

# Reaktortechnikai alapok

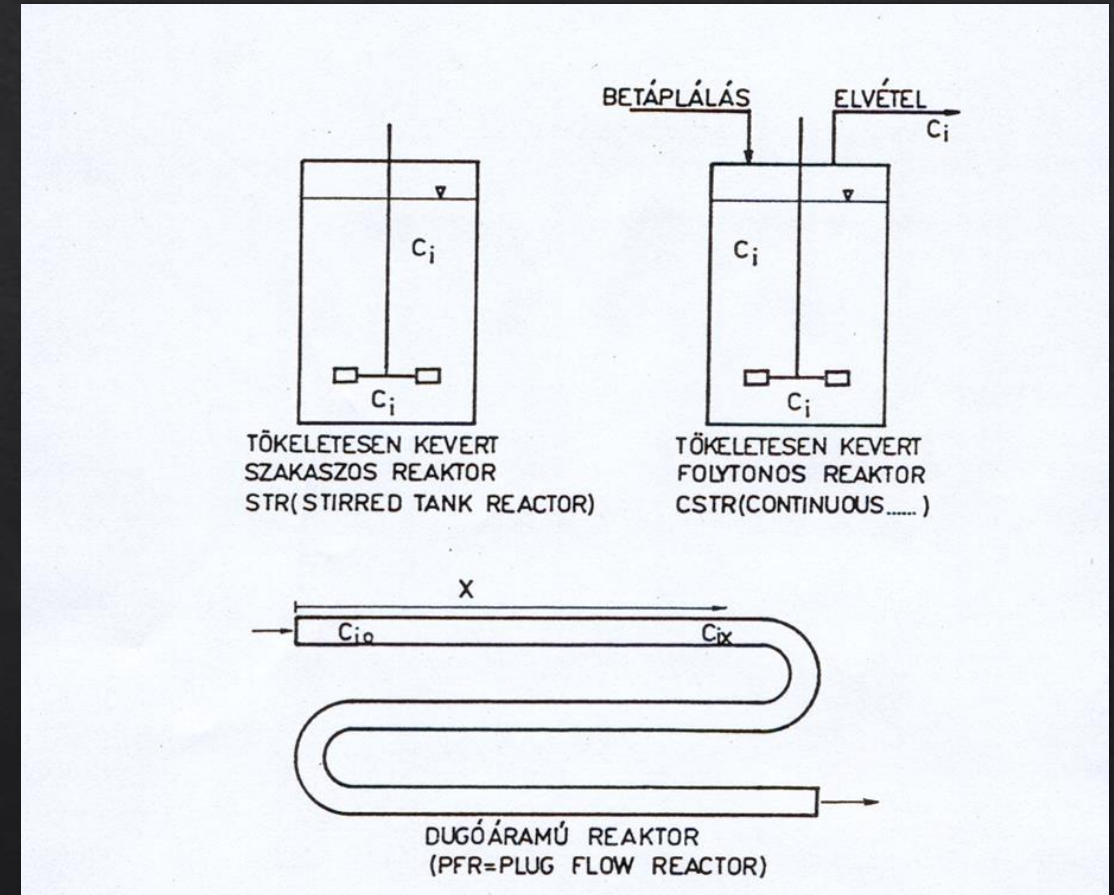
Készítette:

Herczeg Viktória

# Ideális bioreaktorok típusai

A bioreaktorokat működtetés és keverés szempontjából osztályozzuk:

- ◊ Szakaszos
- ◊ Folytonos
- ◊ Tökéletesen kevert: bármely folyadékelem a reaktor minden pontján azonos
- ◊ Dugóáramú reaktor: szomszédos folyadékelemek ~ elemi szakaszos reaktorok



# A tartózkodási idő és a tartózkodási idő eloszlások

Folytonos reaktorba belépő fluidumelem sorsa:

- ◊ Azonnal kilép
- ◊ Végtelen ideig bennmarad
- ◊ Véges idejű tartózkodás után távozik

Jellemzése a tartózkodásiidő-eloszlás függvény sűrűségfüggvénnyel (E):

$$\int_0^{\infty} E(t)dt = 1$$

Mit is jelent ez a folyadékelemek számára?

Végtelen idő elteltével nem marad folyadékelem a rendszerben.

# Az E függvény értelmezése

◇ Legyen  $dF \rightarrow t$  és  $t+dt$  „korú” folyadékhányad

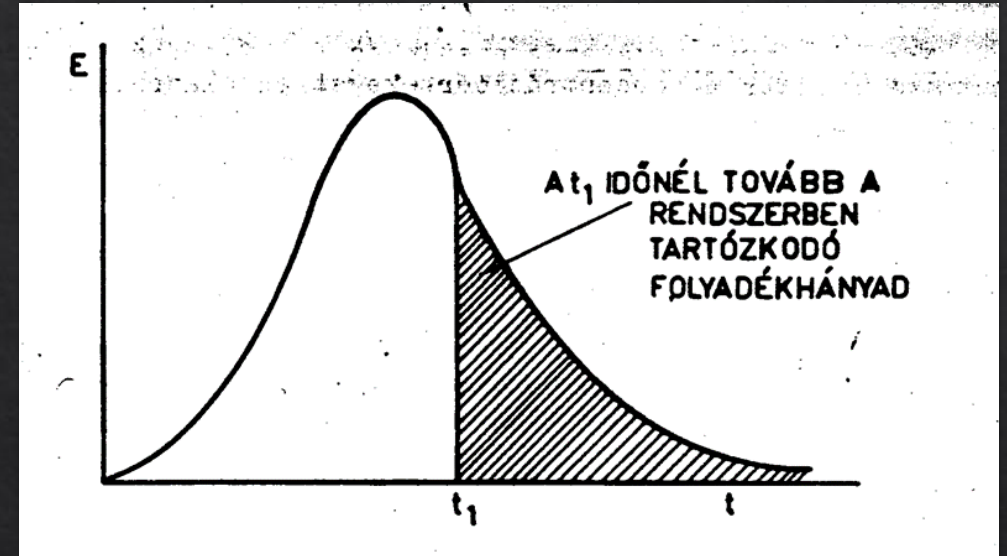
◇ Ekkor  $t_1$ -nél fiatalabb folyadékhányad:

$$F_{0,t_1} = \int_0^{t_1} E(t) dt$$

◇ Illetve  $t_1$ -nél idősebb folyadékhányad:

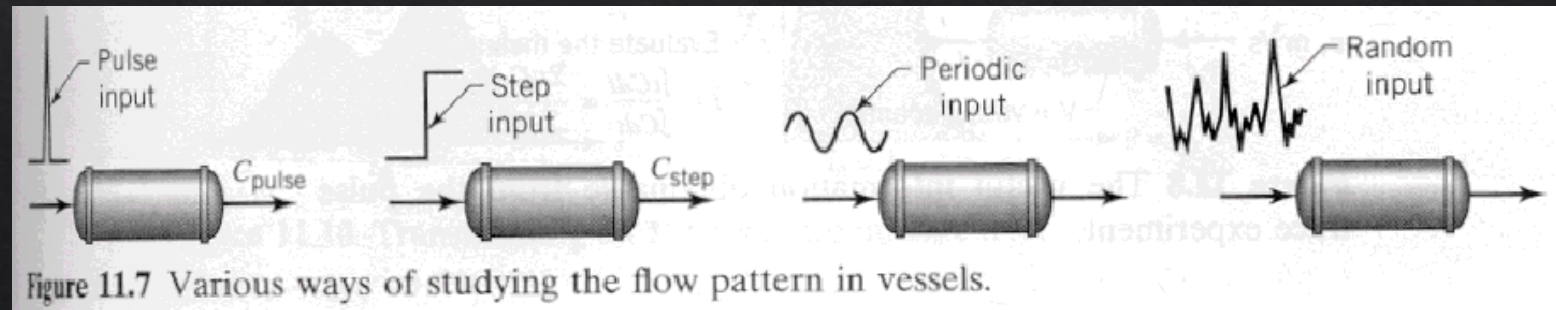
$$F_{t_1,\infty} = \int_{t_1}^{\infty} E(t) dt$$

E alkalmas a reaktorban történő nem ideális áramlási viszonyok jellemzésére is.



# Határozzuk meg az E függvényt

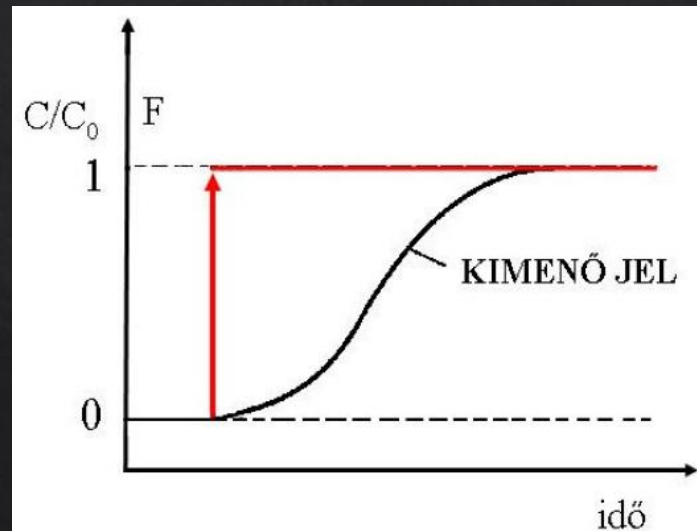
- ◇ Kísérleti vizsgálat tracer technikával → bemenő anyagáramban zavarást végzünk
- ◇ Zavarás= nyomjelző anyag (tracer) bevitele vagy koncentrációjának módosítása
- ◇ Zavarás fajtái:
  - ◇ Egységugrás: pillanatszerűen  $C \rightarrow C_0$  konstans érték
  - ◇ Impulzuszavarás: Dirac- $\delta$  szerint
  - ◇ Véletlenszerű
  - ◇ Ciklikus



# Egységugrás és impulzusvarrás vizsgálata

Egységugrás:

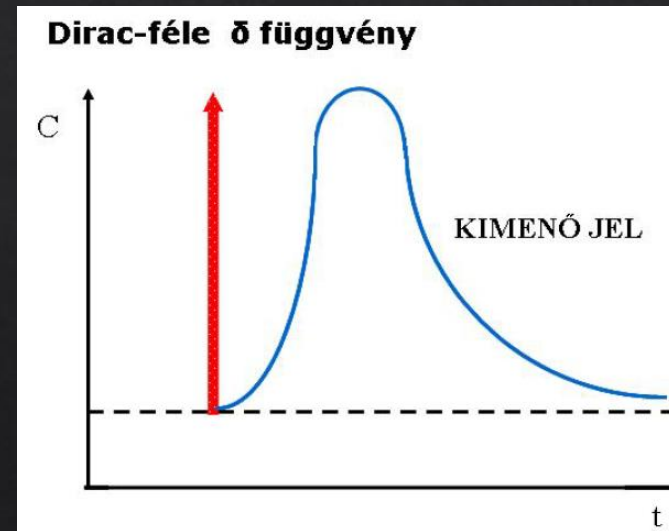
$C/C_0$  ábrázolása  $\rightarrow$  válaszfüggvény (F görbe)



Impulzusvarrás:

Koncentráció normalizálása  $\rightarrow$  C görbe

$$\int_0^{\infty} C dt = \int_0^{\infty} \frac{C}{Q} dt = 1 \text{ ahol } Q = \int_0^{\infty} C dt$$



# Kapcsolat a két módszer között

◇ Zárt edényben:  $C = E$ , azaz impulzuszavarásra adott válaszfüggvény megadja a tartózkodásiidő-eloszlás sűrűségfüggvényét

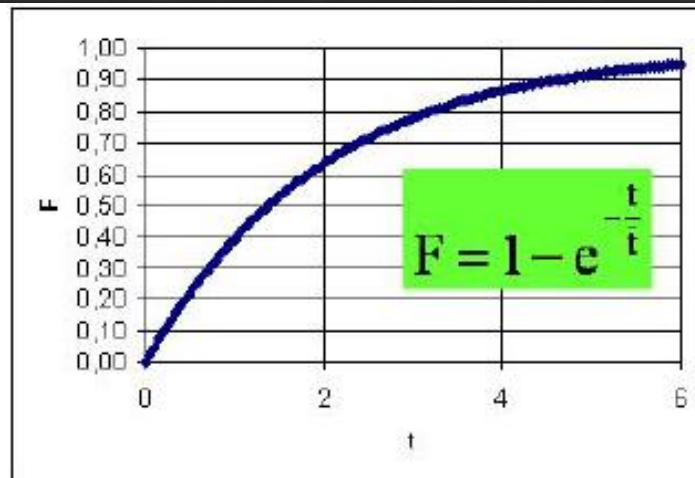
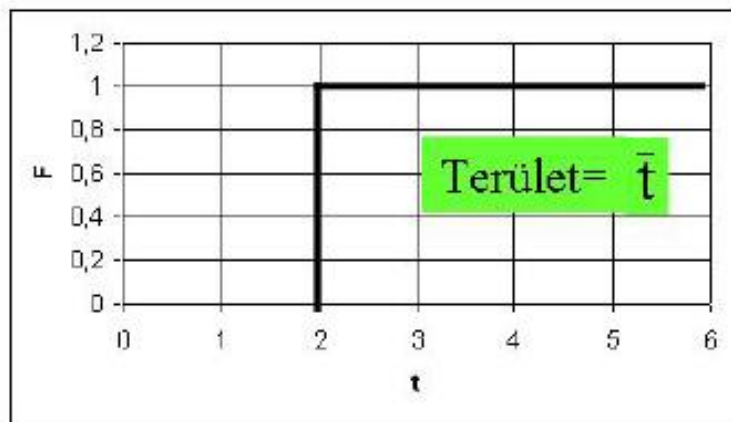
$$\diamond F = \int_0^t E(t) dt \quad \text{és} \quad \frac{dF}{dt} = E$$

$F(t)$ : kísérletileg meghatározott (egységugrás zavarás)

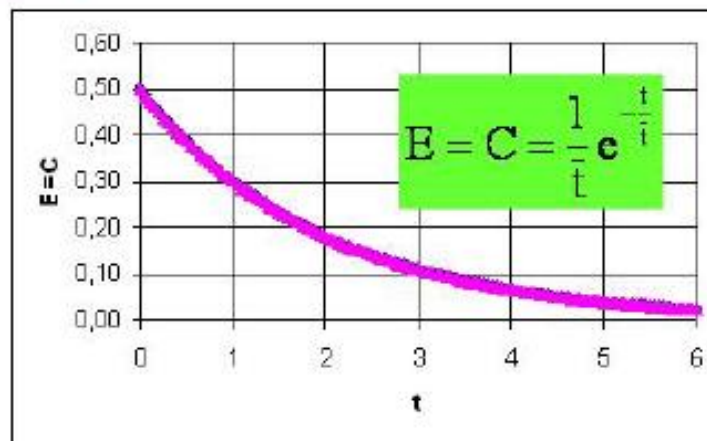
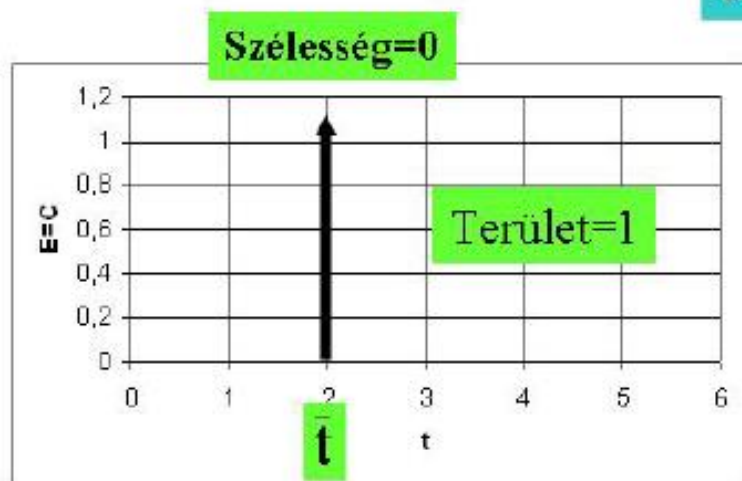
◇ Átlagos tartózkodási idő:

$$\bar{t} = \frac{V}{f} \text{ kemosztátra: } D = \frac{f}{V} = \frac{1}{\bar{t}}$$

$f \rightarrow$  térfogatáram,  $V \rightarrow$  reaktor térfogata



$$\bar{t} = 2h$$



4.102. ábra: Ideális reaktorok  $E$  és  $F$  függvényei



# Az eloszlás paraméterei

Várható érték

$$m_1 = \bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} tCdt}{\int_0^{\infty} Cdt}$$

Diszkrét eset:

$$\bar{t} \cong \frac{\sum_{i=0}^n t_i C_i \Delta t_i}{\sum_{i=0}^n C_i \Delta t_i}$$

Szórásnégyzet

$$\begin{aligned} \sigma^2 = m_2 - m_1^2 &= \frac{\int_0^{\infty} t^2 Cdt}{\int_0^{\infty} Cdt} - \bar{t}^2 = \\ &= \frac{\int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 Cdt}{\int_0^{\infty} Cdt} \end{aligned}$$

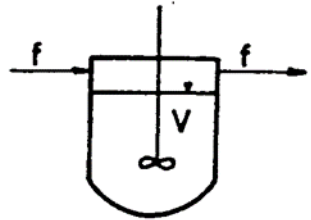
Diszkrét eset:

$$\sigma^2 \cong \frac{\sum_{i=0}^n t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum_{i=0}^n C_i \Delta t_i} - \bar{t}^2 = \frac{\sum_{i=0}^n (t_i - \bar{t})^2 C_i \Delta t_i}{\sum_{i=0}^n C_i \Delta t_i}$$

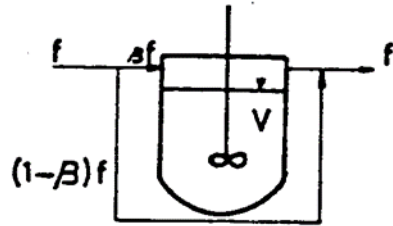
# Alkalmazások

- ◆ E és F függvény  $\rightarrow$  a reaktor ideálistól eltérő viselkedés vizsgálata
- ◆ Elméleti és mért görbék összehasonlítása  $\rightarrow$  következtetés aktuális keveredési viszonyokra
- ◆ Az ideálistól eltérő viselkedés a biokémiai reakciókat is befolyásolja.

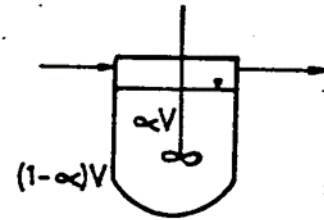
a) **ideális CSTR**



b) CSTR bemenő ~~nyppas~~ szal *bypass*

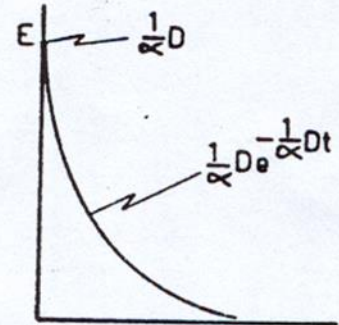
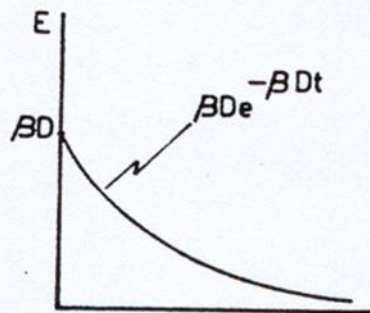
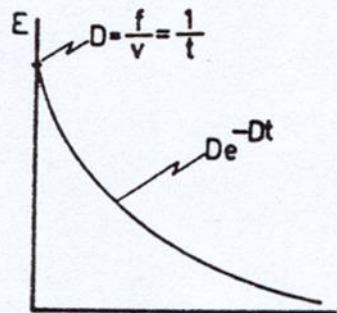
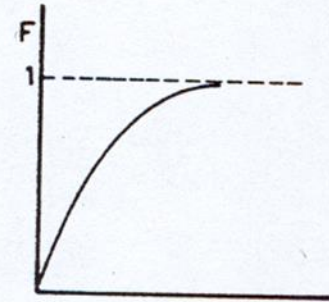
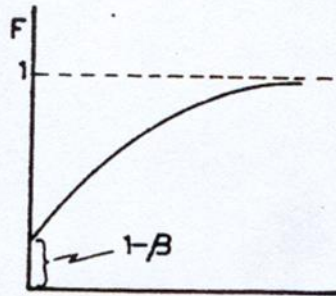
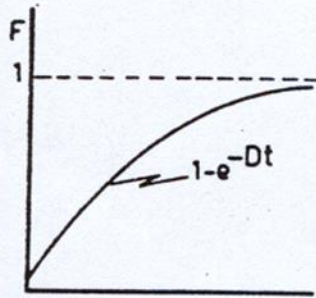


c) CSTR (nem kevert) holt zónával



1-β hányad "nem jut a reaktorba"

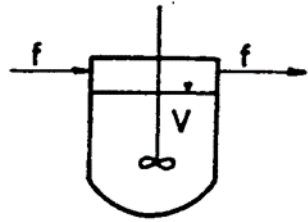
a reaktor 1-α hányada nem kevert



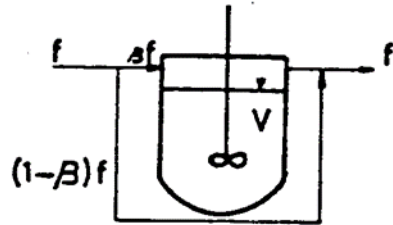
Azonnal megjelenik a tracer a kimenő áramban.

BYPASS

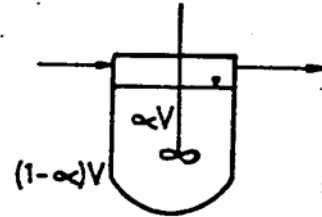
a) ideális CSTR



b) CSTR bemenő szalal ~~hyppas~~ *bypass*

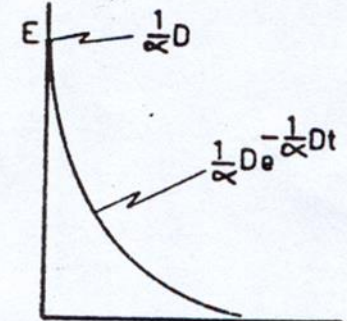
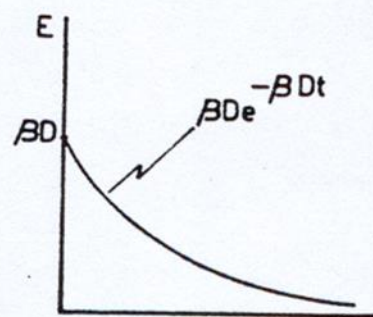
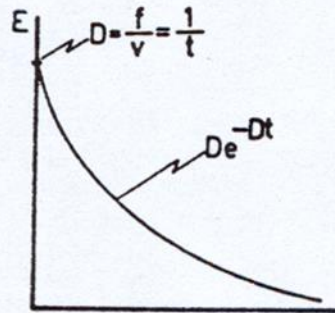
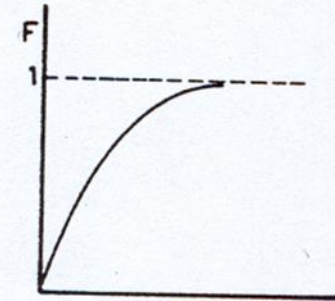
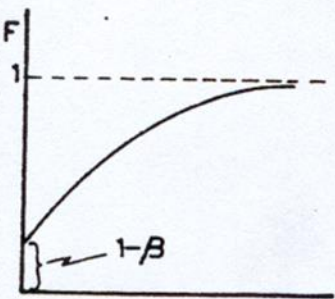
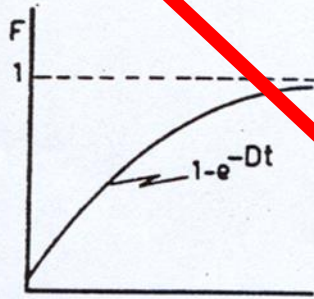


c) CSTR (nem kevert) holt zónával



1-β hányad "nem jut a reaktorba"

a reaktor 1-α hányada nem kevert

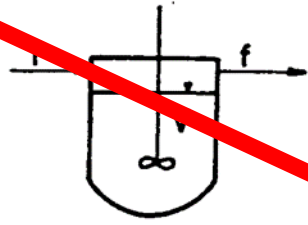


A minta túl gyorsan homogénné válik.

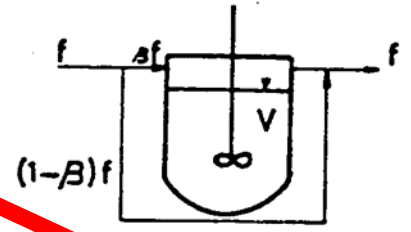


HOLT ZÓNA

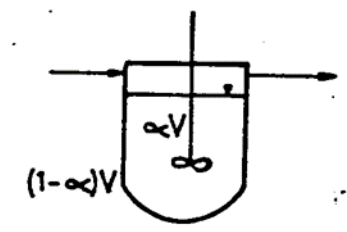
a) ideális CSTR



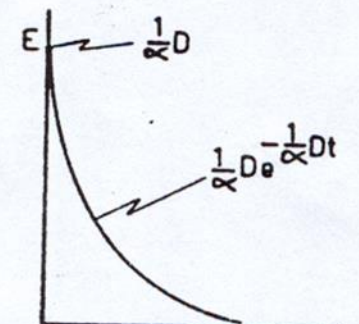
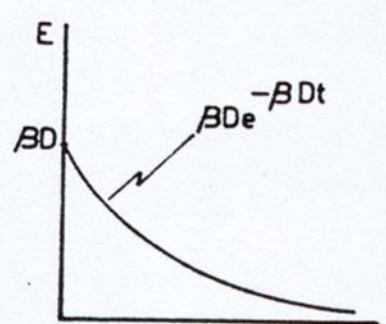
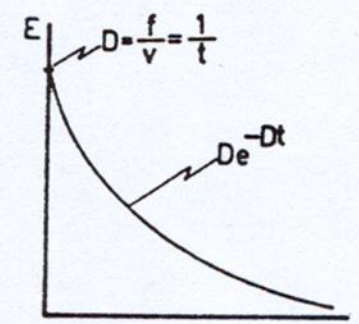
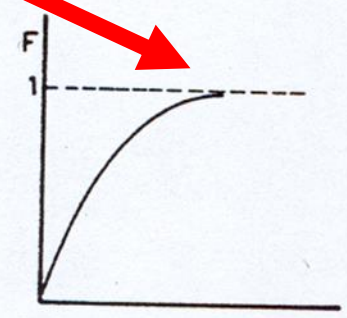
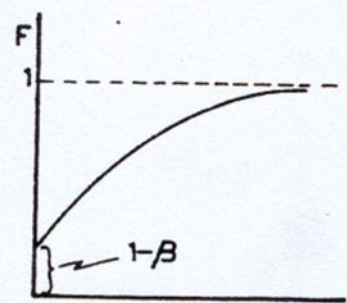
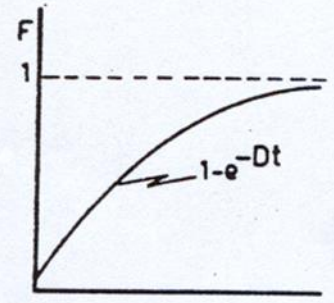
b) CSTR bemenő ~~happas~~ szal *bypass* -



c) CSTR (nem kevert) holt zónával



$1 - \beta$  hányada "nem jut a reaktorba" a reaktor  $1 - \alpha$  hányada nem kevert

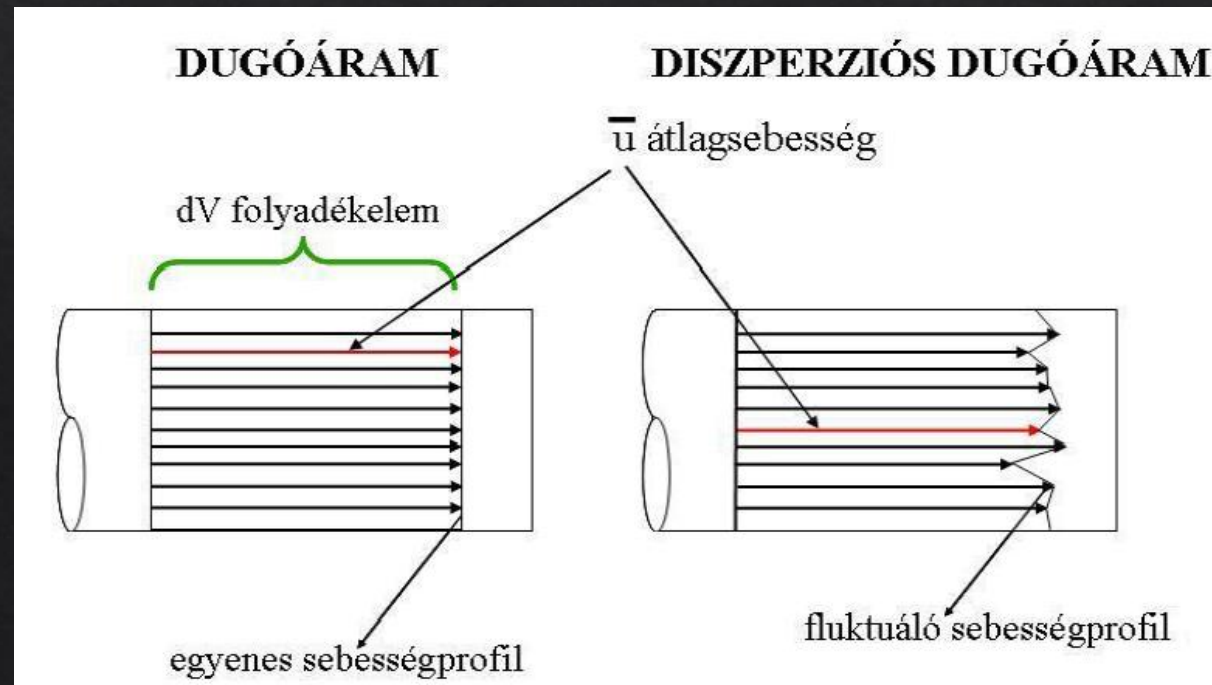


# Mikro- és makrofluidumok

- ◇ **Mikrofluidumok:** szabadon keveredő egyedi molekulákból állnak  
mikro- és makro szinten is lehetséges a tökéletes keveredés
- ◇ **Makrofluidumok:**  $10^{12}$ - $10^{18}$  molekulát tartalmazó csomagocskák vannak jelen ~ sejtek  
ezek egymással soha nem keverednek tökéletesen
  - ◇ Két szélső eset:
    1. Teljes keveredés (*Complete mixedness*)
    2. Teljes szegregáció (*Complete segregation*)  
pl. hősterilizálás esete (sejtek ~ sok szakaszos reaktor)

# Diszperziós modell

- ◆ Ideális dugóáram → szomszédos fluidumelemek között nincs anyagkicserélődés
- ◆ Valóságban van → Áramlás frontvonala nem egyenes
- ◆ Különbözik az egymás mellett haladó fluidumelemek sebessége → AXIÁLIS DISZPERZIÓ
- ◆ Nem írja le a modell → módosítani kell



# Diszperziós modell

- ◆ Fick-törvény molekuláris diffúzióra:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \Psi \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$\Psi$ : diffúziós állandó

- ◆ Axiális diszperzió:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$D$ : axiális diffúziós koefficiens

- ◆ Dimenziómentes modell megalkotása:

$$Z=x/L$$

$$\diamond \Theta = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{t\bar{u}}{L}$$

$$\frac{\partial C}{\partial \Theta} = \left( \frac{D}{\bar{u}L} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} - \frac{\partial C}{\partial Z}$$

reaktor diszperziós száma

Pe :Peclet-szám, ennek a reciproka



# A modell határeseteknek vizsgálata I.

- ◇  $Ha \frac{D}{uL} \rightarrow 0; Pe \rightarrow \infty$  akkor elhanyagolható a visszakeveredés  $\rightarrow$  IDEÁLIS DUGÓÁRAM
- ◇  $Ha \frac{D}{uL} \rightarrow \infty; Pe \rightarrow 0$  akkor nagy a visszakeveredés  $\rightarrow$  TÖKÉLETESEN KEVERT REAKTOR
- ◇  $Pe$  elég nagy  $\rightarrow$

$$C_{\Theta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi\left(\frac{D}{\bar{u}L}\right)}} e^{-\frac{(1-\Theta)^2}{4\left(\frac{D}{\bar{u}L}\right)}}$$

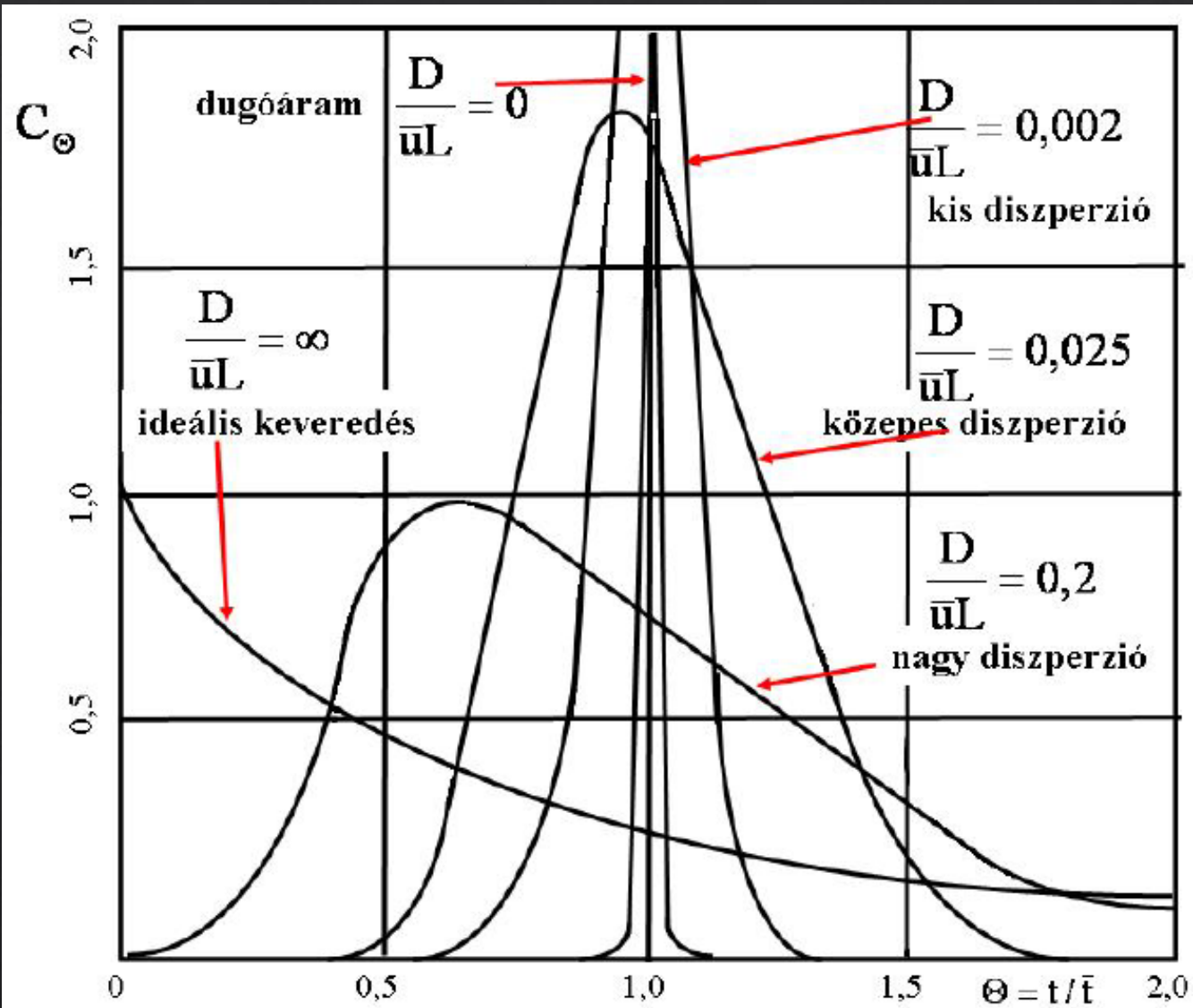
*Gauss-eloszlás*

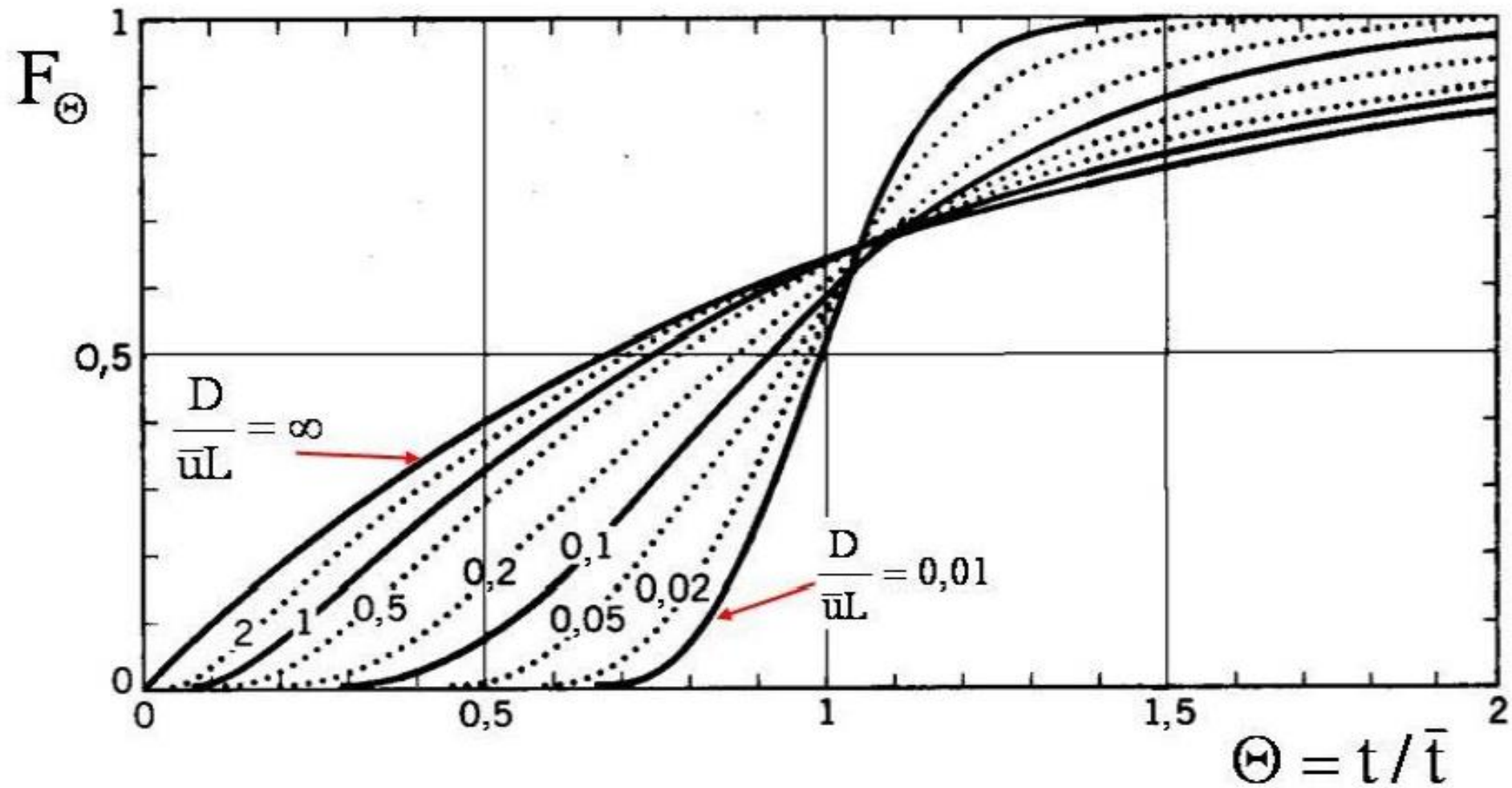
*Középérték:  $\bar{\Theta}_C = \frac{\bar{t}_C}{\bar{t}} = 1$ ; szórásnégyzet:  $\sigma^2 = 2\left(\frac{DL}{\bar{u}^3}\right)$*

# A modell határesetek vizsgálat II.

- ◇ Pe elég kicsi →
- ◇ Várható érték megegyezik
- ◇ Szórásnégyzet:

$$\sigma_{\Theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\Theta^2} = 2 \frac{D}{\bar{u}L} - 2 \left( \frac{D}{\bar{u}L} \right)^2 [1 - e^{-\frac{\bar{u}L}{D}}] = \frac{2}{Pe} \left[ 1 - \frac{1}{Pe} (1 - e^{-Pe}) \right]$$





4.106. ábra: Keveredési viszonyok a  $Pe$  szám függvényében:  $F$ -görbe

# Ideális reaktorkaszád I.

- ◇ Sokszor csőreaktor alkalmazására lenne szükség, de gyakran nem lehetséges.
- ◇ A dugóáramú viselkedést sorba kapcsolt kevert reaktorokkal lehet megvalósítani.
- ◇ A reaktorkaszád-modell akkor használható, ha nem vagyunk távol az ideális dugóáramtól.

- ◇ Dimenziómentes idő tagonként:

$$\Theta_i = \frac{t}{\bar{t}_i}$$

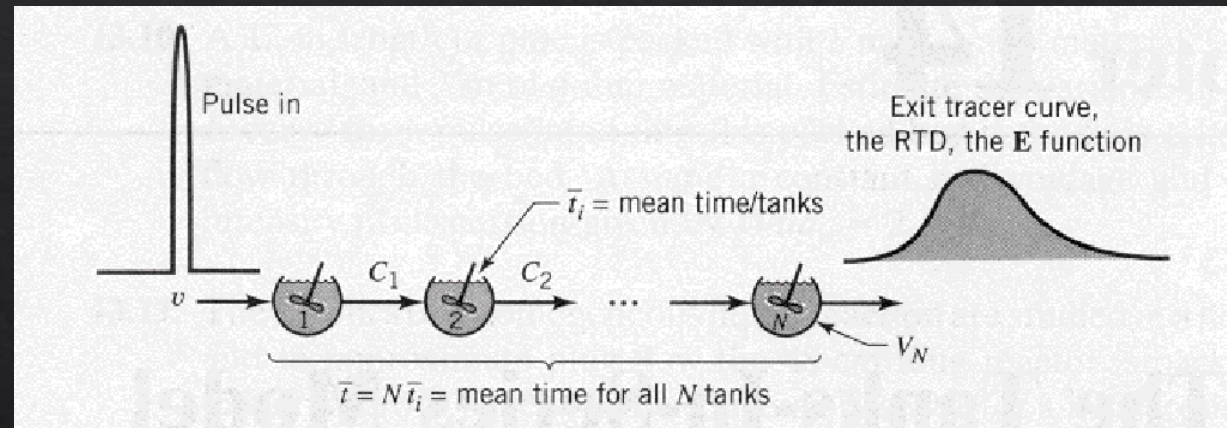
- ◇ Tartózkodási idő a teljes rendszerre:

$$\Theta = \frac{t}{\bar{t}}$$

- ◇  $f$ ,  $V_1$ ,  $C_0$  paraméterek

- ◇ Anyagmérleg:

tracer eltűnésének sebessége = bemenet - kimenet



# Ideális reaktorkaszád II.

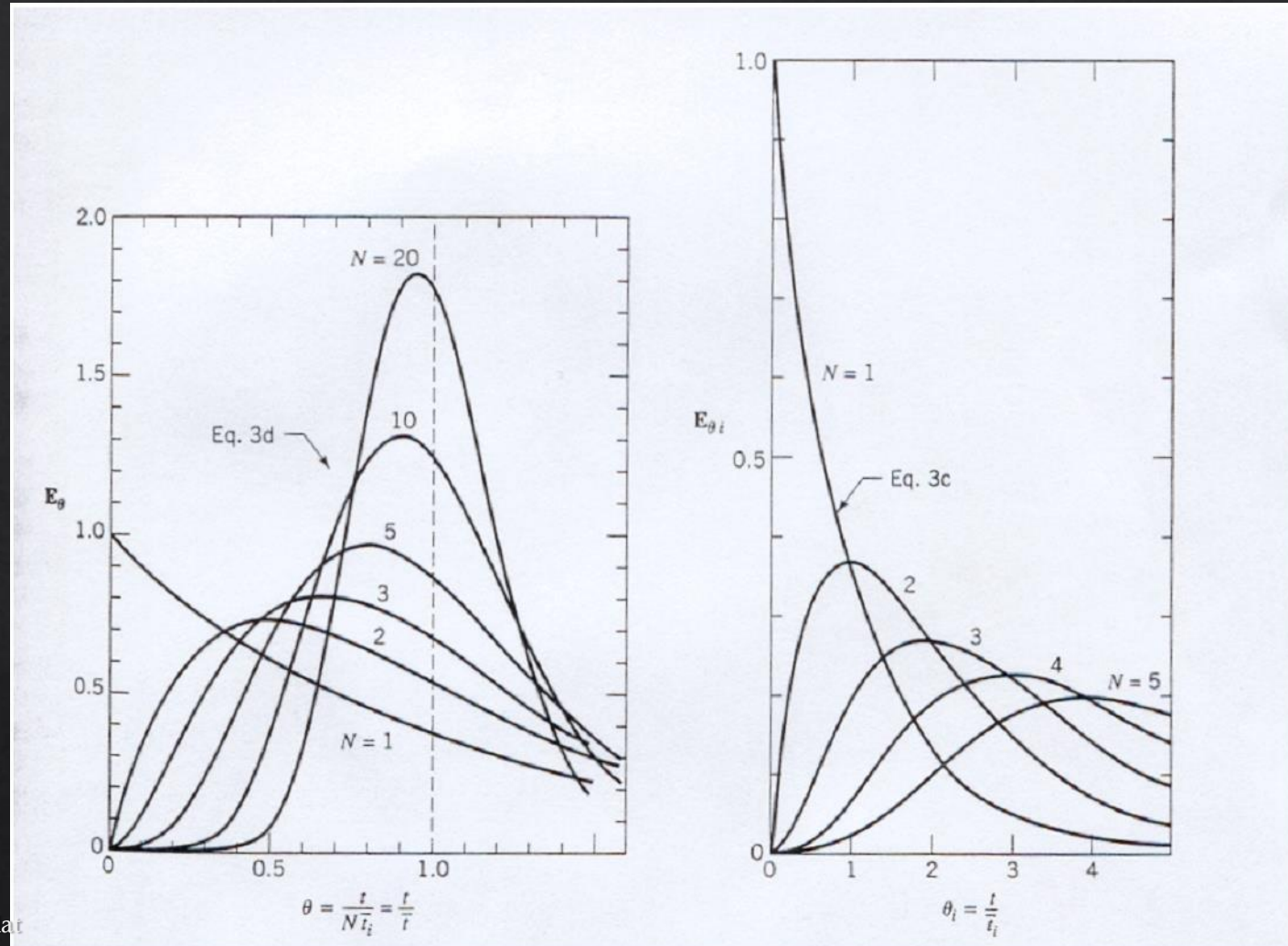
Sűrűségfüggvény:

$$E(t, \bar{t}, N) = E_i(t, \bar{t}_i)^N$$

Nem egyenlő térfogatok esetén:

$$E(t, \bar{t}, N) = E_1(t, \bar{t}_1) \cdot E_2(t, \bar{t}_2) \dots E_N(t, \bar{t}_N)$$

$N$  nő  $\rightarrow$  megközelíti az ideális dugóáramot



Egyenlő térfogatú reaktorokból álló kaszkád tartózkodási idő eloszlás sűrűségfüggvényei

# Források

- ◇ Sevella Béla: Biomérnöki műveletek és folyamatok egyetemi jegyzet 325-335
- ◇ Sevella tanár úr diasora



# Kérdések

1. Hogyan határozhatjuk meg egy folytonos reaktorban a tartózkodásiidő-eloszlás függvényt és sűrűségfüggvényét?
2. Mire használhatjuk fel a tartózkodásiidő-eloszlás függvényt?
3. Mi a különbség a mikro- és makrofluidumok között a keveredés szempontjából?
4. Miért szükséges a dugóáram esetén a diszperzió figyelembevételével módosítani a modellt?
5. Mikor alkalmazható a reaktorkaszád-modell?

Köszönöm a figyelmet!