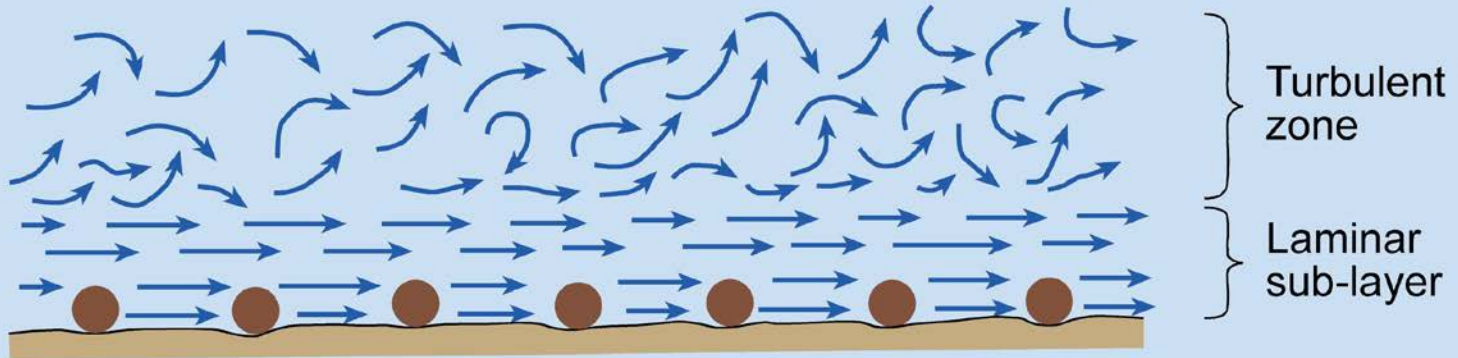
τ_c efortul tangențial critic de antrenare

τ_c^*, θ_c efortul tangențial critic de antrenare adimensional

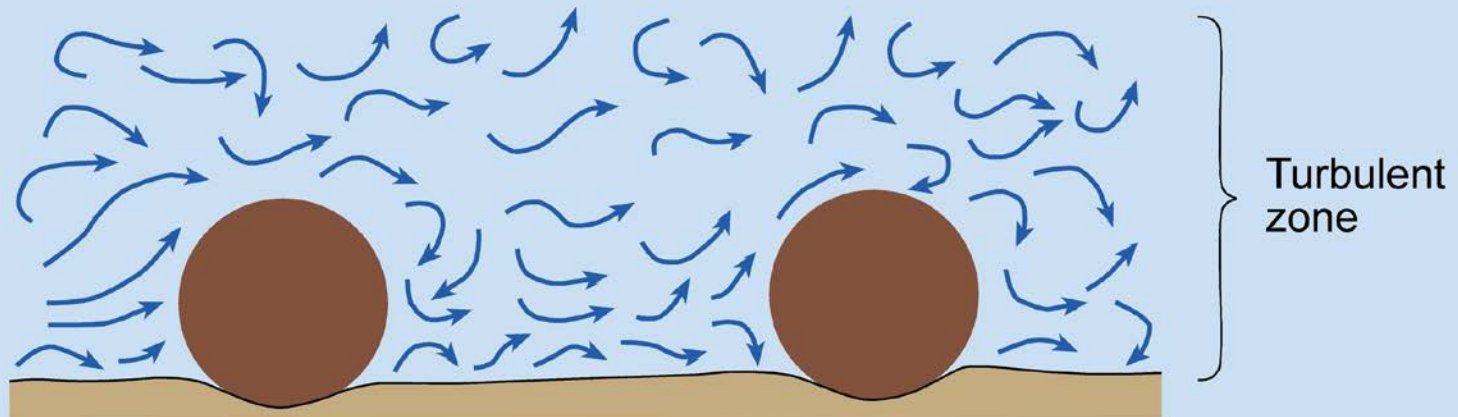
U_f este viteza de frecare

Numărul Reynolds (Re^*)

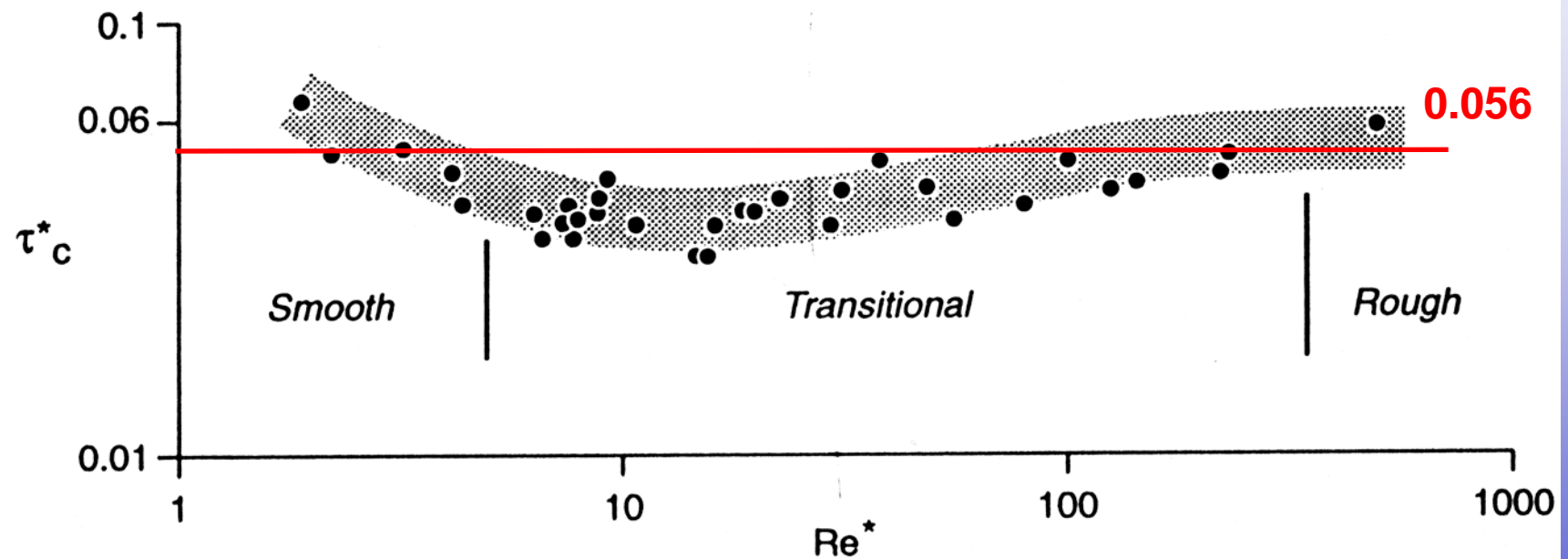
Hydraulically smooth flow, $Re^* < 5$



Hydraulically rough flow, $Re^* > 70$



Curbele lui Shield's



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Efortul tangențial critic de antrenare adimensional

Rezultă din echilibrul dintre forțele de antrenare și cele de stabilizare:

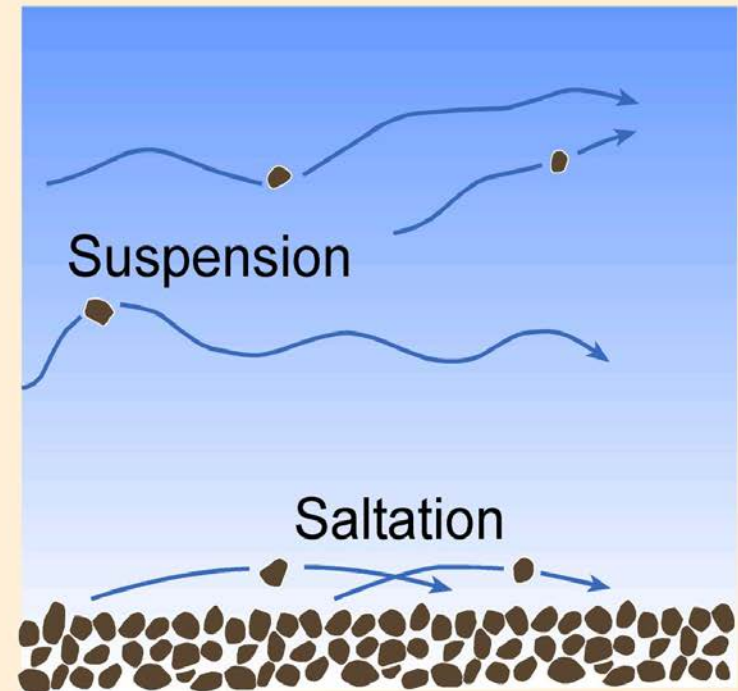
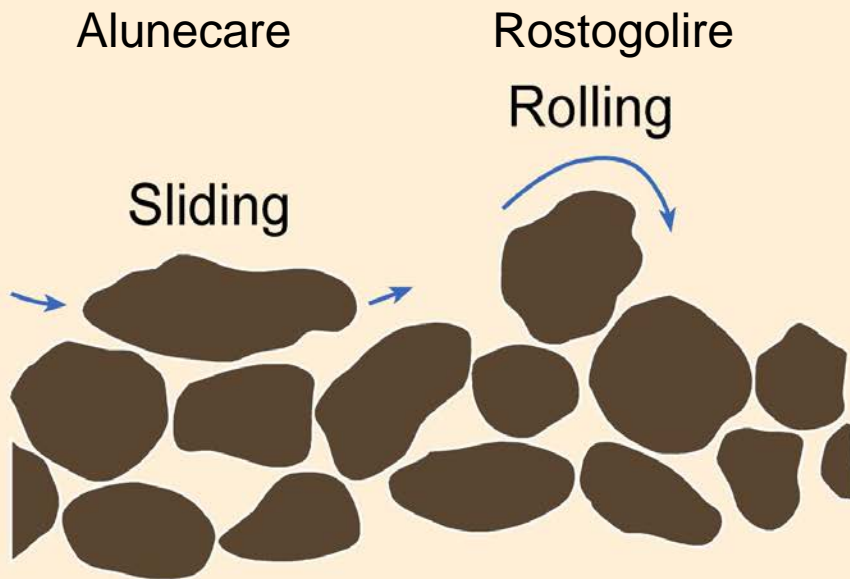
$$\theta_c = \frac{U_f^2}{(s-1)gd}$$

Unde:

- U_f : viteza de frecare [m/s]
- s : densitatea relativă a nisipului
- g : accelerația gravitațională [m/s²]
- d : diametrul granulelor [m]

Pentru $\theta_c > 0.056$ (valoarea critică a lui Shield's) sedimentele se vor deplasa.

Moduri de transport



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Moduri de transport

Aluviuni de fund : rostogolire, alunecare de-a lungul albiei

Aluviuni în suspensie: particule transportate în suspensie datorită turbulenței, în contact ocazional cu patul albiei

Aluviuni spălate : material fin în suspensie fără contact cu patul albiei

Doar mișcarea aluviunilor de fund și a celor în suspensie sunt modelate cu ajutorul modelelor de transport al sedimentelor necoezive.

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Debitul solid

Transportul adimensional al sedimentelor:

$$\phi = \frac{q_s}{\sqrt{(s-1)gd^3}}$$

unde:

q_s debitul solid [$m^3/m.s$]

s densitatea relativă a nisipului

g accelerația gravitațională [m/s^2]

d diametrul particulelor [m]

Transportul adimensional al sedimentelor de fund:

$$\phi_B = \frac{q_B}{\sqrt{(s-1)gd^3}}$$

unde q_B debitul aluviunilor de fund [$m^3/m.s$]

Similar pentru debitul aluviunilor în suspensie.

<i>Formula de transport</i>	<i>Debit total</i>	<i>Debitul aluv. de fund</i>	<i>Debitul aluv. în suspensie</i>	<i>Dună lungime/ înălțime</i>
Engelund-Hansen	●			
Ackers-White	●			
Smart-Jaeggi	●			
Engelund-Fredsøe		●	●	●
Van Rijn		●	●	
Meyer-Peter & Müller		●		
Sato, Kikkawa & Ashida		●		
Ashida & Michiue		●	●	
Ashida, Takahashi & Mizuyama (ATM)		●		
Lane-Kalinske			●	

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor MIKE 11 ST

Debitul aluviunilor de fund

$$q_B = f(\theta', \theta_c, d, p, U_f) \quad \text{Engelund - Fredsøe}$$

Unde:

θ' : efortul tangențial de antrenare adimensional care acționează asupra particulelor

θ_c : parametrul critic Shield's

d : diametrul granulelor

p : probabilitatea transportului aluviunilor de fund

U_f : viteza de frecare [m/s]

$$\Phi_b = 5 \left[1 + \left(\frac{\frac{\pi}{6} \beta}{\theta' - \theta_c} \right)^4 \right] (\sqrt{\theta'} - 0,7 \sqrt{\theta_c})$$

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Debitul aluviunilor de fund

$$q_B = f(d, u_{bs}, \delta_b, c_b) \text{ van-Rijn}$$

Unde:

d : diametrul particulelor

u_{bs} : viteza particulelor

δ_b : înălțimea saltului

c_b : concentrația aluviunilor de fund

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Debitul aluviunilor de fund

$$q_B = f(d, \theta') \quad \text{Meyer-Peter \& Müller}$$

unde

θ : efort tangențial de antrenare adimensional

d : diametrul particulelor

$$\Phi_b = 8(\theta' - 0,047)^{1,5}$$

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Debitul aluviunilor de fund

$$q_b = \frac{u'_f{}^3}{(s-1)g} \cdot \varphi(n) \cdot F\left(\frac{\tau_0}{\tau_c}\right)$$

$$\varphi(n) = \begin{cases} 0,623, & n \geq 0,025 \\ 0,623 \cdot (40n)^{-3,5}, & n < 0,025 \end{cases}$$

Sato, Kikkawa & Ashida

$$q_b = 17 \cdot \frac{u'_{f,eff}{}^3}{(s-1)g} \cdot \left(1 - \frac{u'_{f,c}{}^2}{u'_f{}^2}\right) \cdot \left(1 - \frac{u'_{f,c}}{u'_f}\right)$$

Ashida & Michiue

$$q_b = \sqrt{(s-1)gd^3} \cdot \frac{12 - 24\sqrt{I}}{\cos\theta} \cdot \tau_*^{(1,5 - \sqrt{I})} \cdot \left(1 - \alpha^2 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*}\right) \left(1 - \alpha \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}}\right)$$

Ashida, Takahashi & Mizuyama

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor MIKE 11 ST

Debitul aluviunilor în suspensie

Engelund-Fredsøe

$$q_s = \int_a^D c u dy$$

$$u = 2.5 u'_f \ln\left(\frac{30y}{k}\right)$$

Distribuția vitezei

$$c = c_a \left(\frac{D-y}{y} \frac{a}{D-a} \right)^z$$

Distribuția Vanoni a concentrației aluviunilor în suspensie

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Debitul aluviunilor în suspensie

Van Rijn

$$q_s = FuDc_a$$

$$F = \frac{\left[\frac{a}{D}\right]^{Z'} - \left[\frac{a}{D}\right]^{1,2}}{\left[1 - \frac{a}{D}\right]^{Z'} [1,2 - Z']}$$

$$Z = \frac{w}{\beta \kappa u_f'}$$

$$\beta = 1 + 2 \left[\frac{w}{u_f'}\right]^2 \text{ for } 0,1 < \frac{w}{u_f'} < 1$$

$$Z' = Z + \psi$$

$$\psi = 2,5 \left[\frac{w}{u_f'}\right]^{0,8} \left[\frac{c_a}{c_o}\right]^{0,4}$$

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Debitul total

Engelund-Hansen

$$\Phi = 0.1 \frac{\theta^{\frac{5}{2}}}{f}$$

Transportul total de sedimente adimensional
 Unde: $f = 2 u_f^2 / u^2$

$$q_t = \Phi \sqrt{(s - 1)g d^3}$$

Determinarea debitului total [m³/m/s]

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor MIKE 11 ST

Debitul total

Ackers-White

$$\frac{X \cdot D}{s \cdot d} \left(\frac{u_f}{u} \right)^n = C \cdot \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right)^m$$

X= transportul sedimentelor (fluxul masic al aluviunilor pe debitul masic unitar)

Ce este rezistența hidraulică?

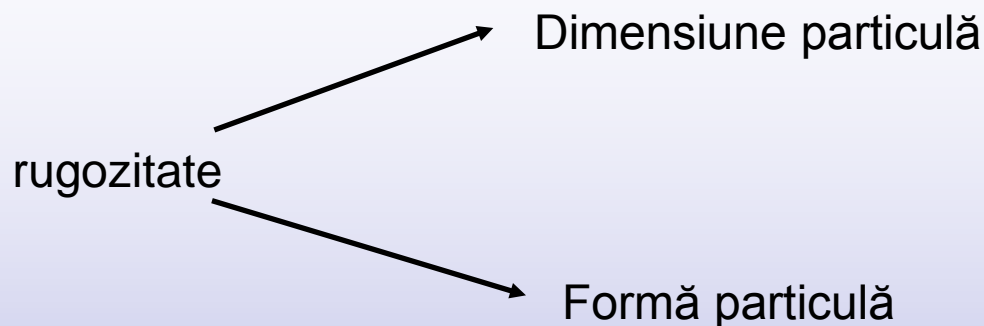


$$u = \frac{1}{n} R^{0.67} S^{0.5}$$

Valori prezentate tabelar

Tipul canalului	n	f _f	C
Canal artificial, din dale de beton	0.014	0.016	71
Canal excavat, pământ	0.022	0.039	45
Canal excavat, pietriș	0.025	0.049	40
Canal natural, lățime < 30 m, curat, regulat	0.03	0.072	33
Canal natural, lățime < 30 m, vegetație slab dezvoltată și pietriș	0.035	0.093	29
Canal natural, lățime < 30 m, vegetație bogată	0.07	0.4	14

Rugozitatea



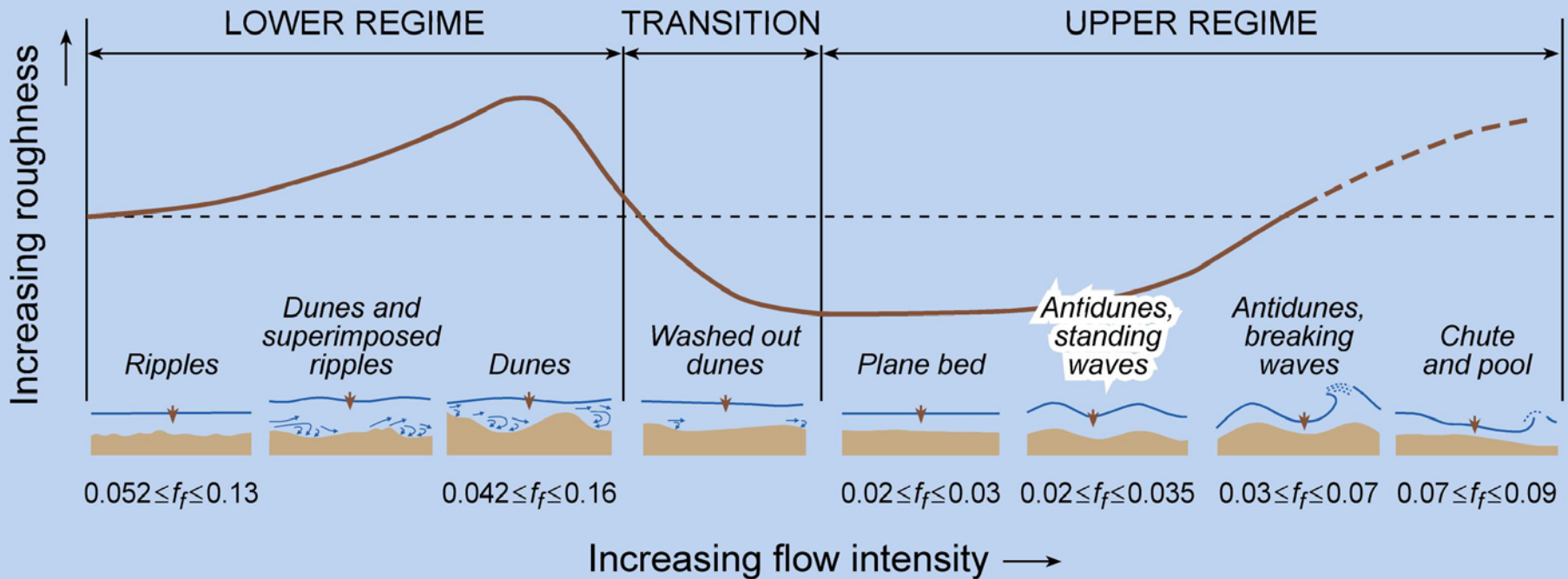
Rugozitatea este în funcție de dimensiunea particulelor care compun patul albiei.

Ecuția Strickler

$$n = 0.151D_{50}^{1/6}$$



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor



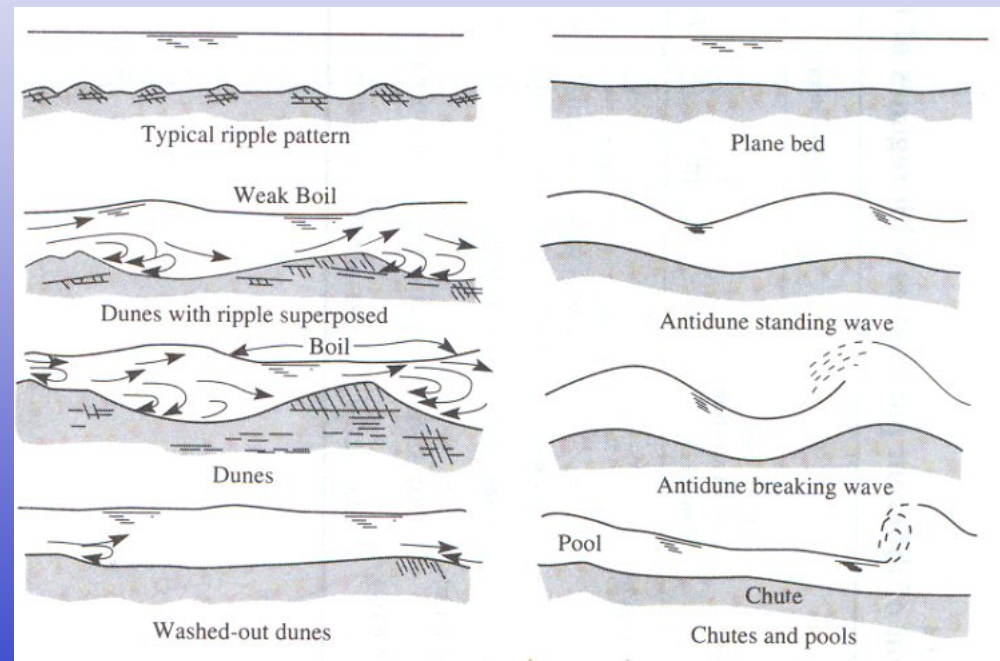
MIKE 11 Sediment Transport Model

MIKE 11 ST

Rezistența hidraulică

În râurile a căror albie este din material nisipos rezistența hidraulică este dată de:

- Frecarea între granule (frecare superficială)
- Frecarea între particule și pereții albiei



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

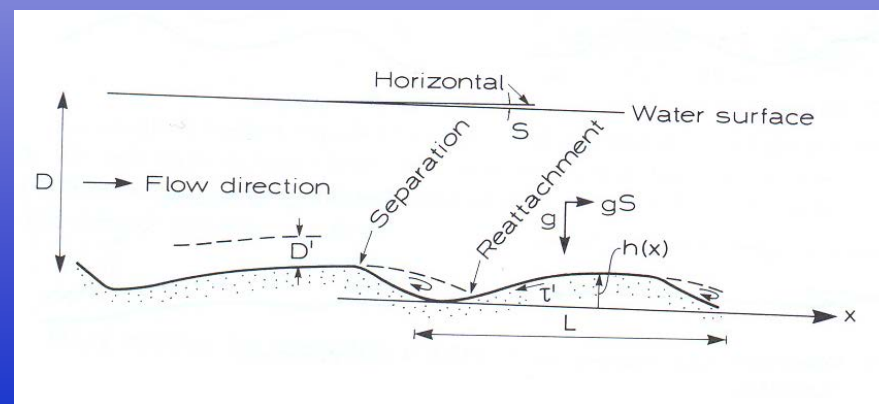
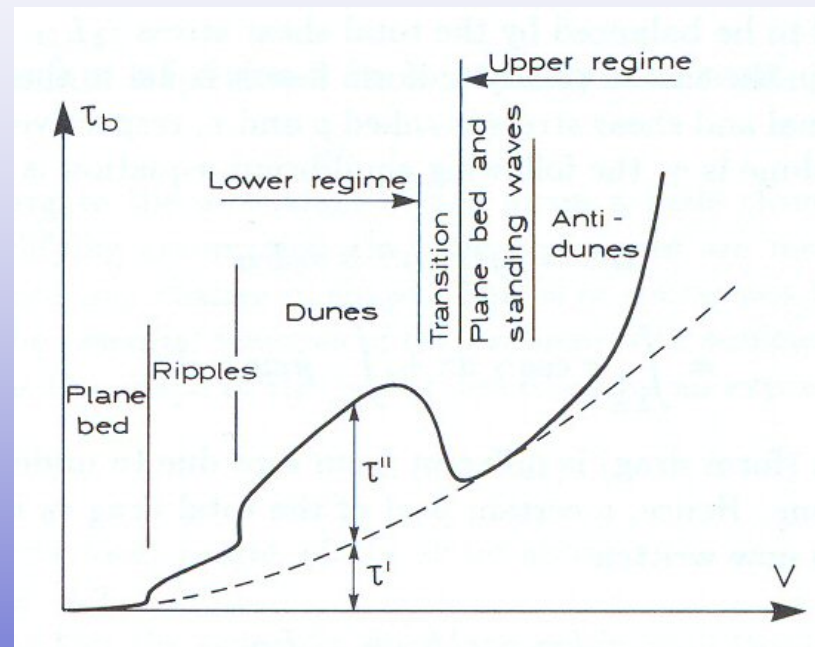
MIKE 11 ST

Rezistența hidraulică

Efortul tangențial total în cazul albiei fixe poate fi descrisă prin linia punctată din figură.

$$\tau_b = \frac{1}{2} \rho f V^2$$

Prezența valurilor și a dunelor face să crească semnificativ rezistența hidraulică.



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Rezistența hidraulică

Engelund-Hansen $\theta - \theta'$ relation:

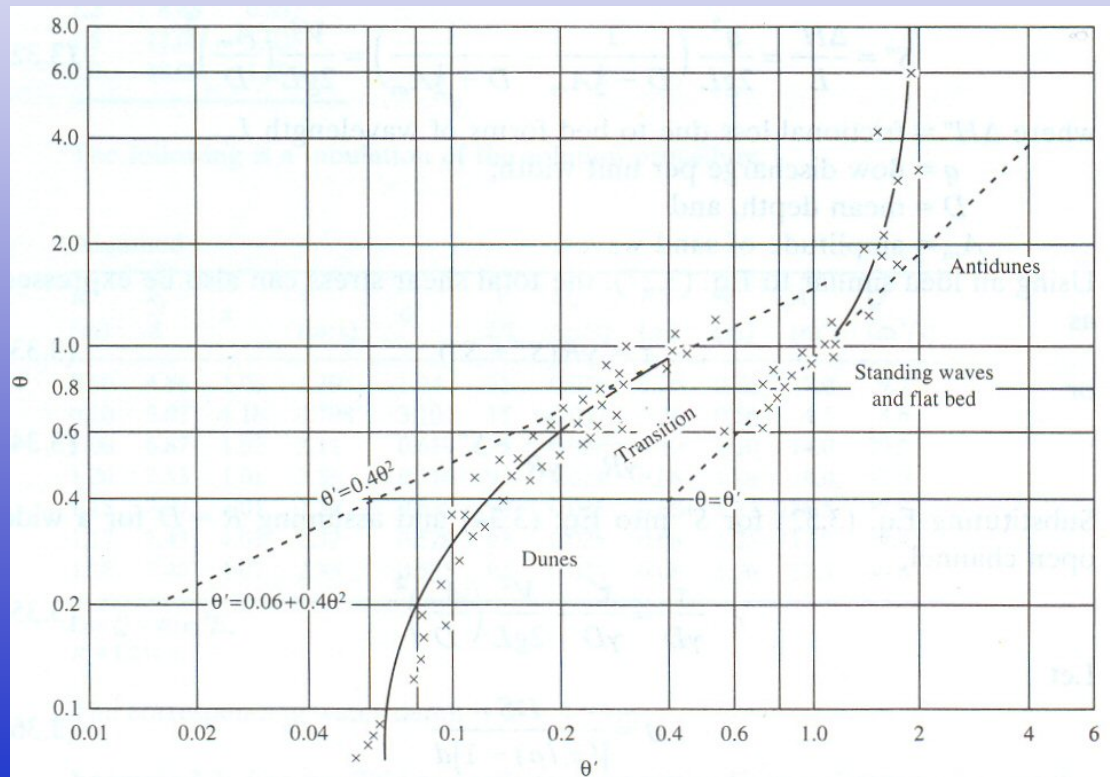
Ecuatiile de mai jos trebuie rezolvate prin iterații pentru a determina adâncimea D .

$$u'_f = \frac{u}{2,5 \left[\ln \left(\frac{30D'}{2,5d} \right) - 1 \right]}$$

$$\theta' = \frac{u'_f{}^2}{(s-1)gd}$$

$$\theta = \sqrt{\frac{(\theta' - 0,06)}{0,4}}$$

$$D' = D \frac{\theta'}{\theta}$$



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Rezistența hidraulică

Relația Engelund-Hansen $\theta - \theta'$

Datorită discontinuității (de exemplu, două adâncimi posibile ale apei pentru același debit), MIKE 11 a adoptat următoarele relații:

$$\theta' = \theta \quad \text{for} \quad \theta \leq 0,06$$

$$\theta' = 0,136\theta^{0,292} \quad \text{for} \quad 0,06 < \theta \leq 0,30$$

$$\theta' = 0,06 + 0,4\theta^2 \quad \text{for} \quad 0,30 < \theta \leq 0,90$$

$$\theta' = 0,667\theta^{5,24} \quad \text{for} \quad 0,90 < \theta \leq 1,10$$

$$\theta' = \theta \quad \text{for} \quad 1,10 < \theta$$

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Rezistența hidraulică - rezumat

Specificarea rezistenței în HD (fără conexiune între modulele HD și ST) - pentru a fi utilizat în cazurile în care patul albiei nu se modifică.

Calculul rezistenței și cu contribuția formei albiei - se utilizează acolo unde rezistența hidraulică este dată nu numai de aluviuni ci și de forma albiei.

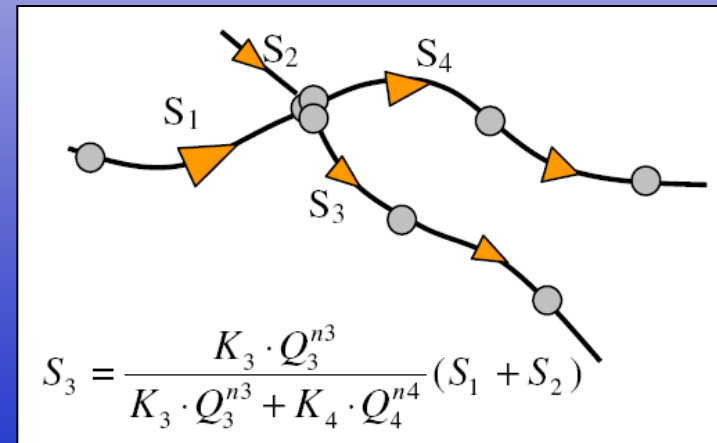
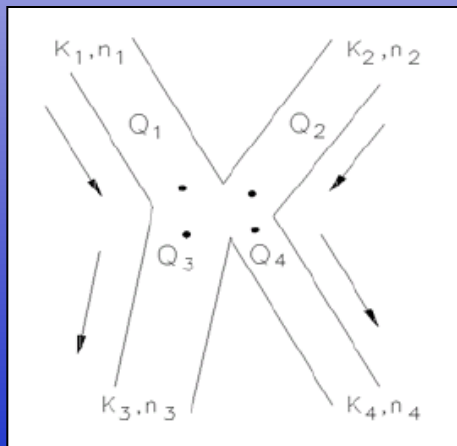
Două metode:

- 1. Relația Engelund-Hansen θ - θ'**
- 2. White et al.**

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Distribuția sedimentelor în noduri

$$Q_{t_3}^{n+1} = \frac{K_3 Q_3^{n_3}}{K_3 Q_3^{n_3} + K_4 Q_4^{n_4}} (Q_{t_1}^{n+1} + Q_{t_2}^{n+1})$$



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor **MIKE 11 ST**

Calculul morfologic

Bazat pe ecuația unidimensională de continuitate pentru sedimente:

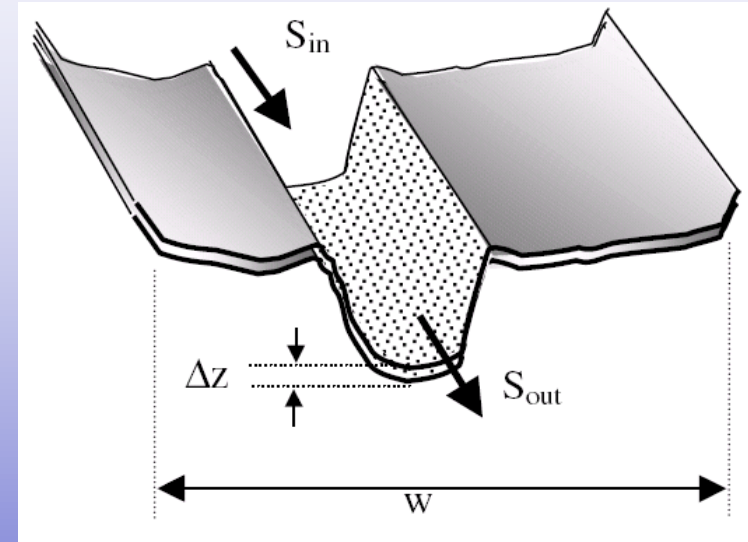
$$\frac{\partial S}{\partial x} + (1 - \varepsilon) \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

Unde:

S : transportul sedimentelor [$\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$]

h : nivelul patului albiei [m]

ε : porozitatea



$\partial S / \partial x$ este calculat cu formulele de transport

$\partial h / \partial t$ este calculat prin rezolvarea ecuației de continuitate a sedimentelor cu ajutorul schemei Preissman

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor **MIKE 11 ST**

Soluții numerice (schema Preismann):

$$(1 - \varepsilon) \left[(1 - \psi) \frac{W \Delta z_j^{n+1}}{\Delta t} + \psi \frac{W \Delta z_{j+1}^{n+1}}{\Delta t} \right] + \theta \frac{Qt_{j+1}^{n+1} - Qt_j^{n+1}}{\Delta x} + (1 - \theta) \frac{Qt_{j+1}^n - Qt_j^n}{\Delta x} = 0$$

Unde:

W : lățimea albiei la oglinda apei

Δz^{n+1} : modificarea nivelului patului albiei

Qt^n : $W_t qt_j^n$

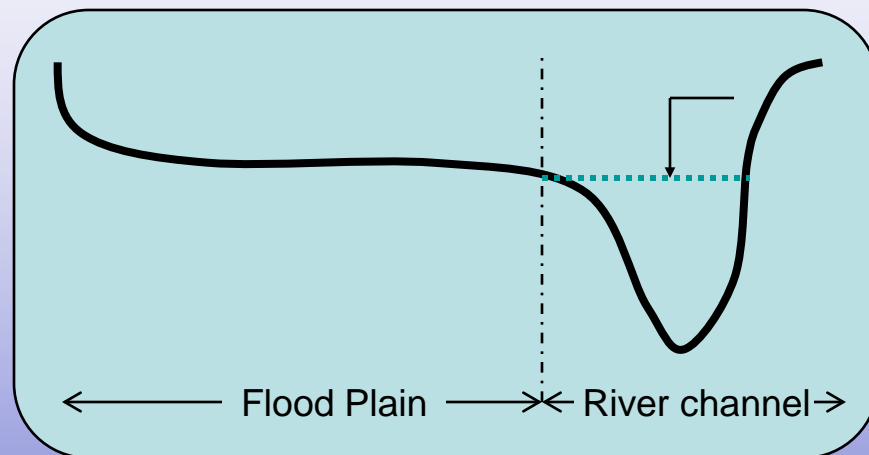
qt_j^n : debitul solid pe unitatea de lățime a albiei

ε : porozitatea

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Editorul Cross section, Raw Data :



Împărțirea secțiunii transversale

Secțiunea activă și pasivă pentru actualizarea morfologică

Nivelul apei în punctul de împărțire a albiei în albia minoră principală și albia majoră

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor

MIKE 11 ST

Metode de actualizare a datelor patului albiei (1-5):

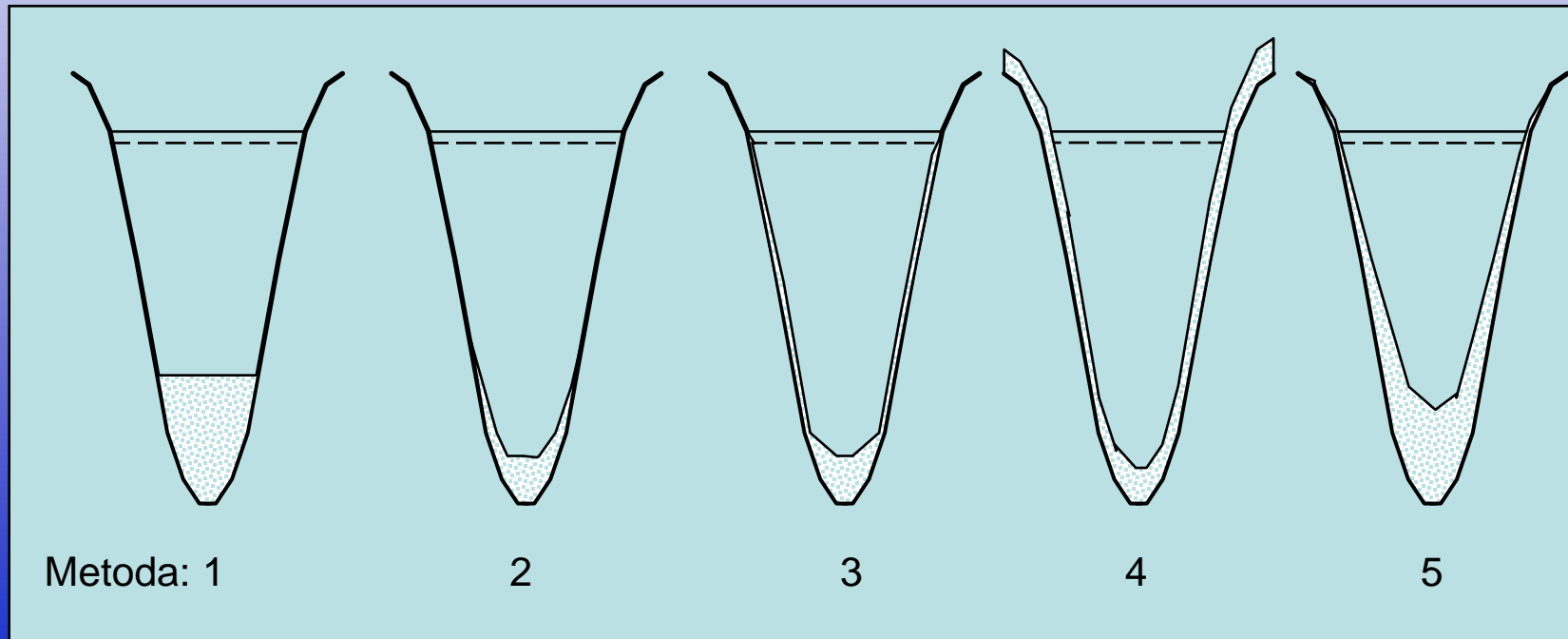
Implicit este setat la 4 (crește sau scade pe întreaga secțiune transversală)

```
[ST_SIMULATION]
```

```
;ST-Variables no 1:
```

```
  BOTTOM_LEVEL_UPDATE_METHODS = 4
```

} Specify in Mike11.ini



MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Condițiile de margine ST:

1. Nivelul patului albiei

a) Serii de timp ale nivelului patului albiei în timp

sau

b) Serii de timp ale modificărilor nivelului patului albiei

2. Transportul sedimentelor

- serii de timp pentru transportul sedimentelor

3. Alimentarea sedimentelor

- MIKE 11 ST calculează capacitatea de transport la condițiile de margine

MIKE 11 Model de transport al sedimentelor *MIKE 11 ST*

Condițiile de margine ST:

Ecuția de continuitate al sedimentelor într-un nod

$$Qt_{bnd}/W - (Qt_j^n + \alpha \Delta z_j^{n+1}) = \frac{\Delta x}{\Delta t} (1 - \varepsilon) \Delta z_j^{n+1}$$

Care se rezolvă pentru Δz_j^{n+1}

MIKE 11 ST Editorul de Parametri

Uniform.st11

Calibration Factors Data for Graded ST

Preset Distribution of Sediment in Nodes Passive Branches Non Scouring Bed Level

Sediment Grain Diameter Transport Model Initial Dune Dimensions

Global Grain Diameter

St. Deviation

	River Name	Chainage	Grain diam.	St. deviation
1			0.5	1

Editor-file: *.st11

MIKE 11 ST Editorul de Parametri

Ferestre verticale pentru selectarea modelului

Parametrii specifici pentru modelul ales

The screenshot shows the 'Uniform.st11' window with the following sections:

- Calibration Factors:** Includes tabs for 'Preset Distribution of Sediment in Nodes', 'Passive Branches', and 'Non Scouring Bed Level'. Sub-sections include 'Sediment Grain Diameter', 'Transport Model', and 'Initial Dune Dimensions'.
- Model type:**
 - Total Load (Ackers and White)
 - Bed Load and/or Suspended Load
 - Bed Load (Engelund and Fredsoe)
 - Suspended Load (Engelund and Fredsoe)
- Model Parameters:**
 - Rel. density: 2.65
 - Kin. Viscosity: 1 x10^-6
 - Beta: 0.65
 - Theta Critical calculated (ATM-model)
 - Theta Critical: 0.056
 - Gamma: 1
 - Acker - White: BD35
 - Channel Slope option: I = 0
- Calculation of:**
 - Bottom Level (dH/dZ: Back water)
 - PSI: 0.9
 - Fi: 0.9
 - Fac: 1.5
 - Porosity: 0.35
 - Bed Shear Stress (Manning (M))
 - Minimum: 10
 - Maximum: 100
 - Omega: 1
- Storing ...:**
 - Bed / Suspended load
 - Total sediment volumes in each grid point
 - Graded sediment volumes in each grid point

Bed Load

Engelund and Fredsoe

Engelund and Fredsoe

Van Rijn

Meyer Peter and Muller

Sato, Kikkawa and Ashida

Ashida and Michiue

Ashida, Takahashi and Mizuyama (ATM)

Suspended Load

Engelund and Fredsoe

Engelund and Fredsoe

Van Rijn

Lane-Kalinske

Ashida and Michiue

Total Load (Ackers and White)

Bed Load and/or Suspended Load

Bed Load

Ackers and White

Engelund and Hansen

Smart and Jaeggi

• Selectarea metodei de calcul morfologic

• Calculul tensiunii tangențiale

Verificarea căsuței pentru stocarea rezultatelor

*Editor-file: *.st11*

MIKE 11 ST Editorul de Parametri

Calibration Factors

Preset Distribution of Sediment in Nodes

Sediment Grain Diameter

Data for Graded ST

Passive Branches

Non Scouring Bed Level

Transport Model

Initial Dune Dimensions

Model type

Total Load Ackers and White

Bed Load and/or Suspended Load

Bed Load
Engelund and Fredsoe

Suspended Load
Engelund and Fredsoe

Model Parameters

Rel. density:

Kin. Viscosity: x10⁻⁶

Beta:

Theta Critical calculated (ATM-model)

Theta Critical:

Gamma:

Acker - White: BD35

Channel Slope option: I = 0

More ...

Calculation of

Bottom Level

dH/dZ: Back water

PSI:

Fi:

Fac:

Porosity:

Bed Shear Stress

Manning (M)

Minimum:

Maximum:

Omega:

Storing ...

Bed / Suspended load

Total sediment volumes in each grid point

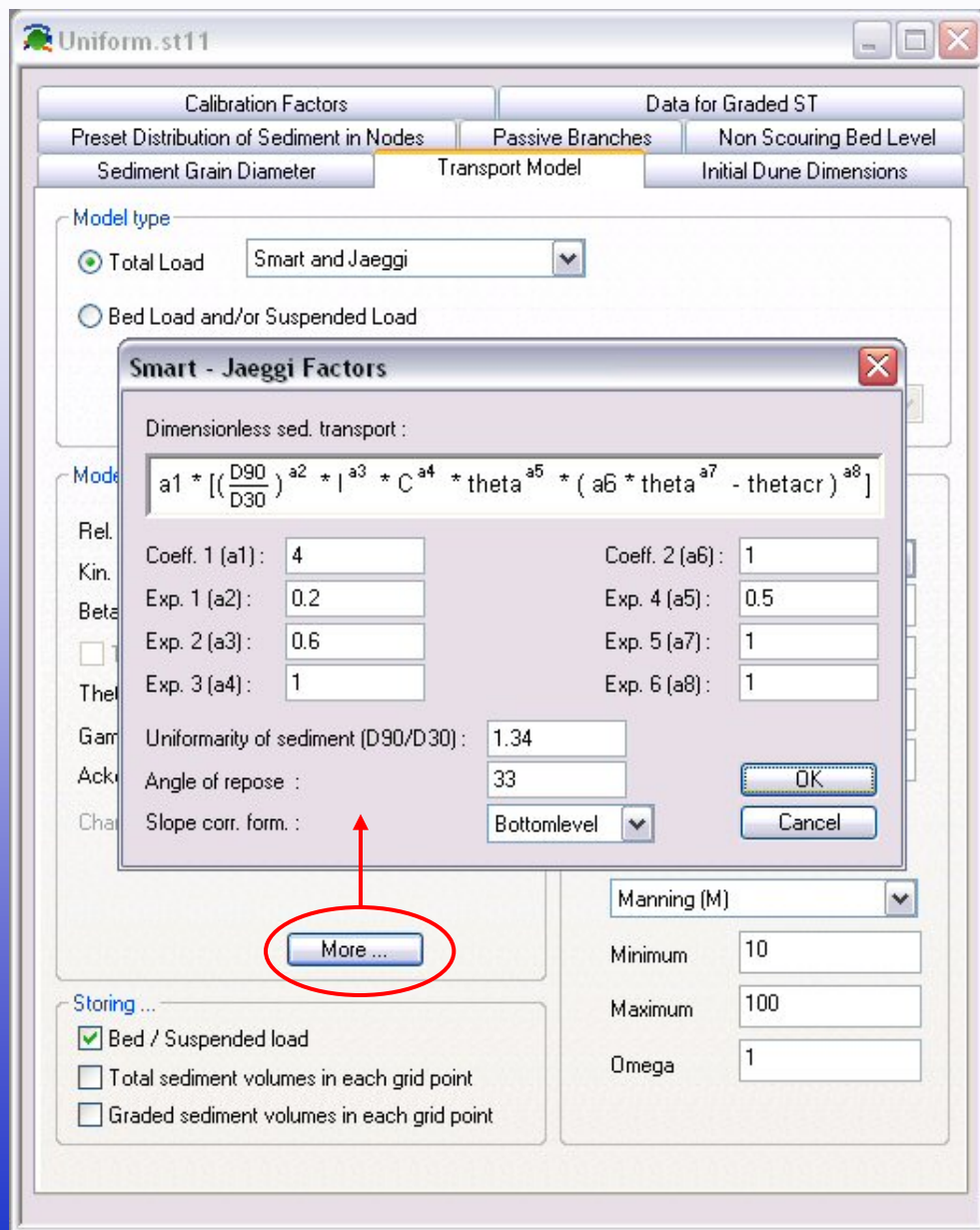
Graded sediment volumes in each grid point

Calculul parametrului,
 Se setează -1 pentru marea
 Coficient de centrare al spațiului
 Coeficient de centrare a timpului
 Parametru de calibrare

Parametru de calibrare,
 Rezistența ST = Omega • Rezistența HD

*Editor-file: *.st11*

MIKE 11 ST Editorul de Parametri



În cazul alegerii Smart & Jaeggi parametri trebuie specificați într-un meniu separat

MIKE 11 ST Editorul de Parametri

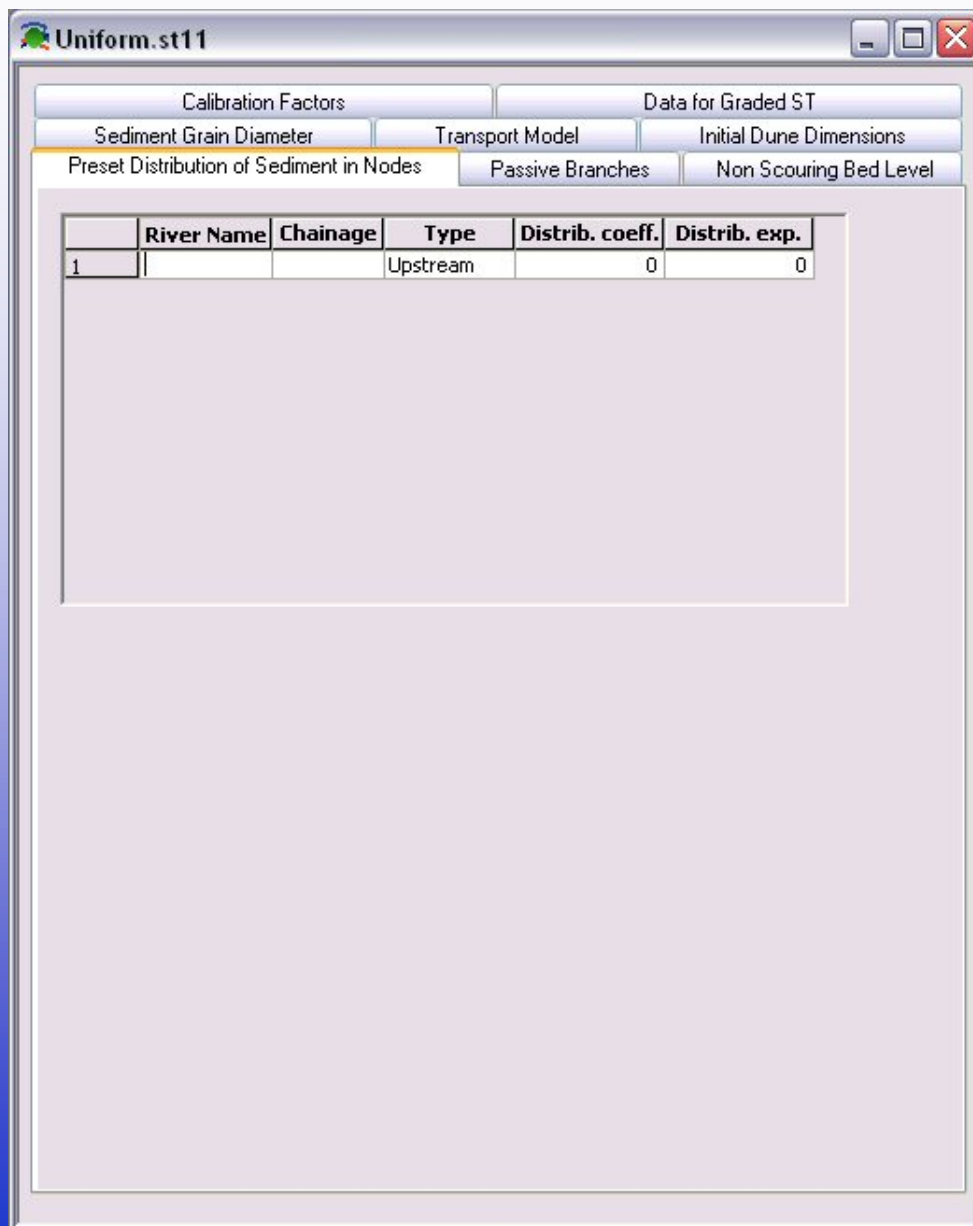
The screenshot shows the 'Uniform.st11' window with the 'Data for Graded ST' tab active. The 'Initial Dune Dimensions' sub-tab is selected, displaying 'Global Values' with 'Height' and 'Length' both set to 0. Below this is a table with columns for River Name, Chainage, Height, and Length.

	River Name	Chainage	Height	Length
1			0	0

Lățimea și înălțimea dunei
poate fi calculată dacă alegem
formula de transport
Engelund-Fredsøe

Editor-file: *.st11

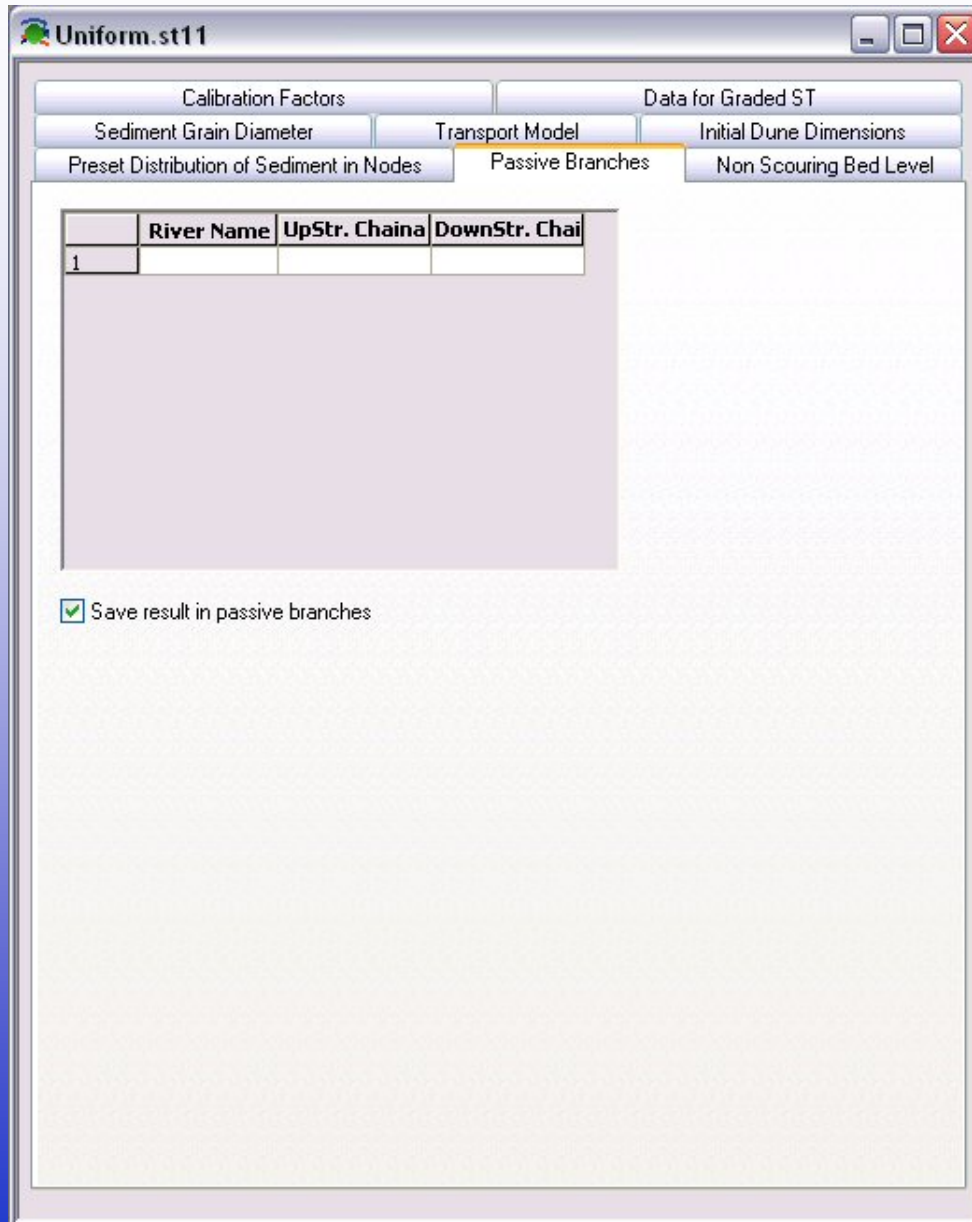
MIKE 11 ST Parameter Editor



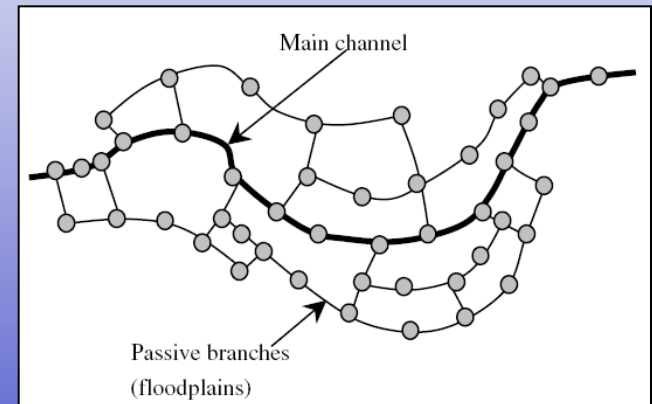
Specificarea distribuției sedimentelor în noduri

Editor-file: *.st11

MIKE 11 ST Editorul de Parametri

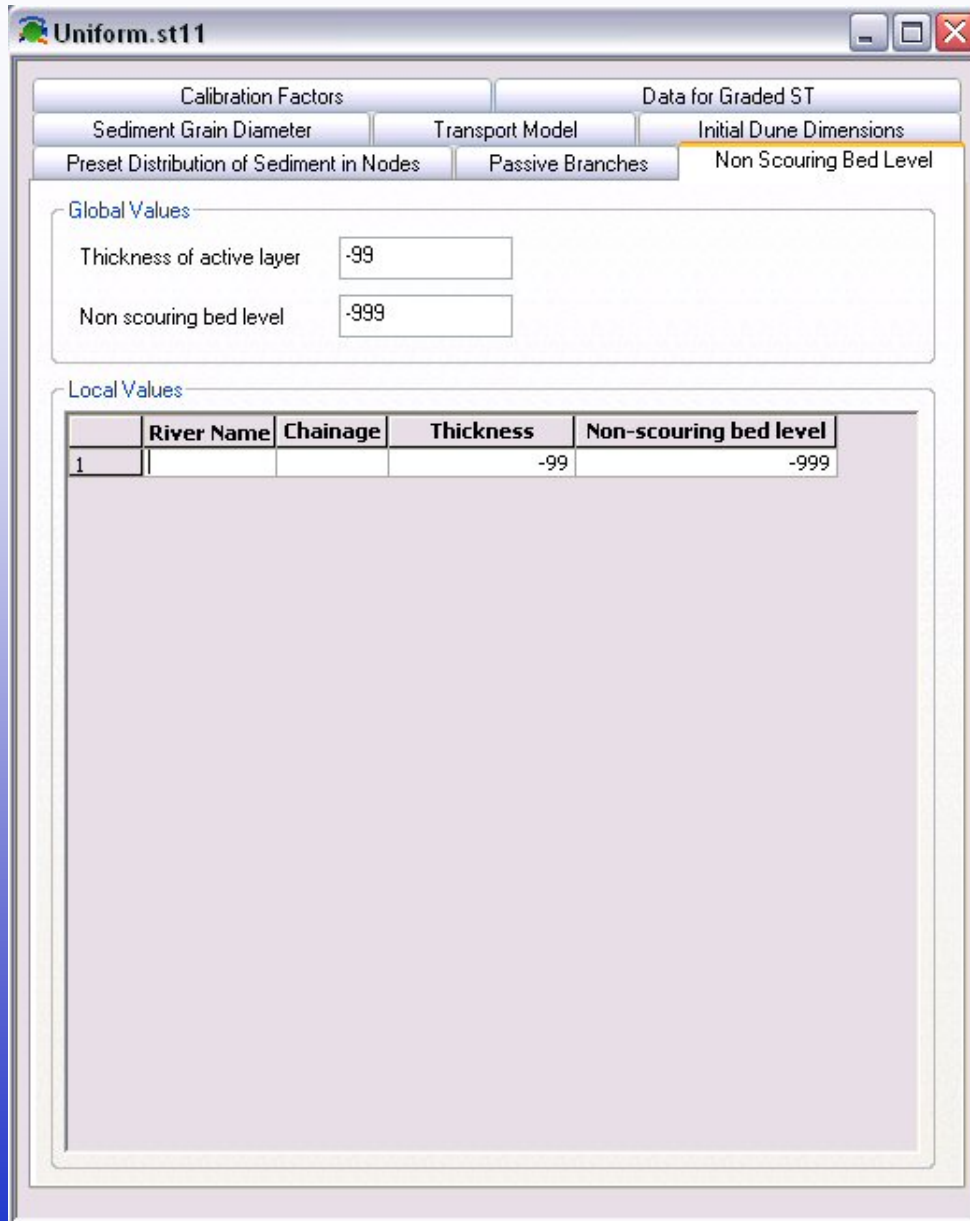


Specificarea ramurilor pasive, a ramurilor în care este omis calculul transportului de sedimente.



*Editor-file: *.st11*

MIKE 11 ST Editorul de Parametri



Specificarea locațiilor cu nivelul patului albiei nemodificabil, nivele unde nu are loc modificarea nivelului patului albiei.

*Editor-file: *.st11*

MIKE 11 ST Editorul de Parametri

The screenshot shows the 'Uniform.st1' window with several tabs. The 'Calibration Factors' tab is active, displaying 'Global Data' with input fields for 'Factor 1' and 'Factor 2', both set to 1. Below this is a table with columns for 'River Name', 'Chainage', 'Factor1', and 'Factor2'. The first row contains the value '1' in the 'River Name' column and '1.000000' in the 'Factor1' and 'Factor2' columns.

	River Name	Chainage	Factor1	Factor2
1			1.000000	1.000000

Specificarea factorilor de calibrare a transportului de sedimente.

Factorul 1 aplicat pentru debitul total și debitul aluviunilor de fund

Factorul 2 aplicat pentru debitul aluviunilor în suspensie

*Editor-file: *.st11*

MIKE 11 Editorul condițiilor de margine – specificații ST

Boundary ID	Boundary Description	Boundary Type	Branch Name	Chainage	Chainage	Gate ID	Boundary ID
1	Open	Bottom Level		0	0		

Data Type

Bottom Level

Change in bottom

Dacă alegem Bottom Level, atunci valorile specificate pot fi valori absolute sau relative.

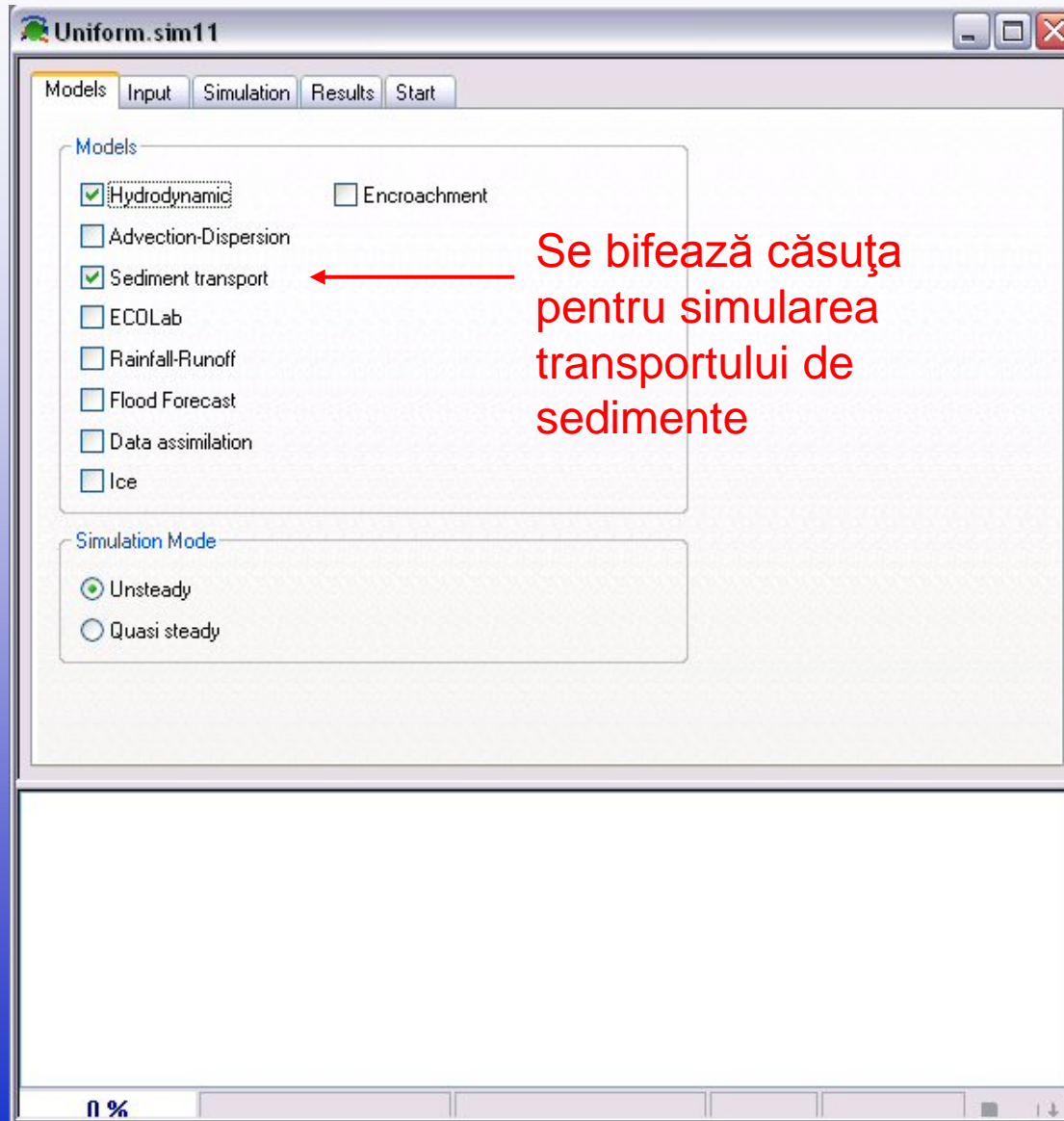
Data Type	TS Type	File / Value	TS Info
Bottom level	TS File	<input type="text" value=""/>	<input type="button" value="Edit"/>

Type, Fraction Data	Fraction No	Data Type	TS Type	File / Value	TS Info	Scale Facto

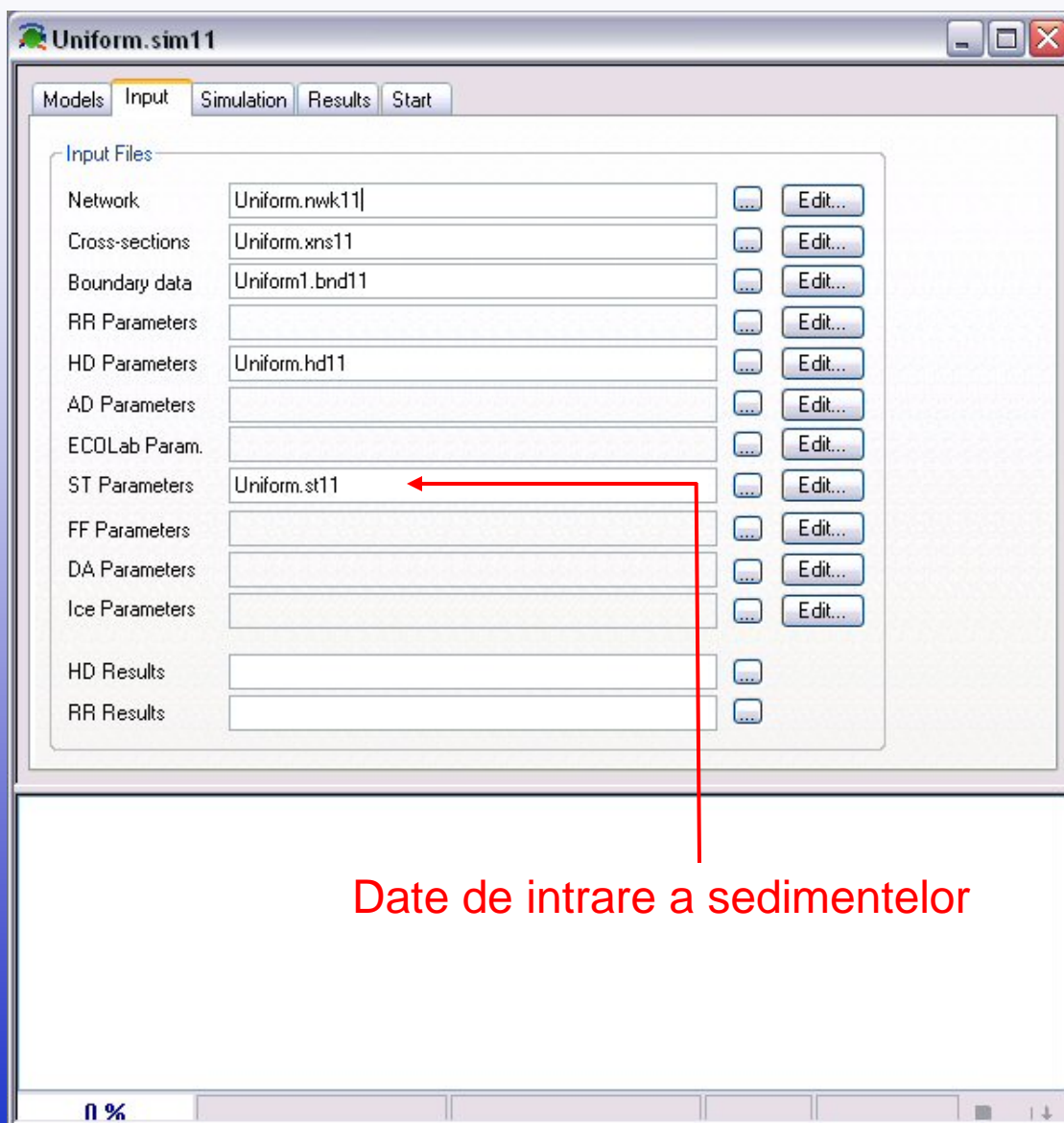
Modificarea condițiilor de margine pentru sedimente

Trebuie selectate valori constante sau serii de timp pentru definirea condițiilor de margine exceptând tipul Sediment Supply

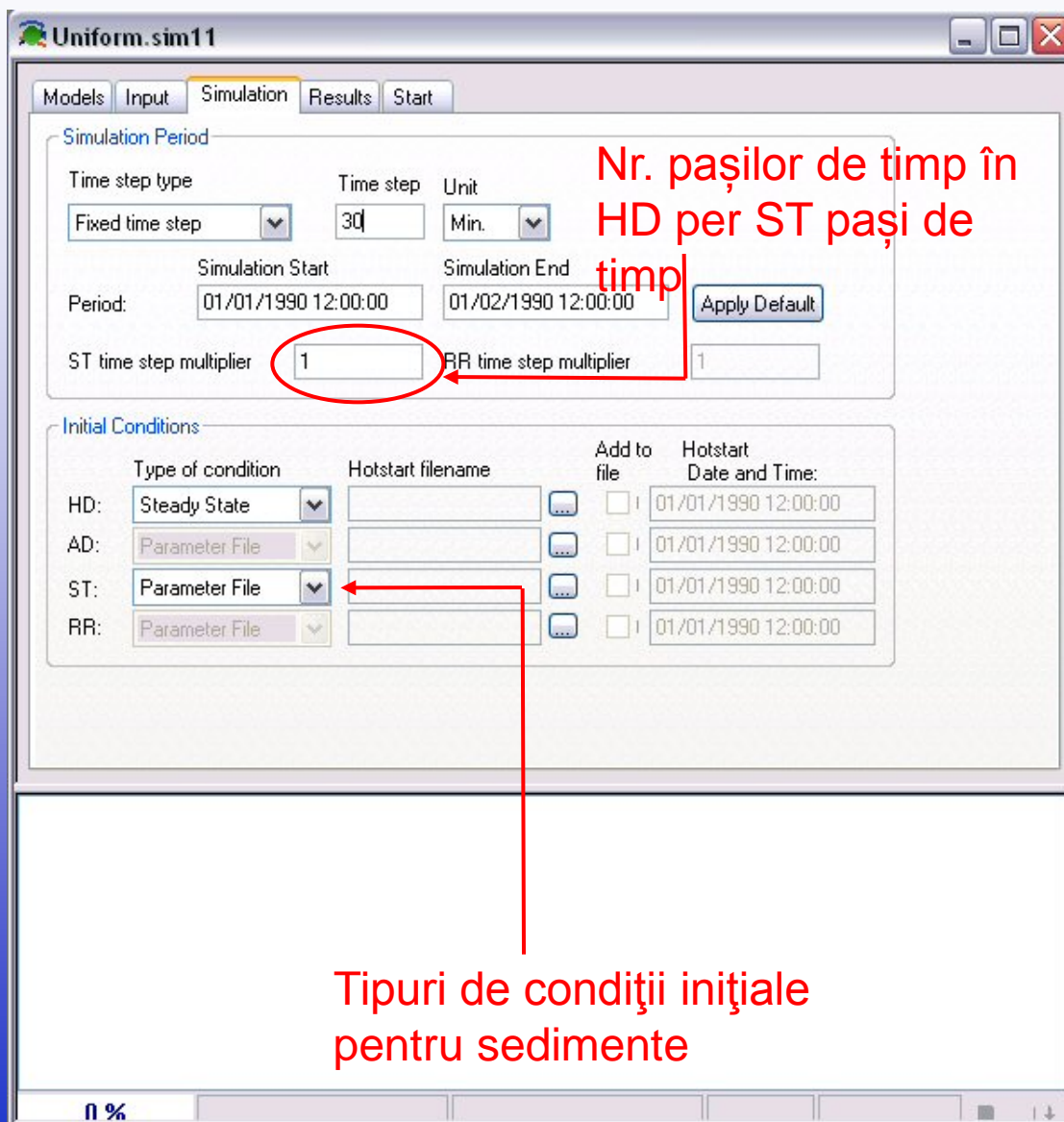
MIKE 11 Editorul de simulare



MIKE 11 Editorul de simulare



MIKE 11 Editorul de simulare



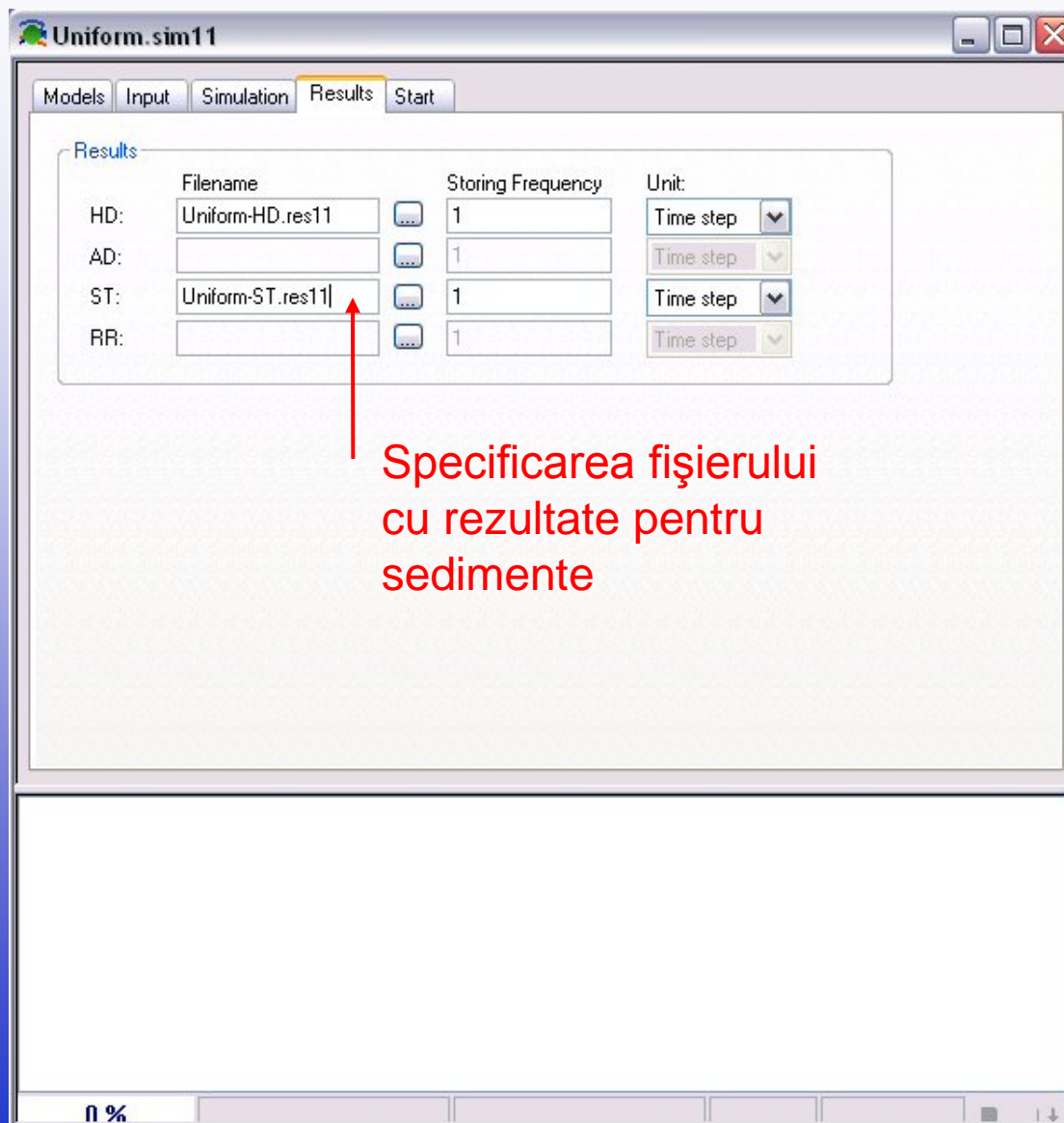
The screenshot shows the 'Simulation' tab of the 'Uniform.sim11' dialog box. The 'Simulation Period' section includes a 'Time step type' dropdown set to 'Fixed time step', a 'Time step' input field with '30', and a 'Unit' dropdown set to 'Min.'. The 'Simulation Start' is '01/01/1990 12:00:00' and 'Simulation End' is '01/02/1990 12:00:00'. The 'ST time step multiplier' is circled in red and has a red arrow pointing to it from the text 'Nr. pașilor de timp în HD per ST pași de timp'. Below this, the 'Initial Conditions' section has a table with columns for 'Type of condition', 'Hotstart filename', 'Add to file', and 'Hotstart Date and Time:'. The 'ST' row has 'Parameter File' selected in the dropdown, with a red arrow pointing to it from the text 'Tipuri de condiții inițiale pentru sedimente'.

Nr. pașilor de timp în HD per ST pași de timp

	Type of condition	Hotstart filename	Add to file	Hotstart Date and Time:
HD:	Steady State		<input type="checkbox"/>	01/01/1990 12:00:00
AD:	Parameter File		<input type="checkbox"/>	01/01/1990 12:00:00
ST:	Parameter File		<input type="checkbox"/>	01/01/1990 12:00:00
RR:	Parameter File		<input type="checkbox"/>	01/01/1990 12:00:00

Tipuri de condiții inițiale pentru sedimente

MIKE 11 Editorul de simulare

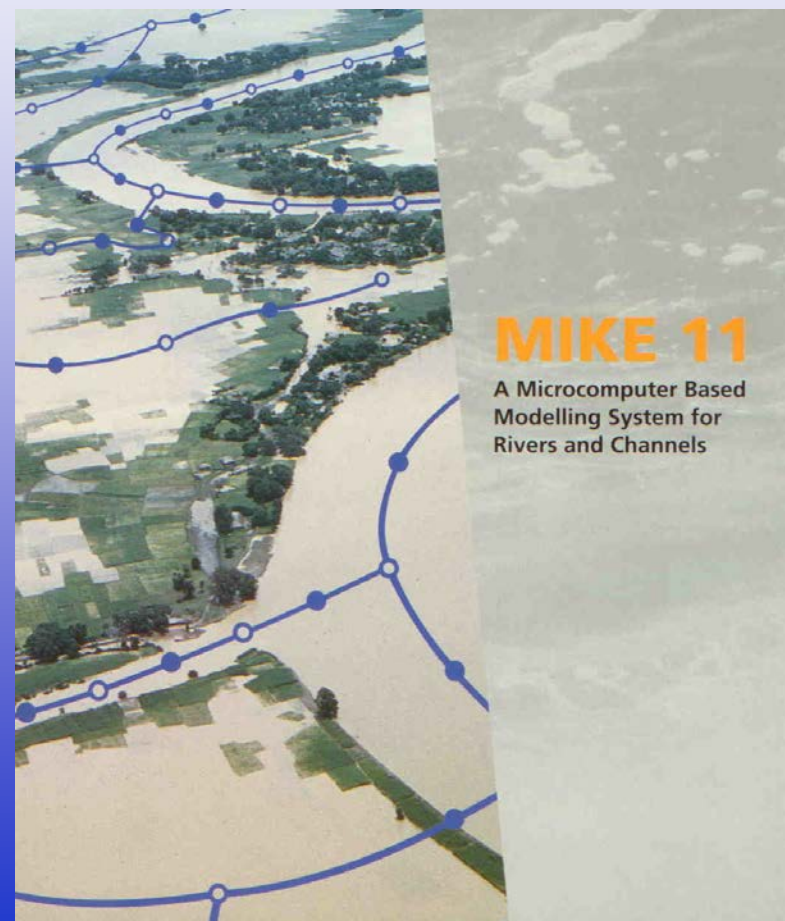


MIKE 11 Model de transport de sedimente

MIKE 11 GST

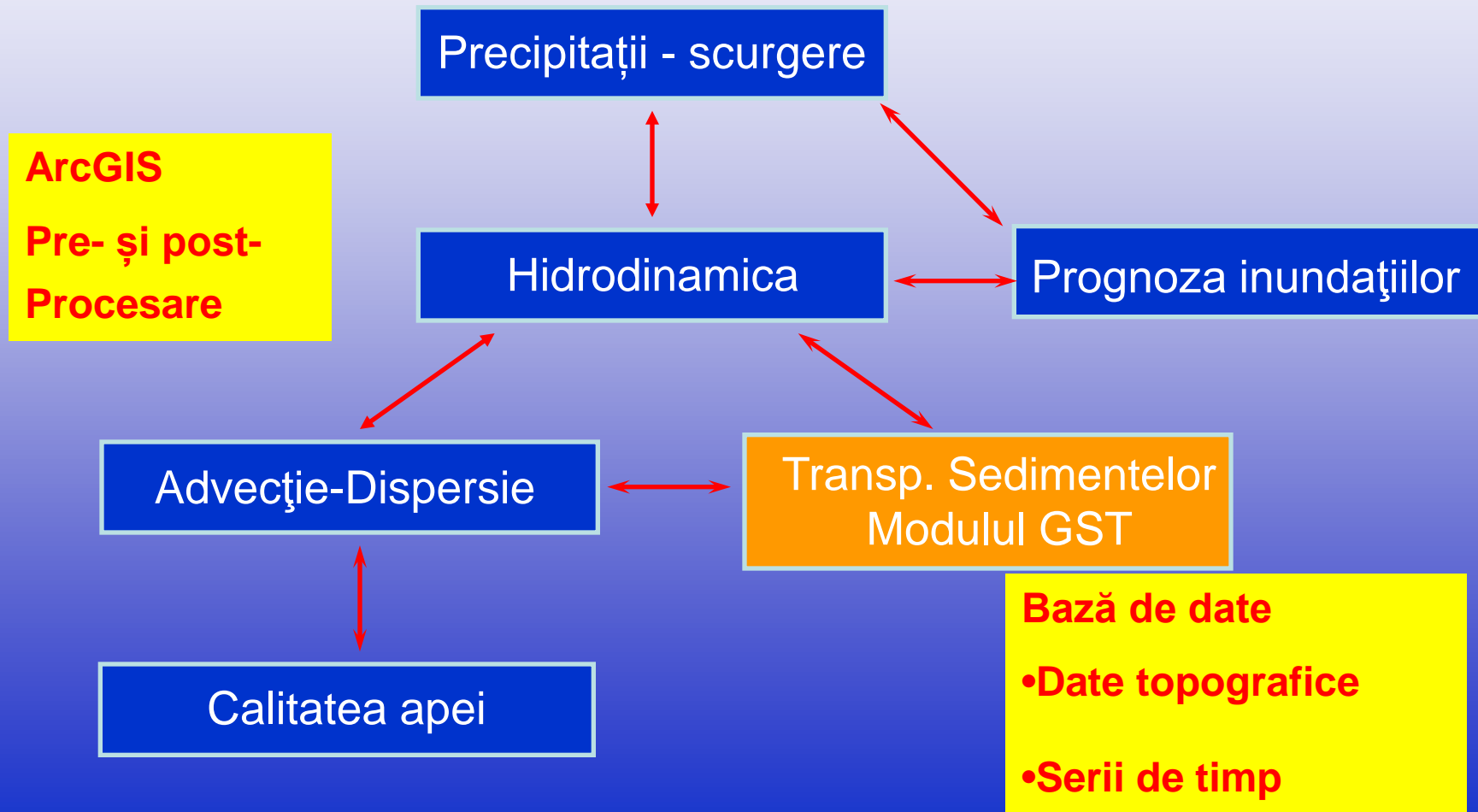
Transportul sedimentelor necoezive

Transportul sedimentelor sortate



STRUCTURĂ MODULARĂ

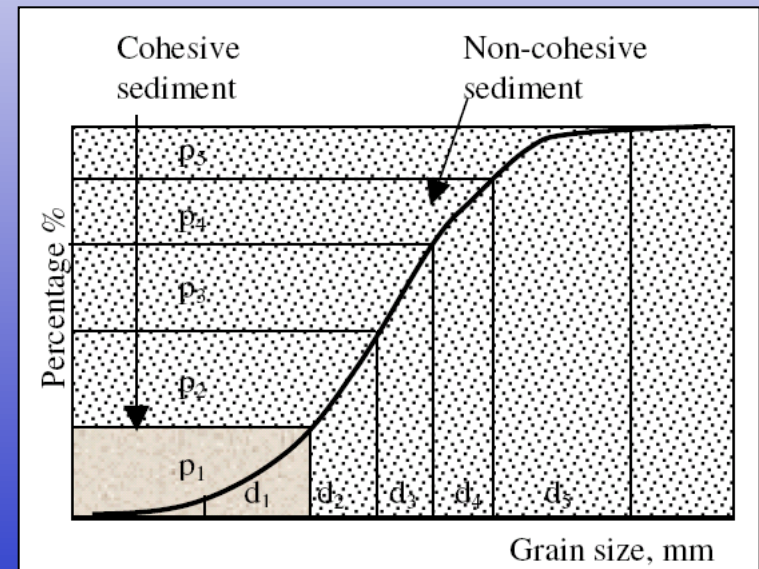
Module și baze de date care interacționează dinamic



MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

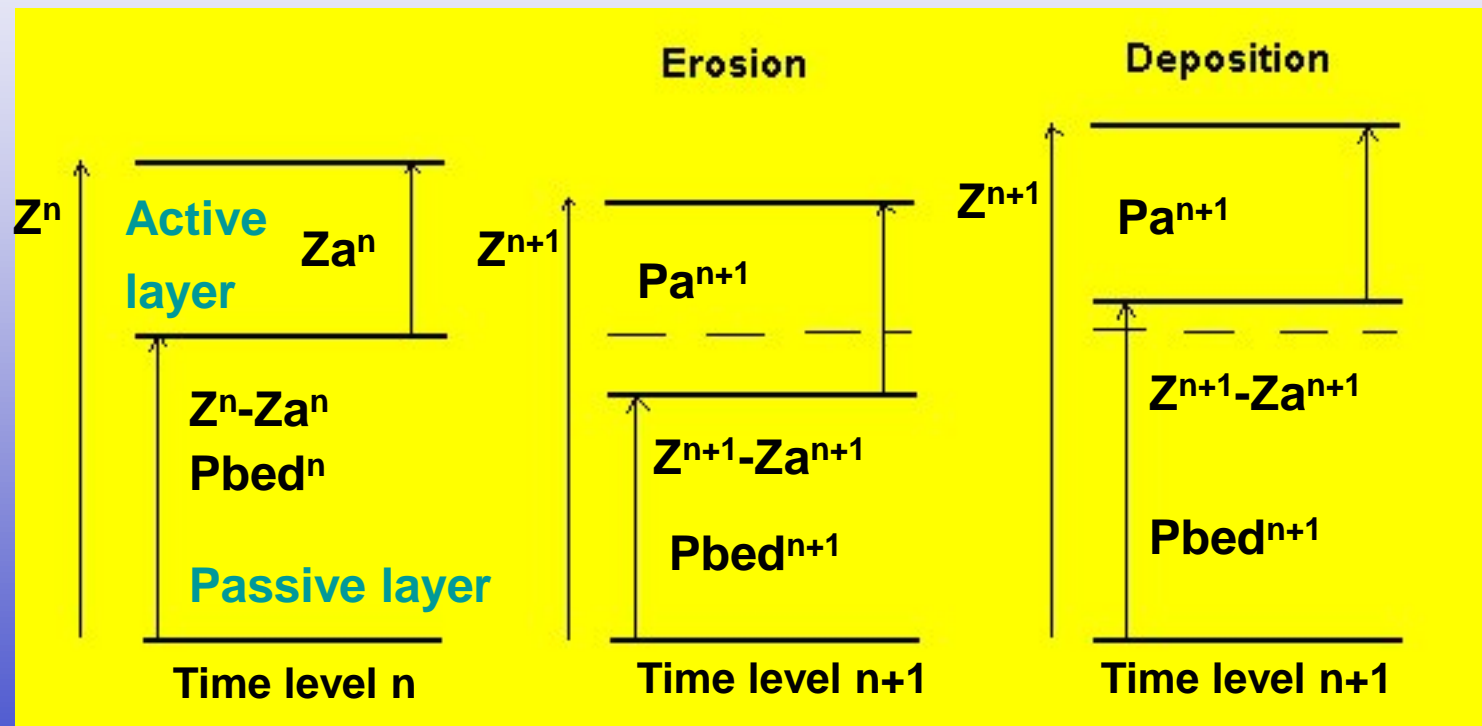
- Submodulul din MIKE11 pentru simularea transportului a 'n' fracțiuni de sedimente (sau clase granulometrice). Aceasta este o opțiune pentru studiul variațiilor în morfologia albiilor.
- Când se utilizează modulul GST :
 - Dacă efortul tangențial la nivelul patului albiei este apropiat de efortul tangențial critic la eroziune
 - O varietate mare de particule de diferite dimensiuni (curba granulometrică)



MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Conceptul modelului :



- Eroziune => structura stratului pasiv rămâne neschimbată
- Depunere => materialul stratului activ se amestecă cu materialul stratului pasiv și li se schimbă structura

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

- Debitul solid apare în stratul activ
- Nivelul stratului activ:

1) $Z_a = 0.5 H$ ($H =$ înălțimea dunei)

2) $Z_a = \text{constant (m)}$

3) Z_a rezultă din modelul de transport pentru dune van Rijn

Nivelul stratului activ este calculat implicit cu $Z_a = 0.5 H$ ($H =$ înălțimea dunei).

Nivelurile constante pot fi specificate din meniul GST.

Opțiunile avansate pentru nivelul stratului activ pot fi specificate în ASCII-text file 'trsdepth.txt' cu următorul format:

Transport Depth Model type. 1=Constant Transport Depth, 2=Constant ratio of depth, 3=vanRijn model

1

Constant Transport Depth (type 1) or Constant Ratio (type 2)

0.1

Alfa Beta Gamma, VanRijn parameters (type 3)

1.0 1.0 1.0

Dunh_min Dunh_fac Dun1_Fac, VanRijn parameters (type 3)

1.0 1.0 1.0

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Datele de intrare pentru modelul GST

- Nivelul minim al stratului activ
- Nivelul inițial al stratului pasiv
- Procentul inițial pentru fiecare fracțiune granulometrică din straturile active și pasive

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Secvențele de calcul pentru transportul sedimentelor:

- 1) Calculul transportului pentru fiecare fracțiune granulometrică (qt_i)
- 2) Multiplicarea lui qt_i cu procentul p_i
- 3) Transportul total $qt = \sum qt_i \cdot p_i$
- 4) Modificarea totală a nivelului patului albiei ΔZ calculată din qt folosind ecuația de continuitate a sedimentelor
- 5) Cu ΔZ cunoscut și qt_i cunoscute, noile valori pentru p_i sunt calculate pentru stratul activ

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Ecuția de continuitate pentru fiecare fracțiune granulometrică:

$$(1 - \varepsilon) \frac{\partial W \overline{p_i Z}}{\partial t} + \frac{\partial q t_i}{\partial x} = 0$$

unde:

$\overline{p_i Z}$: media ponderată a fracțiunii granulometrice ‘i’ atât în stratul activ cât și în cel pasiv

$$q t = \sum_{i=1}^N q t_i p_i$$

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Dezvoltarea primului termen din ecuația de continuitate:

$$(1 - \varepsilon) \frac{\partial \overline{W p_i Z}}{\partial t} = (1 - \varepsilon) \left[\left(\frac{\partial W p_i Z}{\partial t} \right)_j \Psi + \left(\frac{\partial W p_i Z}{\partial t} \right)_{j-1} (1 - \Psi) \right]$$

În care derivatele sunt exprimate astfel:

$$\overline{pZ}^{n+1} = p_a^{n+1} Z_a^{n+1} + p_{bed}^{n+1} (Z^{n+1} - Z_a^{n+1})$$

la fel pentru pasul de timp n

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport **MIKE 11 GST**

Calculul procentelor în stratul pasiv:

$$(Z^{n+1} - Z_a^{n+1}) \leq (Z^n - Z_a^n) \text{ (Erosion):}$$

$$p_{bed}^{n+1} = p_{bed}^n$$

$$(Z^{n+1} - Z_a^{n+1}) > (Z^n - Z_a^n) \text{ (Deposition):}$$

$$p_{bed}^{n+1} (Z^{n+1} - Z_a^{n+1}) = p_{bed}^{n+1} (Z^n - Z_a^n) \\ + \frac{1}{2} (p_a^{n+1} - p_a^n) [(Z^{n+1} - Z_a^{n+1}) - (Z^n - Z_a^n)]$$

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Aproximarea lui qt_i^{n+1} în ecuația de continuitate:

$$\frac{\partial qt_i}{\partial x} = \frac{qt_{i,j} - qt_{i,j-1}}{\Delta x} = \frac{(1-\theta)(qt_{i,j}^n - qt_{i,j-1}^n)}{\Delta x} + \frac{\theta(qt_{i,j}^n - qt_{i,j-1}^n)}{\Delta x}$$

$$qt_i^{n+1} = p_{a_i}^{n+1} qt_i^{n+1} - p_{a_i}^n qt_i^{n+1} + qt_i^n + \Delta Z^{n+1} \alpha_i$$

and

$$\alpha_i = \frac{\partial qt_i}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial qt_i}{\partial D} \frac{\partial D}{\partial z}$$

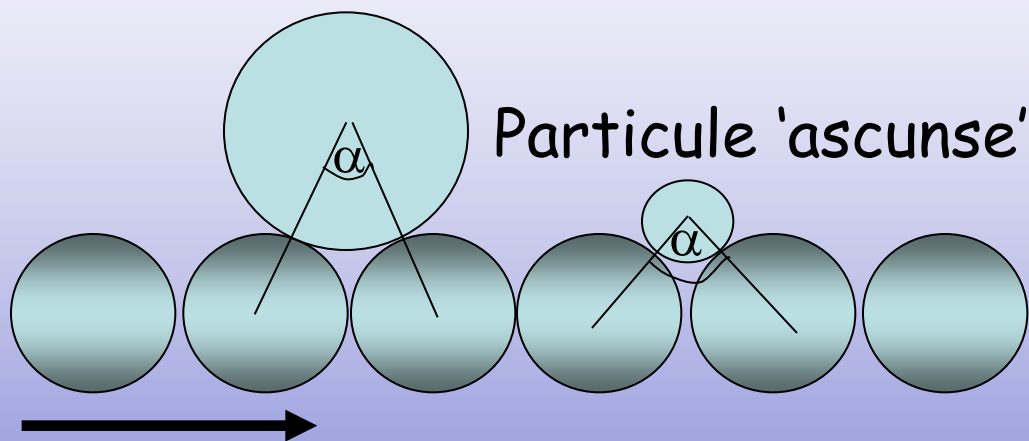
α_i este calculat pentru fiecare fracțiune granulometrică

Procentele necunoscute p_a și p_{bed} la pasul de timp $n+1$ sunt rezolvate cu ecuațiile de mai sus.

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Particule 'expuse'



Direcția de
curgere

α = unghiul de pivotare al particulei

Efectul dimensiunilor relative ale particulelor asupra amestecului de sedimente => Modificarea parametrului Shield's

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Rezistența la antrenare al particulelor aluvionare:

Relația lui Egiazaroff

$$\theta_{c_i} = \theta_c \left[\frac{\ln(19)}{\ln\left(\frac{19 d_i}{d_{med}}\right)} \right]^2$$

Unde:

θ_{c_i} : Efortul tangențial critic adimensional pentru fracțiunea granulometrică i

θ_c : Efortul tangențial critic adimensional pentru sedimentele uniforme

d_{med} : valoarea medie a diametrului aluviunilor

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Condiții de margine:

- Valoarea procentelor fracțiunilor granulometrice (%) și nivelul patului albiei
sau
- Transportul fracțiunilor granulometrice ale sedimentelor

MIKE 11 Sedimente sortate

Model de transport *MIKE 11 GST*

Modelare combinată: modulul GST și ACS (Advanced Cohesive Sediments).

Una sau mai multe fracțiuni granulometrice ale sedimentelor pot fi considerate ca fiind coezive, mai ușor decât considerate fiind necoezive.

‘fracțiunea ACS’ este definită în MIKE11.ini file:

```
[ST_SIMULTION]
COUPLED_ST_AD=OFF
CORRECT_ST_AD=ON
NO_AD_ST_FRACTIONS=1
AD_COMP_NO=1
ST_FRAC_NO=1
```

MIKE 11 ST Editorul de parametri

Graded.st11

Sediment Grain Diameter Transport Model Initial Dune Dimensions

Preset Distribution of Sediment in Nodes Passive Branches Non Scouring Bed Level

Calibration Factors Data for Graded ST

Global Data

Min. depth of active layer

Init. depth of passive layer

Shielding of particles

Save sed. transport each fraction

Save fraction values : Active layer Pasive layer

	Fraction Number	Fraction Diameter	Frac. Value Active Layer	Frac. Value Passive Layer	Global	River Name	Chainage
1	1	0.100000	30.000000	30.000000	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	2	0.250000	20.000000	20.000000	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	3	0.500000	50.000000	50.000000	<input checked="" type="checkbox"/>		

MIKE 11 ST Editorul de parametri

The screenshot shows the 'Graded.st11' window with the following structure:

- Calibration Factors** (tab)
- Data for Graded ST** (tab)
 - Sediment Grain Diameter
 - Transport Model
 - Initial Dune Dimensions
 - Preset Distribution of Sediment in Nodes
 - Passive Branches
 - Non Scouring Bed Level** (selected)

Global Values

- Thickness of active layer:
- Non scouring bed level:

Local Values

	River Name	Chainage	Thickness	Non-scouring bed level
1			-99.000000	-999.000000

MIKE 11 Editorul condițiilor la limită/frontieră/margine

Graded.bnd11

	Boundary Description	Boundary Type	Branch Name	Chainage	Chainage	Gate ID	Boundary ID
1	Open	Bottom Level		0	0		

Data Type

Bottom Level
 Change in bottom

	Data Type	TS Type	File / Value	TS Info
1	Bottom level:	TS File	... Edit	

	Type, Fraction Data	Fraction No	Data Type	TS Type	File / Value	TS Info	Scale Facto
1	Fraction Value	1	Sediment frac	TS File	... Edit		1
2	Fraction Value	2	Sediment frac	TS File	... Edit		1
3	Fraction Value	3	Sediment frac	TS File	... Edit		1

MIKE 11 Editorul condițiilor la limită/frontieră/margine

Graded.bnd11

	Boundary Description	Boundary Type	Branch Name	Chainage	Chainage	Gate ID	Boundary ID
1	Open	Sediment Transport		0	0		

Data Type

Sediment Transport, Total
 Sediment Transport, Fractional

	Type, Fraction Data	Fraction No	Data Type	TS Type	File / Value	TS Info	Scale Facto
1	Sediment Transport, Fractional	1	Sediment Tra	TS File	Edit		1
2	Sediment Transport, Fractional	2	Sediment Tra	TS File	Edit		1
3	Sediment Transport, Fractional	3	Sediment Tra	TS File	Edit		1