



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
Építőmérnöki Kar - építőmérnök képzés 1782 óta  
VÍZÉPÍTÉSI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI TANSZÉK



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

# Sarkantyúk okozta nagy tér- és időléptékű morfodinamikai folyamatok numerikus vizsgálata

Előadó: Török Gergely T.

Társszerző: Gary Parker



A Magyar Tudományos Akadémia  
Hidrológiai Osztályközi Állandó Bizottsága és  
Vízgazdálkodástudományi Bizottsága, valamint a  
Nemzeti Víz tudományi Program Irányító Testülete  
által szervezett előadóülés, 2023.06.06.



# Bevezetés

## Beépítés oka:

Elsősorban hajózási feltételek javítása ( $H$  növelése)

1934

A. September 1934



1934

B. November 1934

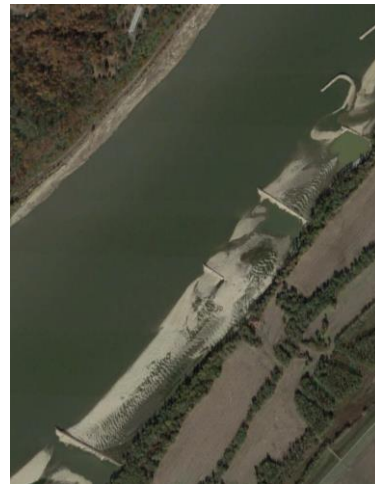


1936

C. August 1936



Mississippi River, St. Louis



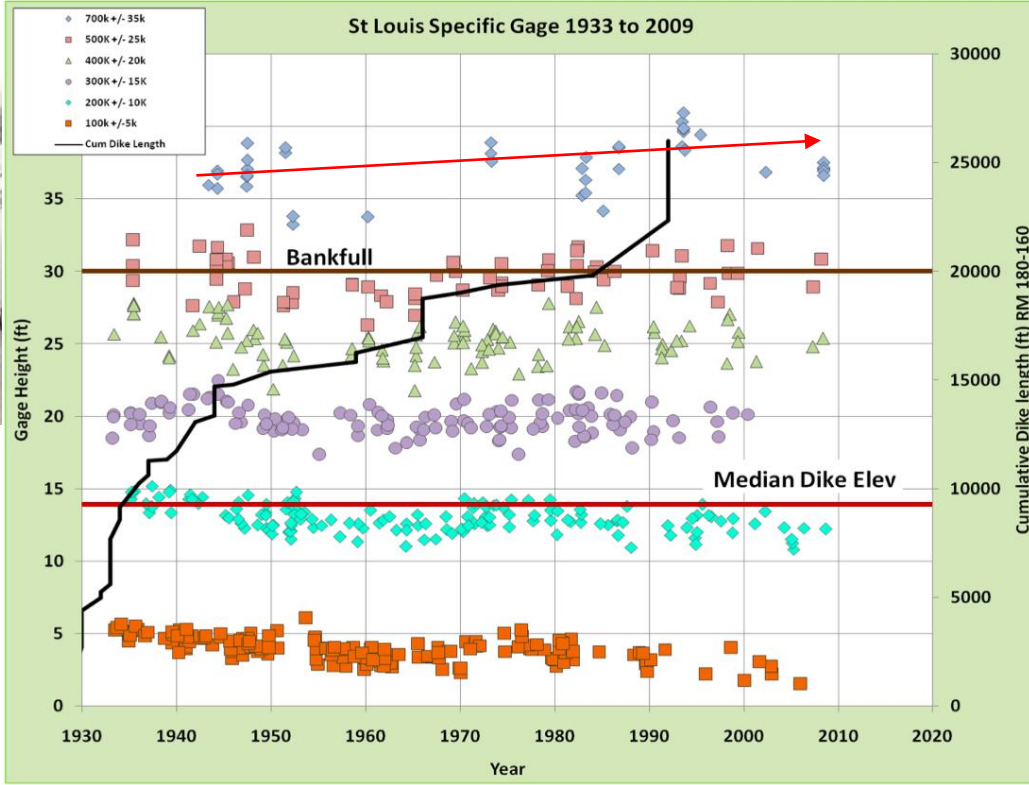
Danube River, Hungary



# Bevezetés

## Beépítés oka:

Elsősorban hajózási feltételek javítása (H növelése)



Milyen szerepe van a sarkantyúknak a vízszintemelkedésben?

Hogyan változtatja meg a sarkantyúsor a dinamikus egyensúlyi állapotot?

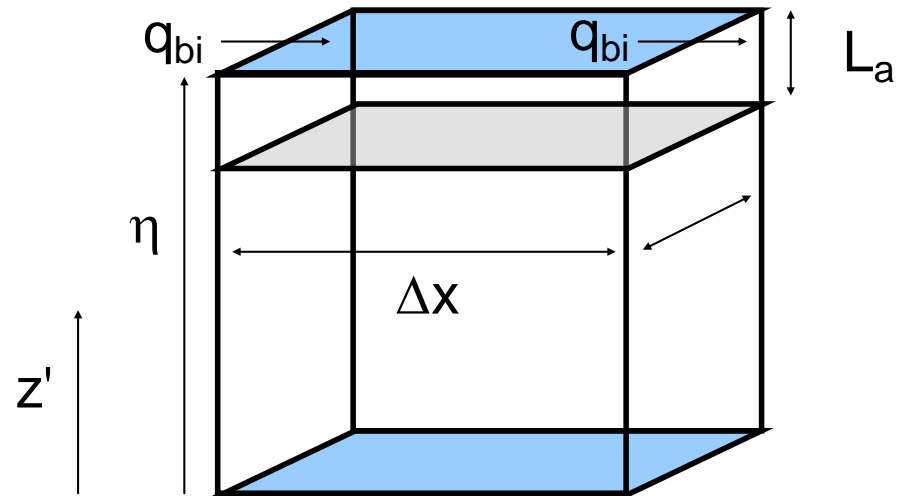
- S. Alexander; R. C. Wilson; W. R. Green: “A Brief History and Summary of the Effects of River Engineering and Dams on the Mississippi River System and Delta”, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2012

# Dinamikus egyensúlyi állapot

Olyan állapot, aminél a szakaszlétékű morfodinamikai jellemzők ( $H_{bf}$  - medermélység,  $B_{bf}$  - szélesség,  $S$  - hosszesés,  $Sl$  - meanderezési fok) érdemi változása nem várható, de történik anyagmozgás.

- $\frac{d\eta}{dt} = 0$

- $q_{bi,in} \approx q_{bi,out}$



$\eta$ : mederszint

$q_{bi,out}$ : fajlagos hordalékhozam

# Dinamikus egyensúlyi állapot

Olyan állapot, aminél a szakaszlétékű morfodinamikai jellemzők ( $H_{bf}$  - medermélység,  $B_{bf}$  - szélesség,  $S$  - hosszesés,  $SI$  - meanderezési fok) érdemi változása nem várható, de történik anyagmozgás.

- $\frac{d\eta}{dt} = 0$

- $q_{bi,in} \approx q_{bi,out}$

$\eta$ : mederszint

$q_{bi,out}$ : fajlagos hordalékhozam





# Dinamikus egyensúlyi állapot numerikus vizsgálata

## Alapegyenletek:

➤ Folyadékra vonatkozó folytonossági egyenlet:

$$\text{I. } Q_w = U * H * B \quad (1)$$

➤ Impulzus egyenlet:

$$\text{II. } \left( \frac{\tau_b}{\rho} = \right) C_f U^2 = gHS \quad (2)$$

➤ Hordalékra vonatkozó folytonossági egyenlet:

$$\text{III. } Q_b = B * q_b * (R + 1) * t \quad (3)$$

3 egyenlet → 3 ismeretlen ( $U$ ,  $H$ ,  $S$ )

$Q_w$  = Vízhozam [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$A$  = Keresztszelvény területe [ $\text{m}^2$ ]

$U$  = A víz sebessége [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$H$  = Vízmélység [ $\text{m}$ ]

$B$  = Vízűkör szélesség [ $\text{m}$ ]

$\tau_b$  = fenék-csúsztatófeszültség [ $\text{N}/\text{m}^2$ ]

$\rho$  = víz sűrűsége ( $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ )

$C_f$  = mederellenállási tényező [-]

$g$  = nehézségi gyorsulás ( $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$ )

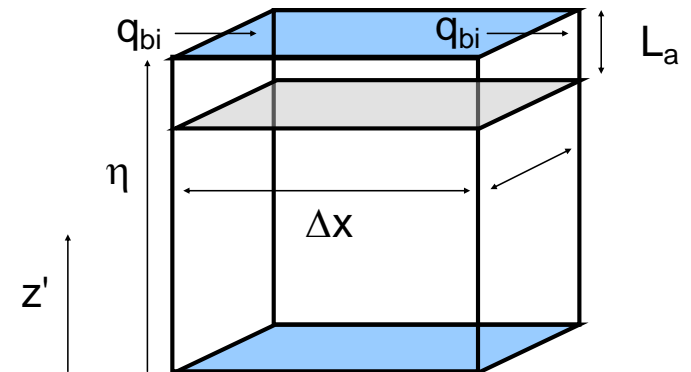
$S$  = meder esése [-]

$Q_b$  = hordalékhozam [ $\text{kg}/\text{s}$ ]

$q_b$  = fajlagos hordalékhozam [ $\text{kg}/\text{sm}$ ]

$R$  = hordalék víz alatti súlya

$t$  = eltelt idő [ $\text{s}$ ]



# 1D hordaléktranszport számítása alapján történő egyensúlyi állapot vizsgálata (1D)

- 1D modell alkotás (egyenletes vízmozgás):

1) Esés: 
$$S_i = \frac{\eta_{i-1} - \eta_{i+1}}{2\Delta x}$$

2) Áramlás: 
$$H = \left( \frac{C_f q_w^2}{gS} \right)^{1/3} \quad \tau^* = \left( \frac{C_f q_w^2}{g} \right)^{1/3} \frac{S^{2/3}}{RD}$$

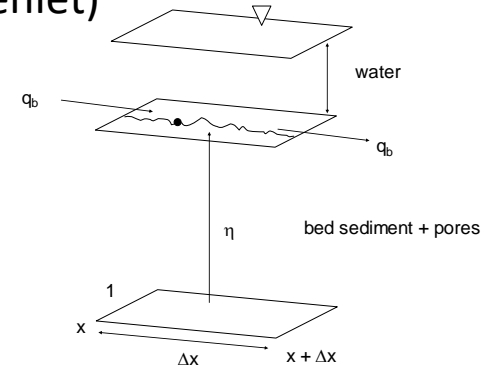
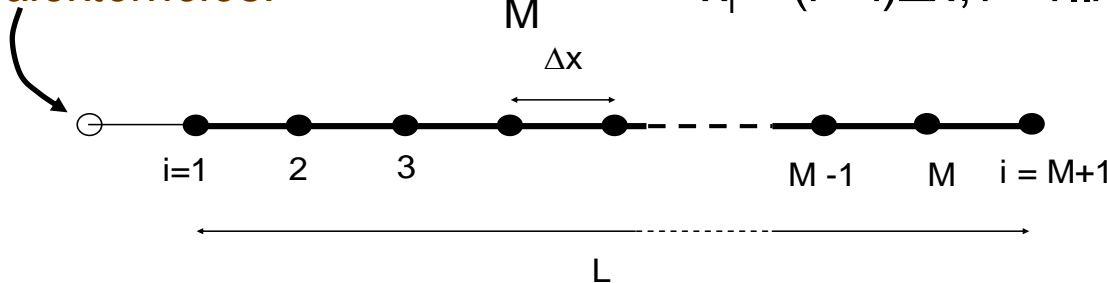
3) Hordalékhozam: 
$$Q_{tbf} = Bq^* D \sqrt{gRD} (R + 1) I \quad q^* = \alpha_t (\tau_{bf}^* - \tau_c^*)^{n_t}$$

4) Mederváltozás 
$$(1 - \lambda_p) \frac{\partial \eta}{\partial t} = -I_f \frac{\partial q_t}{\partial x} \quad (\text{Exner egyenlet})$$

*Hordalékterhelés!*

$$\Delta x = \frac{L}{M}$$

$$x_i = (i-1)\Delta x, i = 1..M+1$$



# 1D hordaléktranszport számítása alapján történő egyensúlyi állapot vizsgálata (1D)

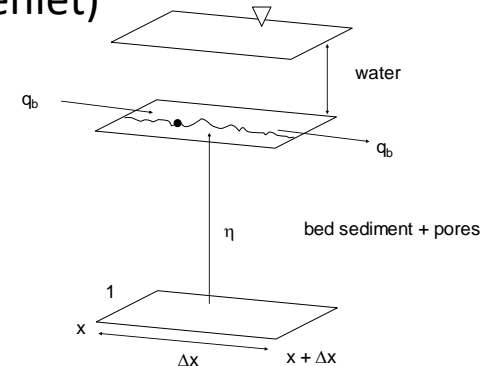
- 1D modell alkotás (egyenletes vízmozgás):

1) Esés: 
$$S_i = \frac{\eta_{i-1} - \eta_{i+1}}{2\Delta x}$$

2) Áramlás: 
$$H = \left( \frac{C_f q_w^2}{gS} \right)^{1/3} \quad \tau^* = \left( \frac{C_f q_w^2}{g} \right)^{1/3} \frac{S^{2/3}}{RD}$$

3) Hordalékhozam: 
$$Q_{tbf} = Bq^* D \sqrt{gRD} (R + 1) I \quad q^* = \alpha_t (\tau_{bf}^* - \tau_c^*)^{n_t}$$

4) Mederváltozás 
$$(1 - \lambda_p) \frac{\partial \eta}{\partial t} = -I_f \frac{\partial q_t}{\partial x} \quad (\text{Exner egyenlet})$$



Egyensúlyi állapot megzavarása esetén mi várható?



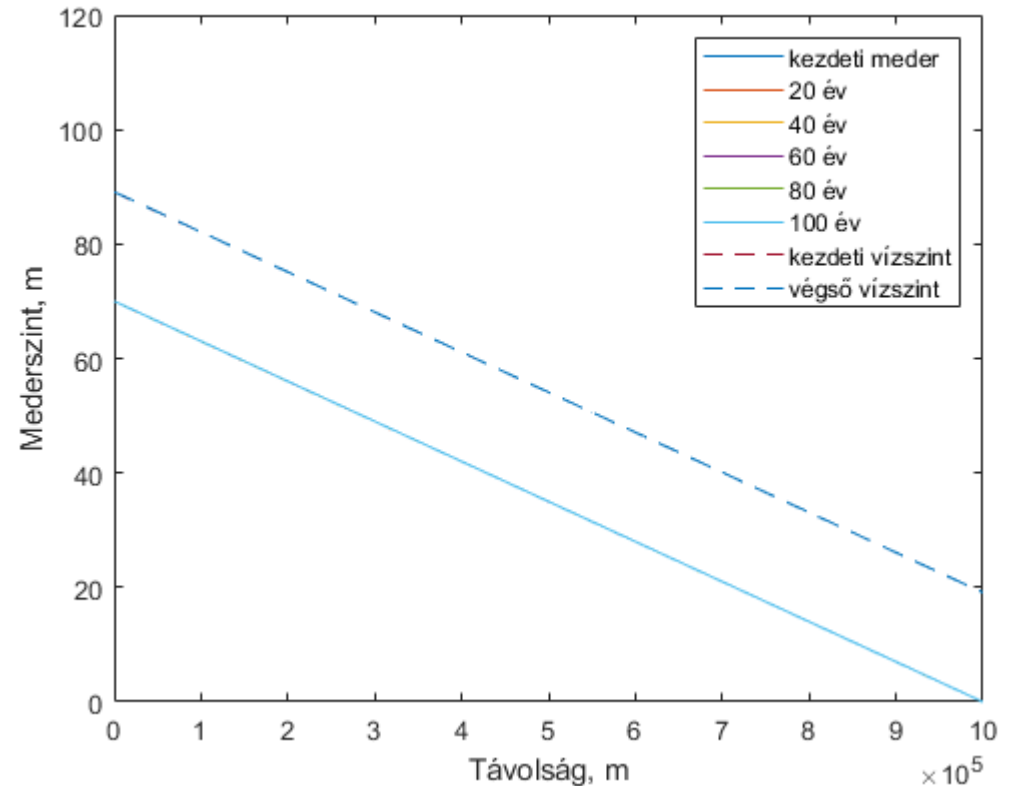
# 1D hordaléktranszport számítása alapján történő egyensúlyi állapot vizsgálata (1D)

Egyensúlyi állapot esetén:

$$q_{bi,in} = q_{bi,out}$$

Mississippi középső szakasza  
(Paraméterezés: An et al., 2021)

PARRAMETER	VALUE
Channel length, L	1,000km
Channel width, B	1,100m
Dimensionless bed resistance coefficient, $C_f$	0.0047
Flow discharge per unit width, $q_w$	31.82m <sup>2</sup> /s
Flood intermittency factor, $I_f$	0.34
Equilibrium annual bed material load	58.5Mt
Characteristic grain size, D	0.426mm
Submerged specific gravity of sediment, R	1.65
Porosity of bed deposit, $\lambda_p$	0.4
Cell size, $\Delta x$	10km
Computational time step	10 <sup>-5</sup> year



# 1D hordaléktranszport számítása alapján történő egyensúlyi állapot vizsgálata (1D)

Egyensúlyi állapottól való eltérés esetén:

$$q_{bi,in} > q_{bi,out} \quad (\tau_b \text{ túl kicsi})$$

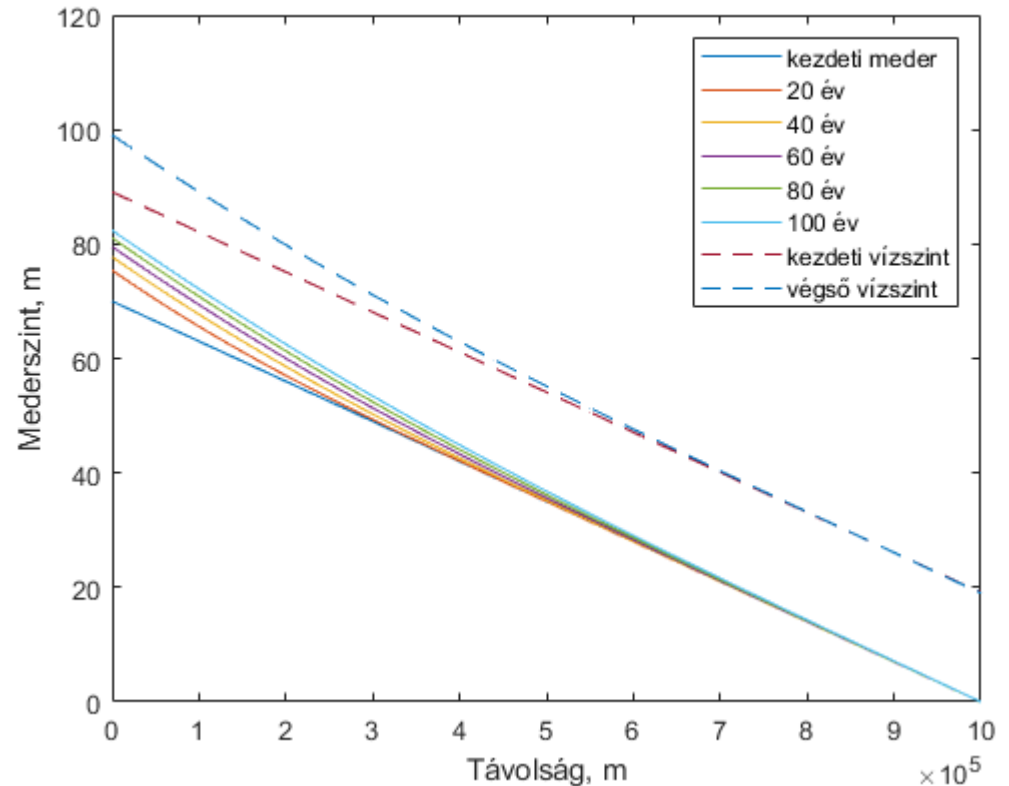


lerakódás



$S$  nő (ezért  $\tau_b$  nő)

$$\tau_b = \rho g H S$$



# 1D hordaléktranszport számítása alapján történő egyensúlyi állapot vizsgálata (1D)

Egyensúlyi állapottól való eltérés esetén:

$$q_{bi,in} > q_{bi,out} \quad (\tau_b \text{ túl kicsi})$$



lerakódás

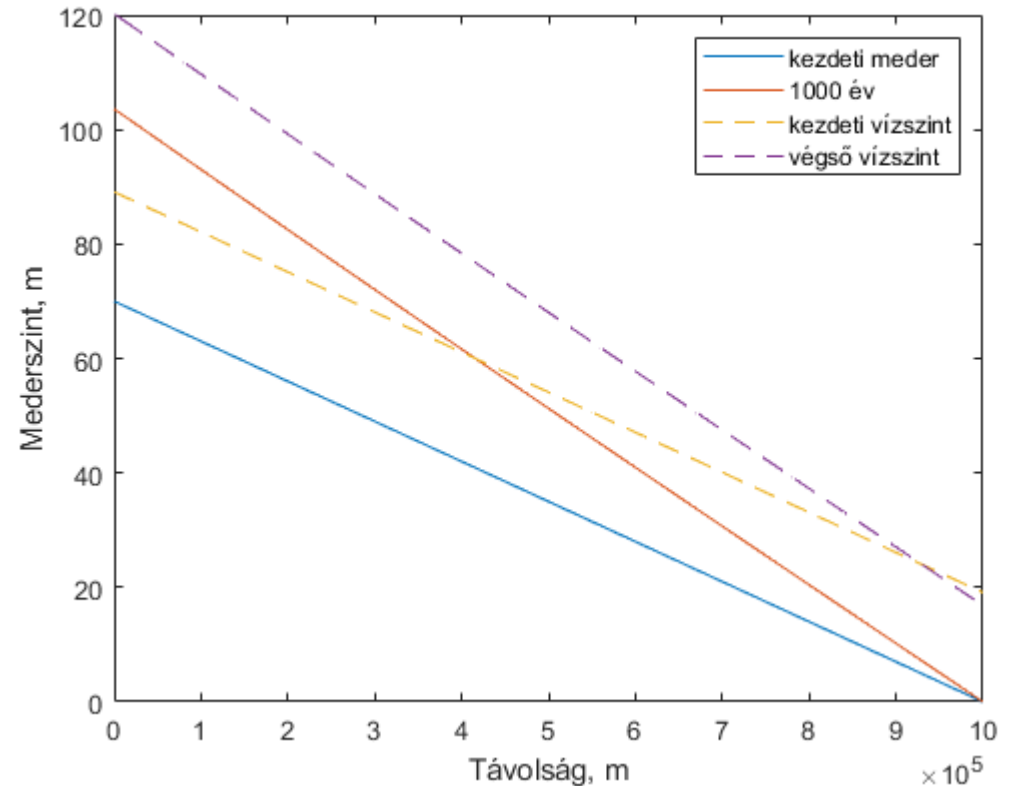


$S$  nő (ezért  $\tau_b$  nő)



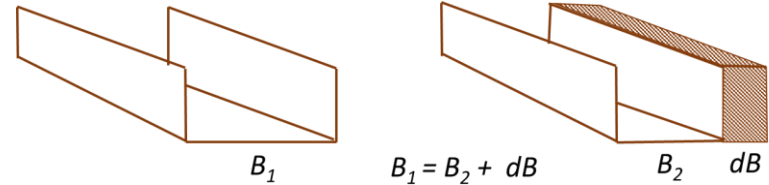
$$q_{bi,in} = q_{bi,out}$$

$$\tau_b = \rho g H S$$



# 1D hordaléktranszport számítása alapján történő egyensúlyi állapot vizsgálata (1D)

Egyensúlyi állapottól való eltérés esetén:



$$B_{\text{módosított}} < B_{\text{kezdeti}}$$



erózió

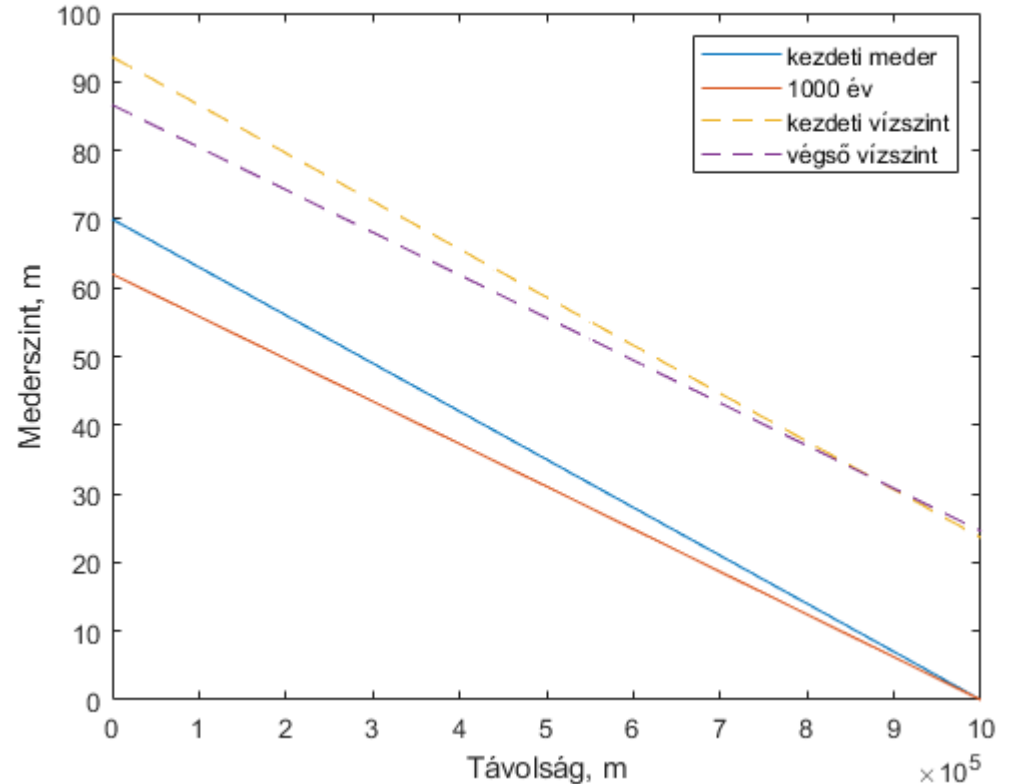


$S$  csökken (ezért  $\tau_b$  is)



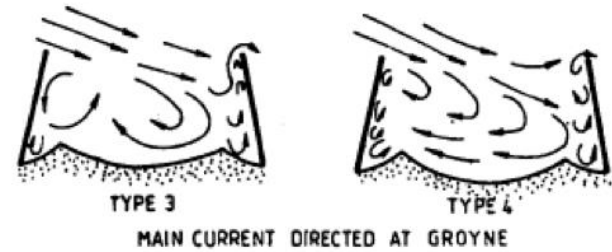
$$q_{bi,in} = q_{bi,out}$$

$$\tau_b = \rho g H S$$



# 1D hordaléktranszport számítása alapján történő egyensúlyi állapot vizsgálata (1D)

Egyensúlyi állapottól való eltérés esetén:



Mederellenállás növelése



lassabb áramlás ( $\tau_b$  csökken)  
lerakódás

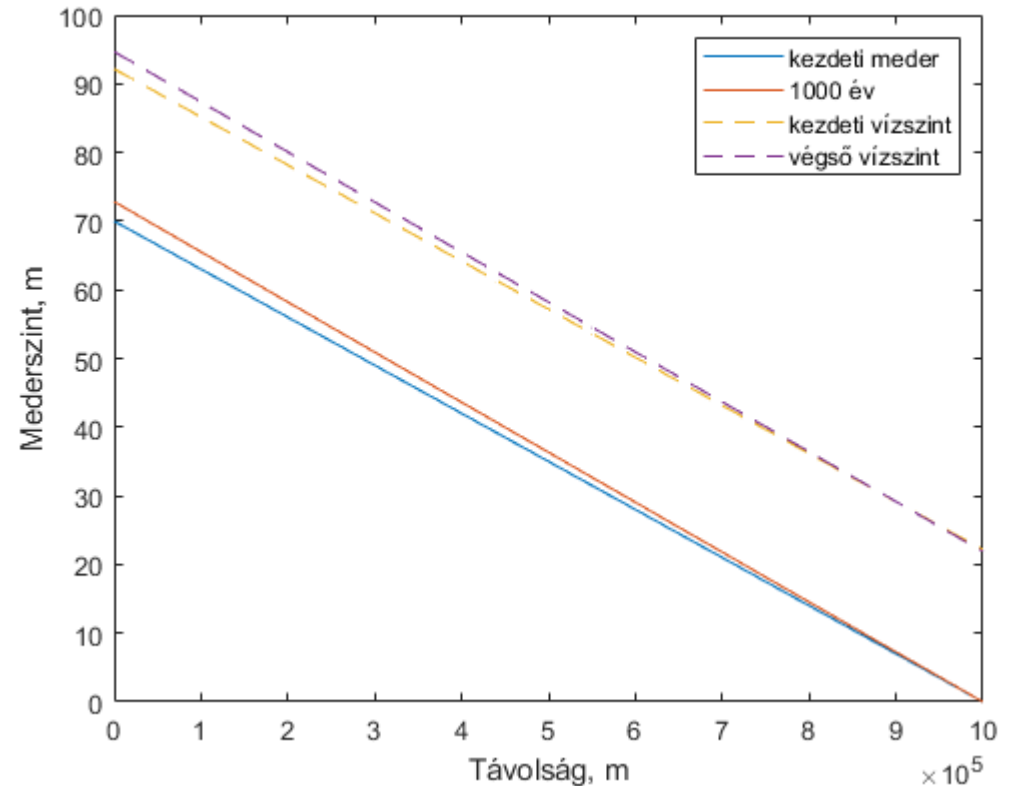


$S$  nő (ezért  $\tau_b$  is)



$$q_{bi,in} = q_{bi,out}$$

$$\tau_b = \rho g H S$$



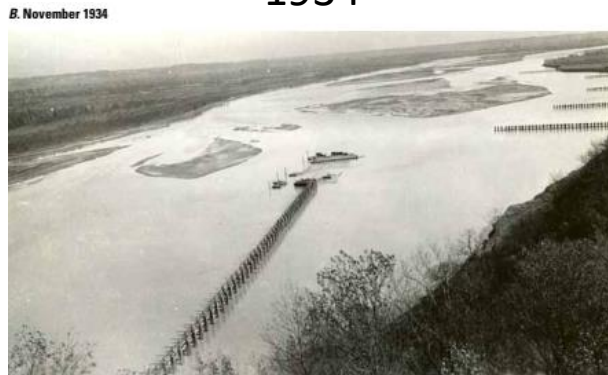
# Sarkantyúsor hatásának vizsgálata

## Mederszűkítés hatásának implementálása

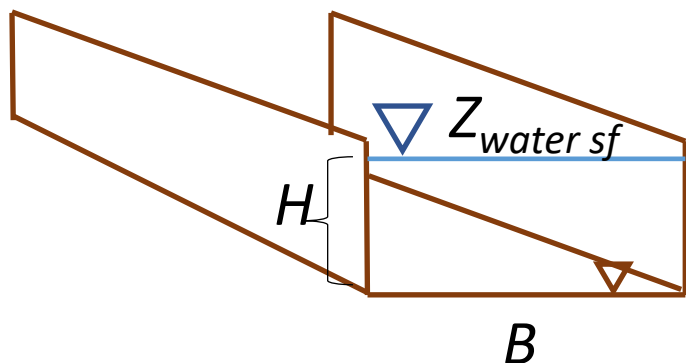
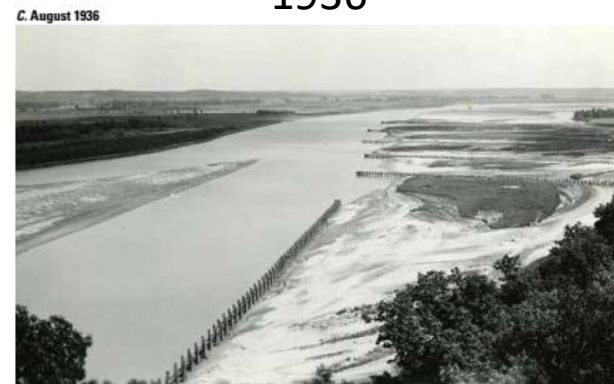
1934



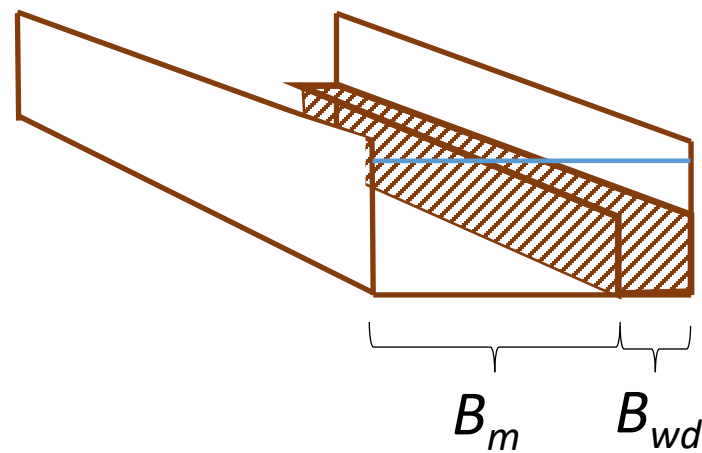
1934



1936

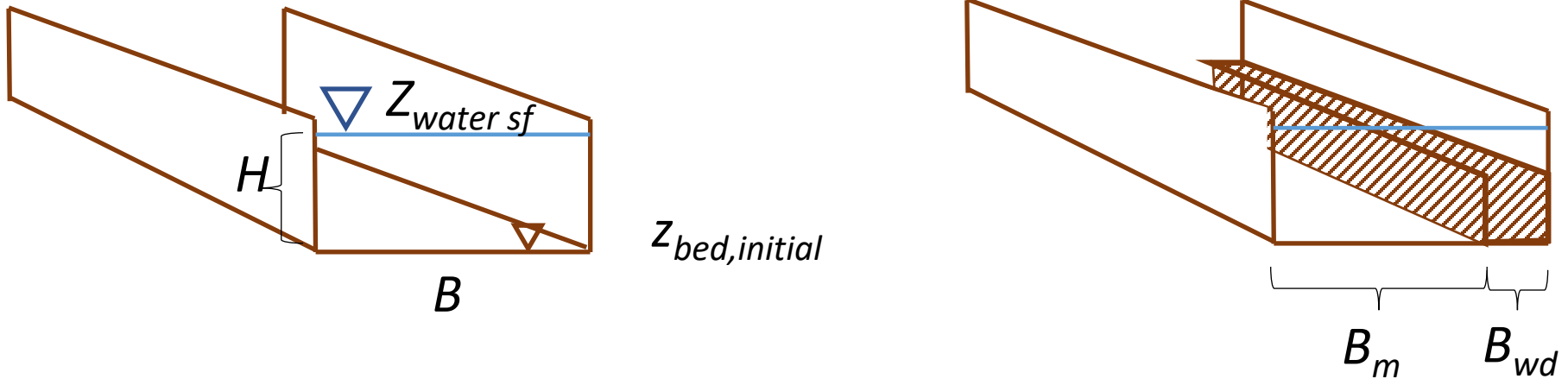


$z_{bed,initial}$



# Milyen mederváltozás és vízszintváltozás várható?

## Mederszűkítés hatásának implementálása



1, Kezdeti állapot: Chenge An et al.:  $B = 1100$  m

2, A sarkantyúk kettéosztják a csatornát: elsődleges ( $B_m$ ) és egy másodlagos csatornára ( $B_{wd}$ ).

$$B = B_m + B_{wd}$$

3, Feltételezések: A sarkantyúk közti terület a sarkantyú koronaszintjéig feltöltődik

$$H_m \text{ (vízmélység az elsődleges csatornában)} = Z_{water\ surface} - Z_{bed}$$

$$H_{wd} \text{ (vízmiélység a sarkantyúknál)} = Z_{water\ surface} - Z_{wing\ dam}$$

4, Bernoulli egyenlet: az E szintek megegyeznek szelvényen belül

- A mederkitöltő vízhozam ( $Q = 35000$  m<sup>3</sup>/s) úgy oszlik meg a két csatorna között, hogy azokban az E szint megegyezzen:

$$\frac{U_m^2}{2g} + z_{water\ sf,m} = \frac{U_{wd}^2}{2g} + z_{water\ sf,wd}$$

$$U_m * H_m * B_m + U_{wd} * H_{wd} * B_{wd} = Q_{initial}$$

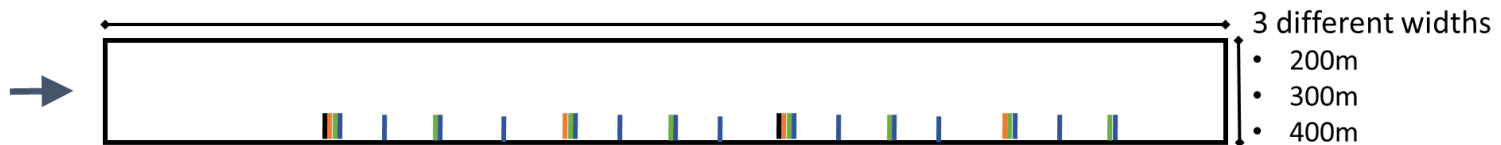


# Milyen mederváltozás és vízszintváltozás várható?

## Mederellenállás és szűkítés mértékének implementálása

- 3D CFD modell alkalmazásával (SSIIM 2)
  - Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS);  $k-\varepsilon$  turb. model
  - Hordalékmozgás számítása: Wilcock & Crowe and van Rijn modellel (Török et al., 2019)
- Modellvizsgálatok:
  - Idealizált egyenes tesztcsatorna
  - Új egyensúlyi medergeometria számítása különböző sarkantyúkiosztással
    - Csatornaszélesség, sarkantyúhossz, sarkantyúsűrűség
  - Új egyensúlyi geometriában kialakuló áramlásból a szakaszra jellemző átlagos új mederellenállás számítása

$$C_{f,eff} = \frac{gHS}{U^2}$$



# Milyen mederváltozás és vízszintváltozás várható?

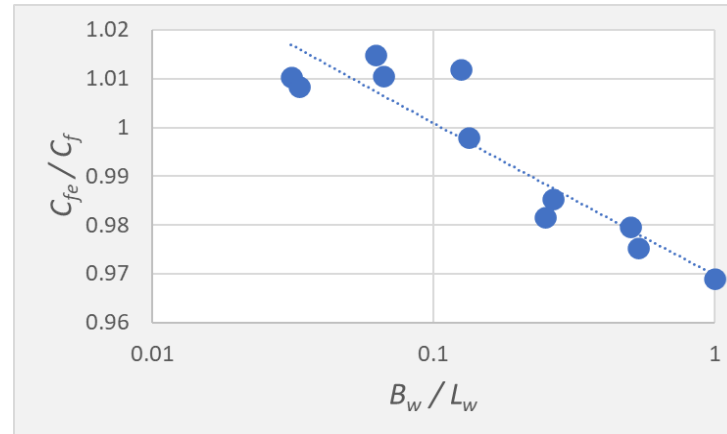
## Mederellenállás és szűkítés mértékének implementálása

- Mederszűkítés hatására megváltozott mederellenállás

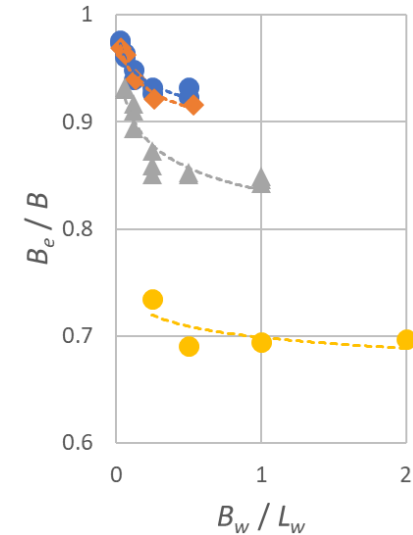
Mississippi River, St. Louis



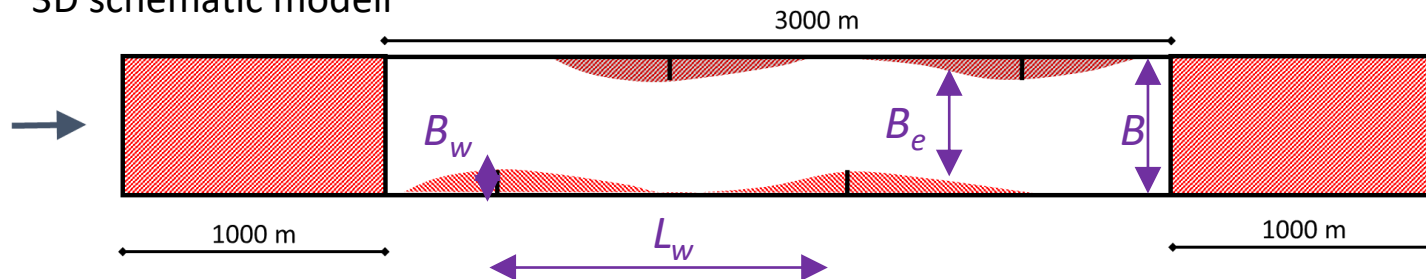
Effective friction coefficient



Effective width



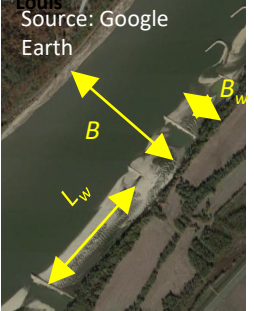
3D schematic modell



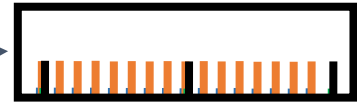
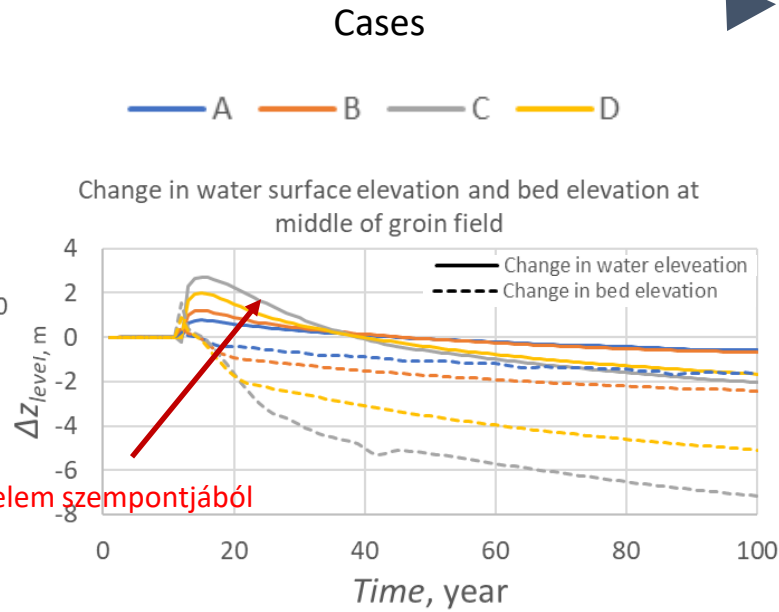
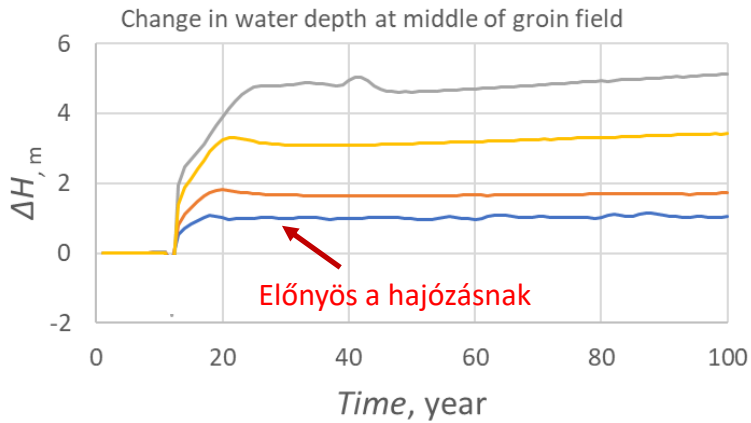
# Milyen mederváltozás és vízszintváltozás várható?

## Eredmények

Mississippi River, St. Louis



Modellfuttatás különböző sarkantyúhosszakkal és sűrűséggel



	$\frac{B_w}{L_w}$	$\frac{B_w}{B}$
A	0.03125	0.125
B	2	0.125
C	0.03125	0.5
D	2	0.5

# Konklúzió

- A 3D CFD modelleredmények felskálázásával (~ 5 km → ~ 1000 km) lehetséges a sarkantyúsorok morfológiai hatásának 1D modellezése
  - A sarkantyúk beépítése az új egyensúlyi állapotban nem okoznak érdemi mederellenállás növekedést
  - A sarkantyúsorok érdemi hatása az effektív mederszélesség csökkenése
- Nem szükséges részletes és nagy számítási igényű 3D CFD futtatása a sarkantyúsorok telepítésének több 100 km-es folyószakaszon kifejtett nagy időléptékű hatásának vizsgálatára.
- Évszázados léptékben jelentős változás állhat be a trendben
- Pusztán a sarkantyúsorok beépítése hatására először vízszint emelkedés, majd csökkenés várható
- Emelkedik, vagy csökken a vízszint a sarkantyúk hatására?  
Mikor és hol (felvíz vs. alvíz)

Köszönöm a figyelmet!



Duna, Göd