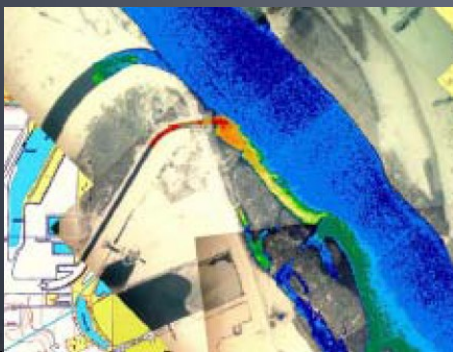


# A radionuklidok terjedésének modellezése folyókban



Brockhauser Barbara, Deme  
Sándor, Hoffmann Lilla, Pázmándi  
Tamás, Szántó Péter  
MTA EK, SVL  
2015/04/22



# A terjedést számító szoftver célja

Fő feladat: radionuklidok aktivitáskoncentrációjának és az ebből származó dózisok számítása vízi terjedés során.

A modell rövididejű, baleseti kibocsátásra vonatkozik, amelyik figyelembe veszi az aktuális hidrológiai és radioökológiai paramétereket és a legjobb közelítést használja.

- Bekerülési útvonalak (közvetlen vagy közvetett)
- Bekerülési formák (pont, diffúz)
- Terjedésszámítás (AD+üledék+biológia), keveredés térbeli léptéke
- Aktivitáskoncentráció-számítás
- Dózisok [ $Sv/Bq$ ] meghatározása különböző útvonalakra (például bemerülés, direkt sugárzás és belsőterhelés, mint például belégzés, tápláléklánc)

# A terjedés modellezésének menete



- A folyó geológiai/hidrológiai és geometriai jellemzői
  - A terjedés folyamatai
  - A szennyezőanyag elkeveredési folyamatai
- Üledékekkel és élővilággal kapcsolatos folyamatok
  - Egyéb forrás és nyelő tagok

# A folyó jellemzői

A koordinátarendszert tekintve:

- x irányba folyik a folyó [ $u_x$ ],
- y irányban változik a szélessége,
- z irányban pedig a mélysége.

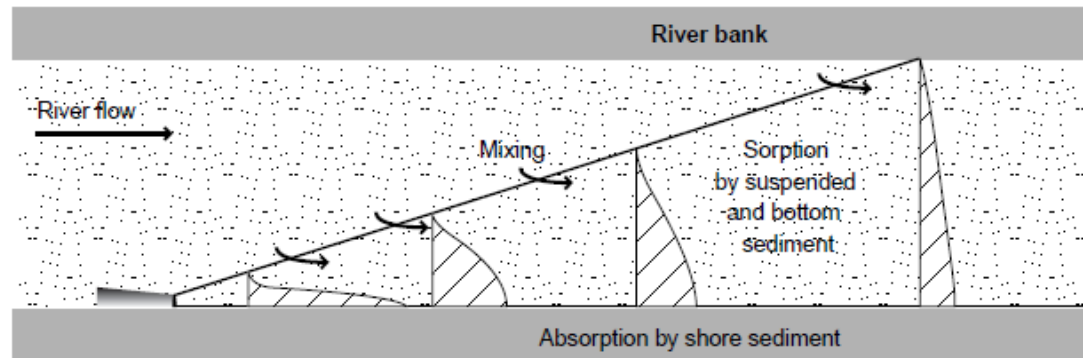
A számításoknál különféle mederfenék típusokat különíthetünk el:  
négyszög, trapéz, háromszög, parabola

Ezekből számítható paraméterek: keresztirányú felület [ $A; m^2$ ],  
áztatott hossz [ $W_p; m$ ], hidraulikai sugár [ $R; m$ ]

# A terjedés folyamatai

A szennyezőanyag terjedését négy fő tényező határozza

- Advekción
- Diffúzió
- Radioaktív bomlás
- forrás/nyelő tagok, melyek az üledéssel kapcsolatos folyamatokban jutnak jelentős szerephez



# Advektív-diffúziós egyenlet

▲ modellezésben a két mozgatóerőt (advekciót és diffúziót) együtt tekintjük, tehát egy advektív-diffúziós egyenlettel számolunk.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(uC)}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

$$C(x, t) = \frac{M}{A \sqrt{4\pi t D_x}} \exp\left(-\frac{(x - ut)^2}{4D_x t}\right)$$

A: a keresztirányú terület [m<sup>2</sup>]

M: a bebocsátott tömeg [g]

# A turbulens diffúziós tényezők

- Nyírási sebesség:  $u^* = \sqrt{ghS} = \sqrt{gRS}$

$D = \varphi hu^*$  ahol  $\varphi$  x,y,z irányba más értékű (h: mélység [m])

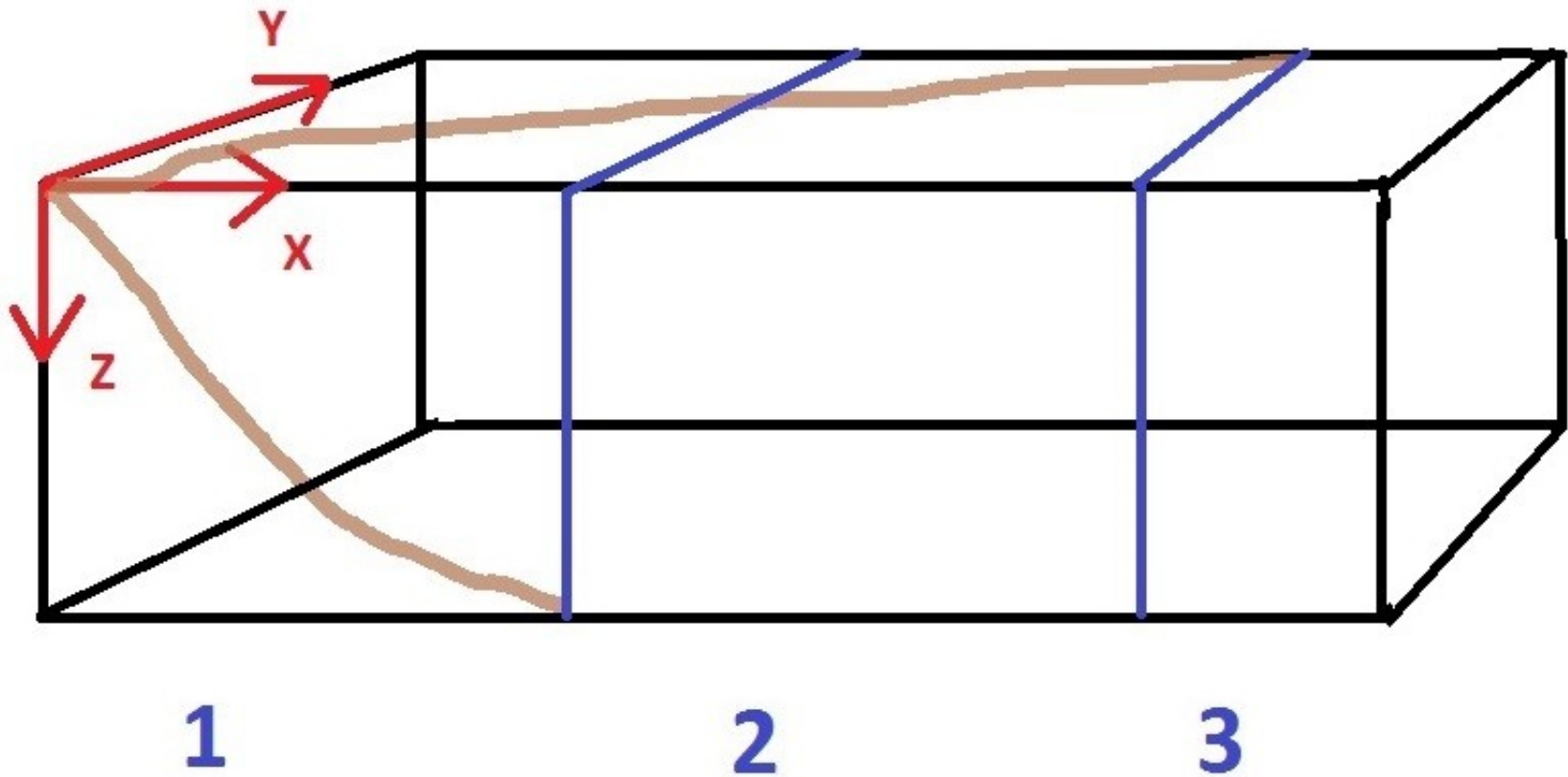
- Vertikális:  $D_z = 0,067hu^*$ , 0,067-es együttható  $\pm 25\%$ -os megbízhatóságú.

- Keresztirányú:

- egyenes csatornára  $D_y = 0,15hu^*$
- enyhén kanyargós:  $D_y = 0,2$  és  $0,6 hu^*$  közötti
- kanyargósra:  $D_y = 0,6$  és  $2 hu^*$  közötti

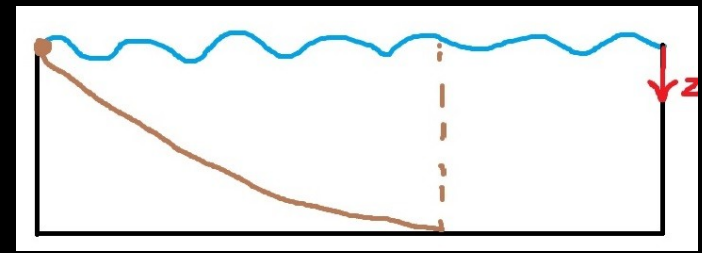
- Hosszirányú:  $D_x = 5,98hu^*$ , valódi véges széles nyílt felszínű csatornáknál 5 és 7000 között változik

# A szennyezőanyag elkeveredésének 3 szakasza





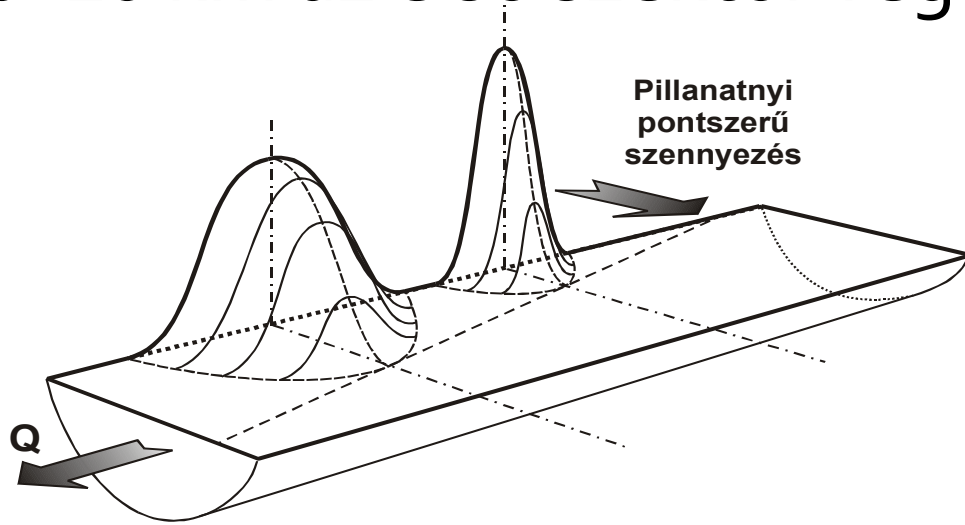
# 1. szakasz



- a kibocsátás közvetlen környezete, ahol még sem a vertikális, sem a keresztirányú elkeveredés nem következett be
- három dimenziós advektív-diffúziós egyenletet kell alkalmazni
- A szennyezőanyag és a befogadó közeg hőmérséklete eltérő
- A beömlési sebességvektor iránya különbözik a folyási sebesség vektorának irányától
- Ezek a feltételek körülbelül néhány száz méterig érvényesek (12h távolságig)

## 2. szakasz: near field

- Ott kezdődik, ahol a vertikális elkeveredés már végbement, és addig tart, amíg a keresztirányú elkeveredés végbe nem megy
- Itt egy kétdimenziós egyenletet kell alkalmazni
- Érvényessége kb. 20 km az első szektor végétől mérve



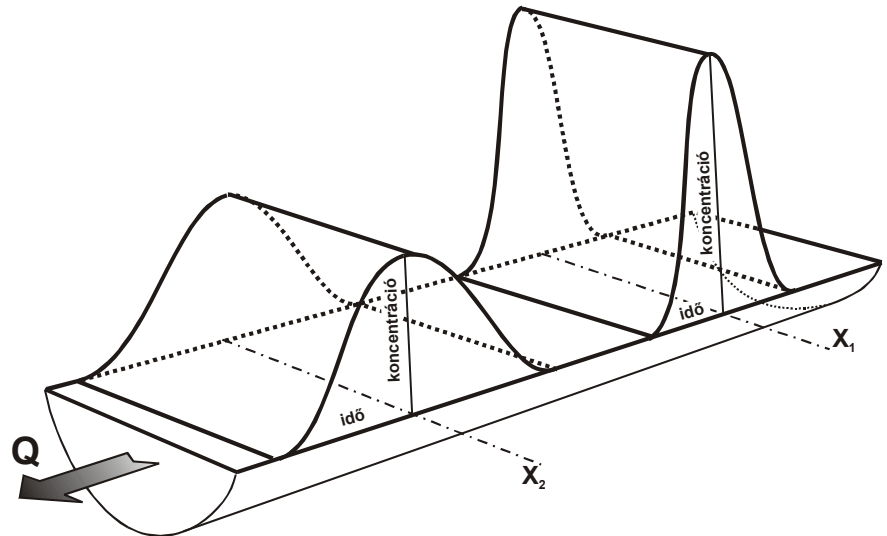
## 2. szakasz alszakaszai

- A szektort további két részre lehet bontani.
  - Az első szakasz addig tart, amíg a keresztirányú csóva el nem éri az átellenes partot (első elkeveredési távolság),
  - a második szakasz pedig onnantól, amikor már elérte, addig, amíg teljesen el nem keveredett keresztirányba (második elkeveredési távolság), vagyis a harmadik fázis kezdetéig.

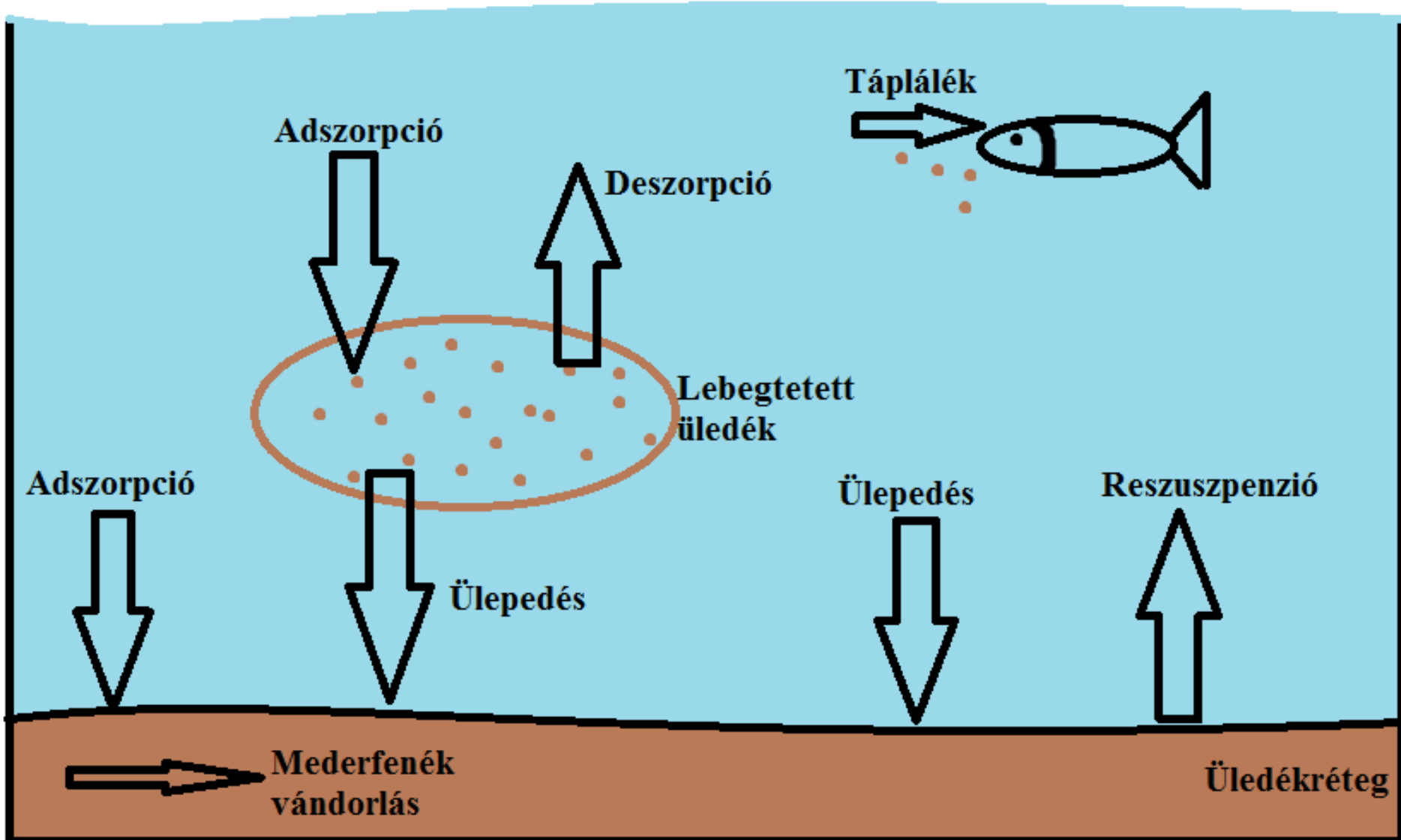
## 3. szakasz: far field

- A harmadik szektorban már mind a vertikális mind a keresztirányú keveredés végbement, a szennyezőanyag koncentráció változása a keresztirány mentén 10% belül marad

$$C(x, t) = \frac{M}{A \sqrt{4\pi t D_x}} \exp\left(-\frac{(x - ut)^2}{4D_x t}\right)$$



# Üledékekkel és élőlényekkel kapcsolatos folyamatok



# Dózisterhelési útvonalak

## Külső

### 1. Üledékekkel kapcsolatos:

Az ülepedett anyag radioaktív bomlásából származó külső sugárzása

Szennyezett part / strand, horgászat

### 2. Víz tömeg közvetlen hatása:

úszás, horgászat, csónakázás

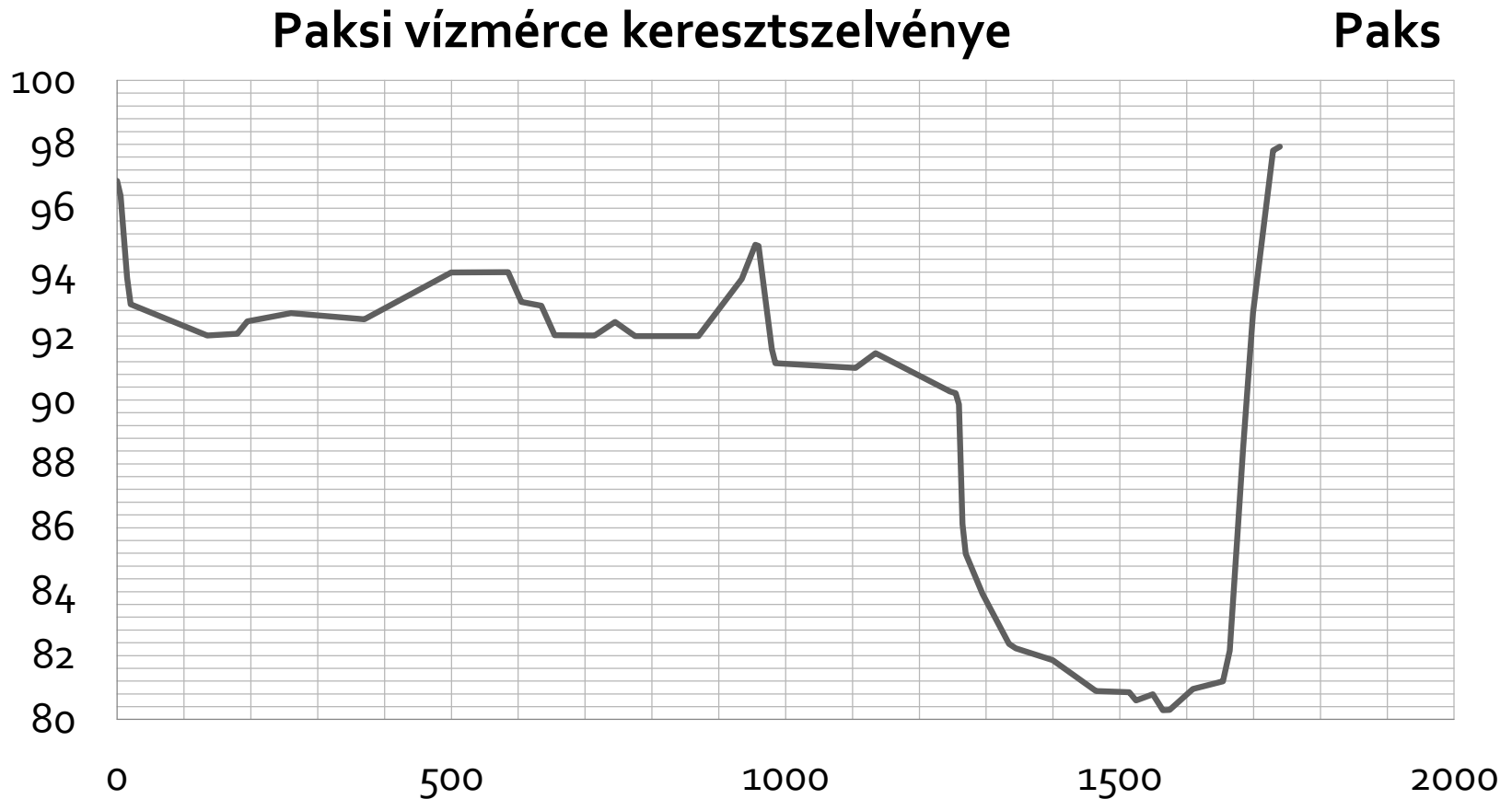
# Belső

- Ivóvíz általi bevitel
- Belégzés
- Táplálékláncon keresztül

Bekerülés az emberi szervezetbe a különböző terhelési útvonalakon keresztül.

# Eredmények

A paksi folyókeresztmetszet ábráról leolvasható, hogy a Duna mélysége Paksnál a 0 (85,4mBf) vízmérce állásnál 5 méteresnek vehető.





# Eredmények

## 1) általános adatok

I-131 ( $T_{1/2}$ : 8,02 nap)

$M=10^{14}$  Bq

$x$ =Gerjen (10 km)

$h$ [m]	$B_{cs}$ [m]	$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	$u$ [m/s]	$L_2$ [km]
7	93,2	2277,1	0,775	750,42
6	86,59	1771,8	0,712	847,73
4	76,28	761,2	0,5	922,04
3,5	77,39	508,55	0,39	825,96

# Eredmények

## 2) csóvaszélesség

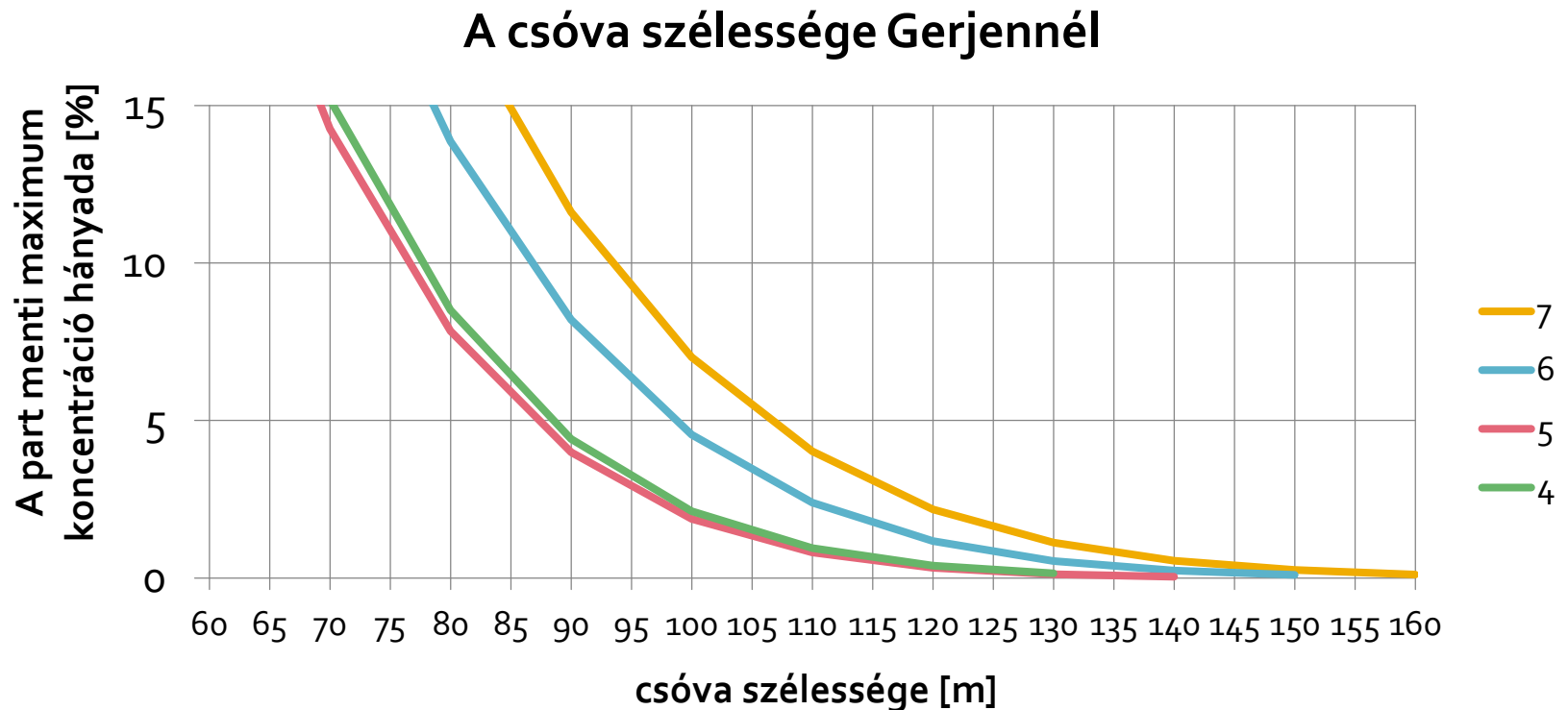
$$B_{cs} = 2,14 \sqrt{\frac{2D_y x}{u}}$$

A képlet ellenőrzéséhez korrekciós vizsgálatokat végeztem. Kiszámoltam Gerjennél a folyó keresztirányában minden 10 méteren a koncentrációt, és ott ahol a part menti koncentráció 10% található oda raktam a csóva szélét. A kapott eredmények alátámasztják, hogy a fenti képlet helyes, ha 10%-nál veszem a csóva szélét.

mélység	10%	5%	$B_{cs}$
7	93	107	93,2
6	87	99	86,59
4	77	87	76,28
3,5	78	88,5	77,39

# Eredmények

A következő diagramról leolvasható 0-15%-ig a csóva szélessége. A görbék a különböző vízmélységeket jelölik.



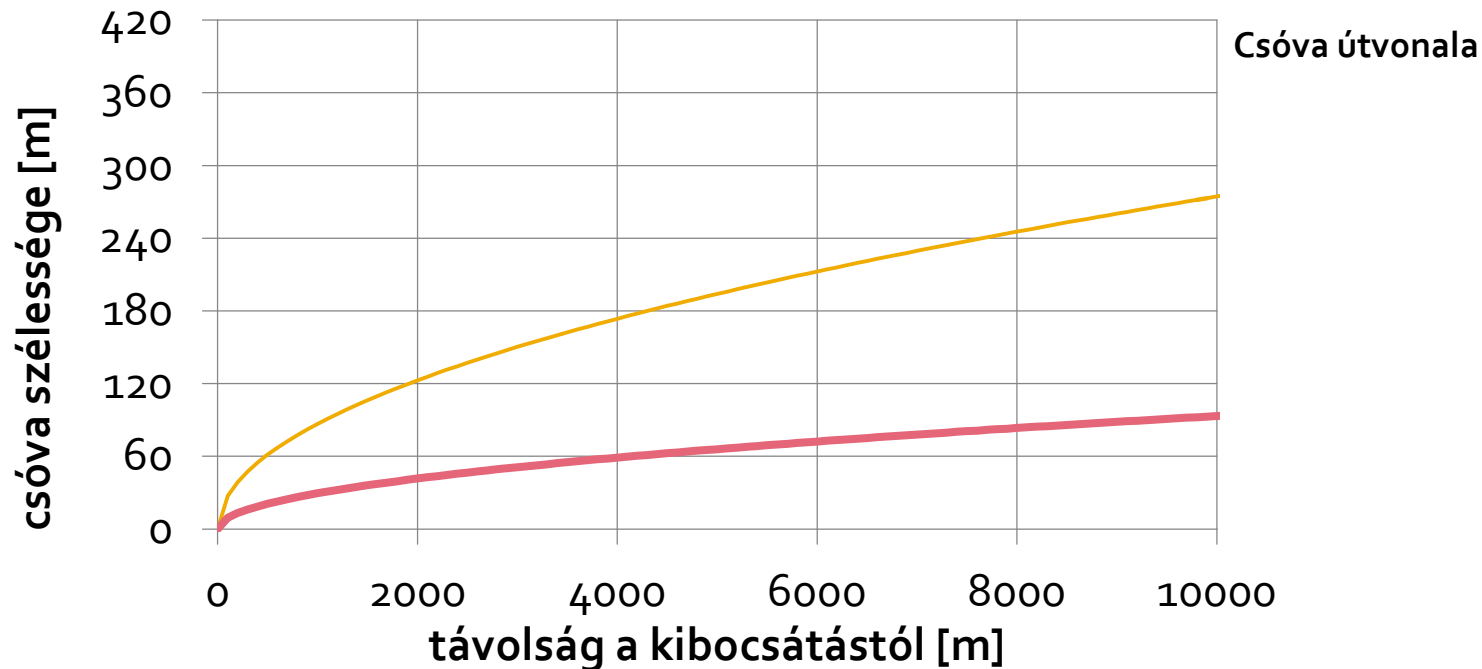
# Eredmények

## 3) meanderezés

Paks és Gerjen között a Duna nem meanderező, azonban ha feltételezzük, hogy mégis erősen meanderező a folyó, akkor a csóva a következőképpen alakul 7 méteres vízmélység esetén.

Piros: nincs meander

Sárga: erősen meanderező

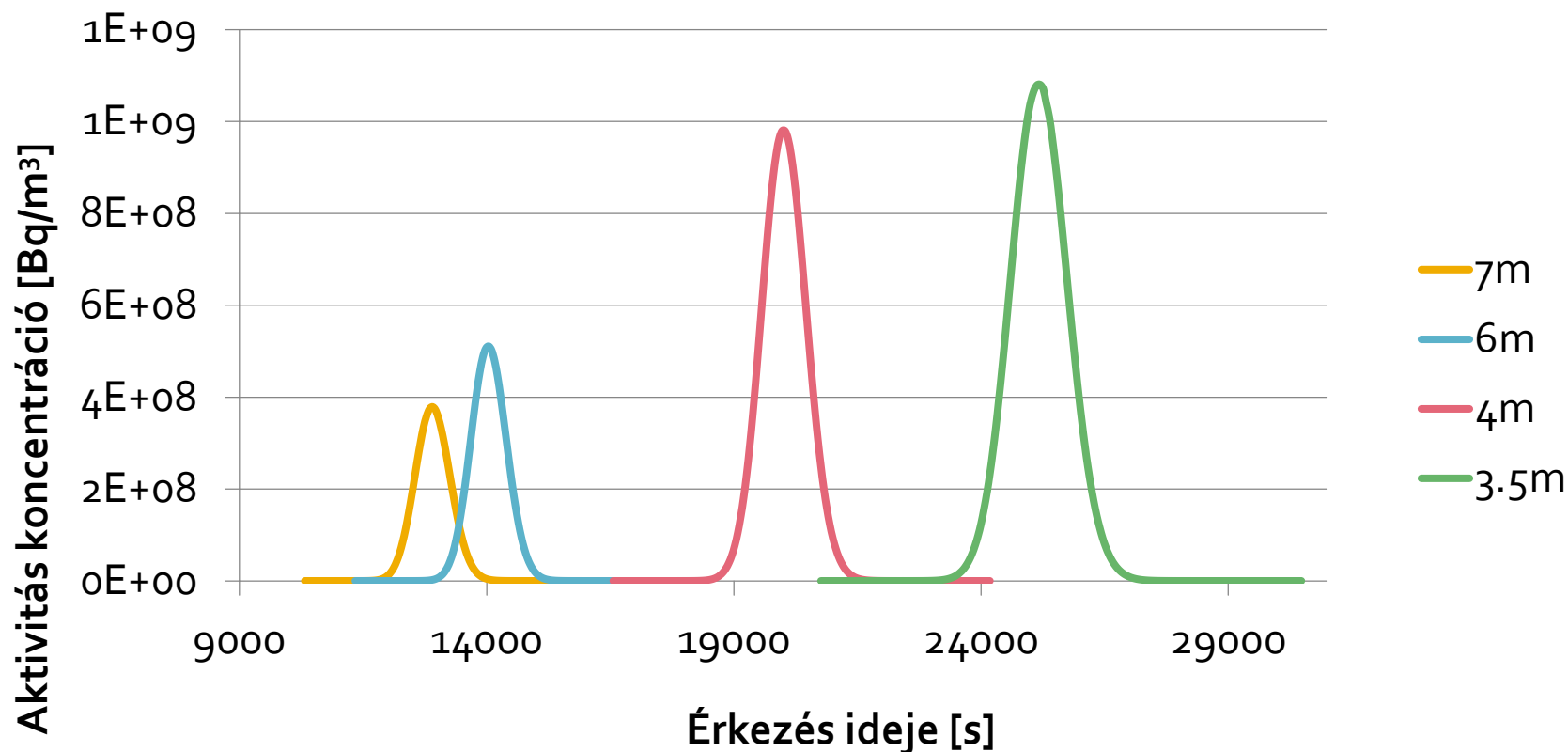


# Eredmények

## 4) aktivitáskoncentrációk

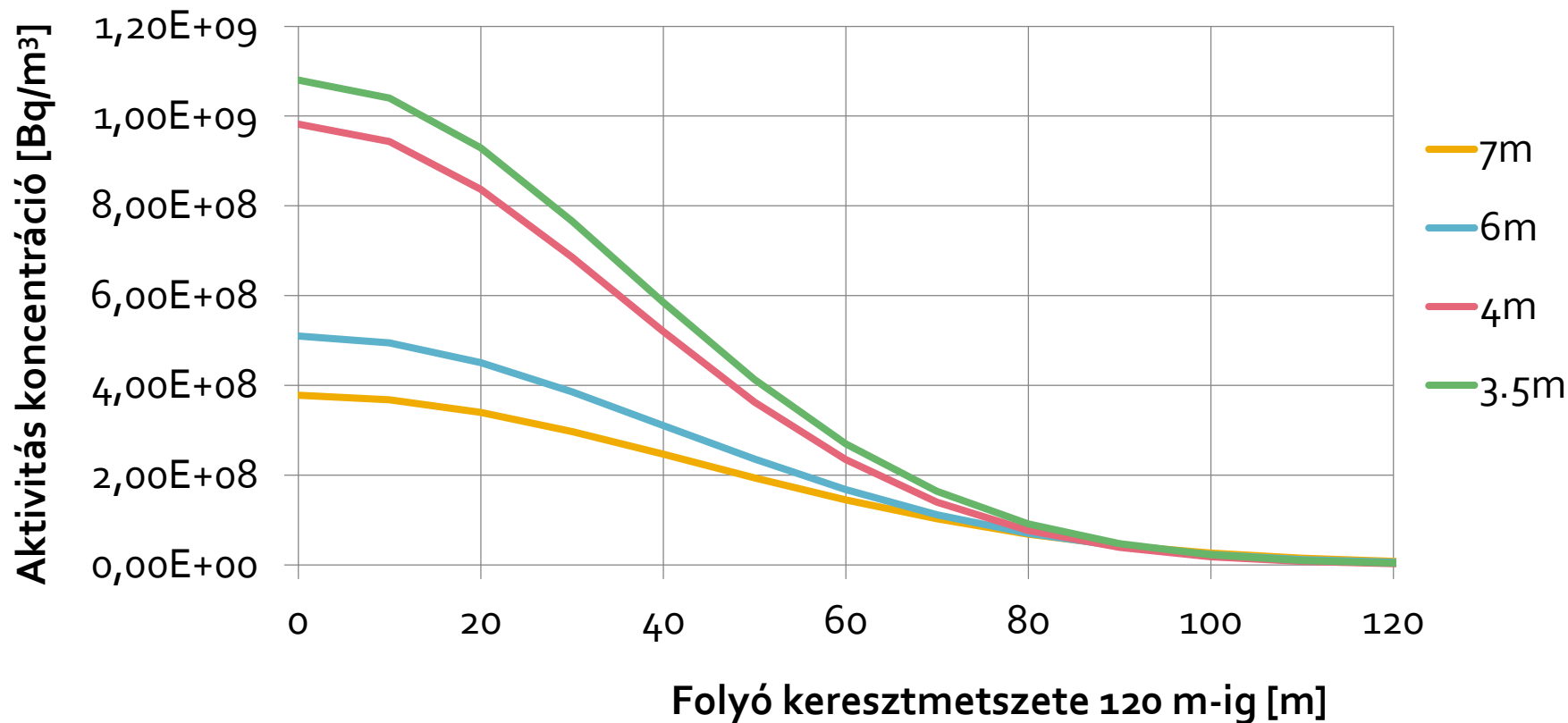
Látható, hogy a legmagasabb vízállásnál volt a legkisebb koncentráció érték a part mentén

**Aktivitáskoncentráció Gerjennél**



# Eredmények

## Keresztmetszeti koncentráció profil



# Terv: Pakson terepi felmérés

Az atomerőmű környezetének terepi felmérése  
Duna geológiai/hidrológiai, geometriai jellemzői  
Életmód jellemzők:

- Ivóvíz-nyerési adatok (fúrt kutak)
- Fürdőzés, strandolás (hol, mennyit)
- Horgászat (hol, mennyit, a kifogott hal hova kerül)
- Halfogyasztás (honnán, mennyit)
- Egyéb munka a parton
- Öntözés növénytermesztés állattartás
- Állatok ivóhelye

# Köszönöm a figyelmet

