

# Dugóáramlású és töltött ágyas bioreaktorok

Németh Klaudia  
Forgács Enikő  
2016.04.26.

# Tematika

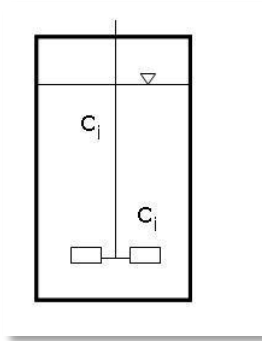
1. Bevezetés
2. A dugóáramú reaktorokról általánosan
3. A töltött ágyas reaktorok
4. Esettanulmányok

# Bevezetés

## Ideális reaktorok csoportosítása

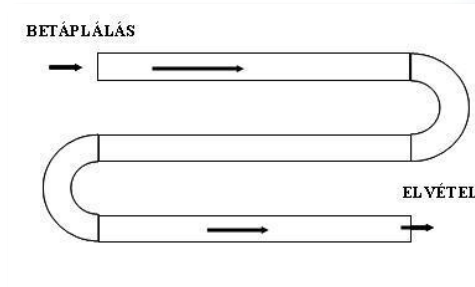
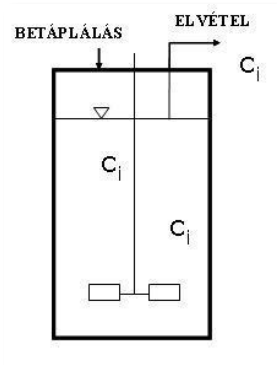
Szakaszos működtetés

Folytonos működtetés

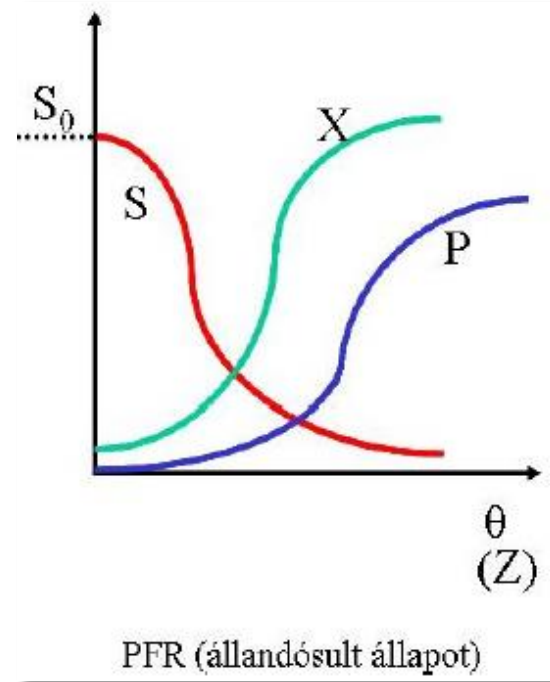
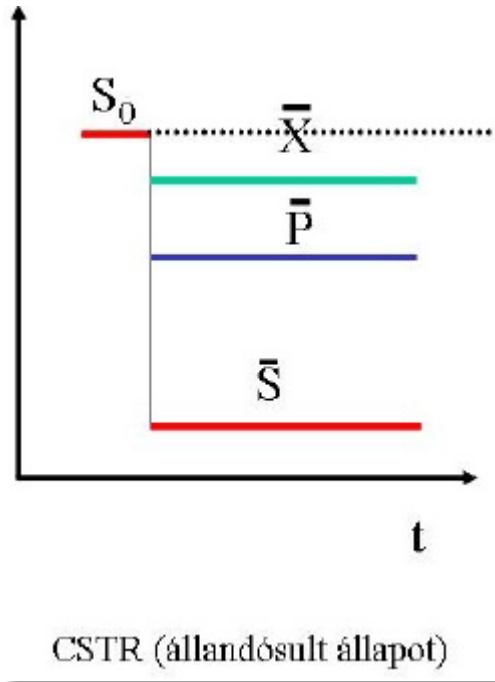


Tökéletesen kevert reaktorok (CSTR)

Dugóáramlású reaktorok (PFR)



# CSTR vs PFR



$S_0$  pillanatszerűen lecsökken  
(előny: szubsztráthinhibíció)

$S_0$  folytonos függvény szerint  
csökken  
(előny: termékinhibíció)

# Dugóáramlású reaktorok (Plugged Flow Bioreactors)

## Előnyök:

- Egyszerű berendezések
  - Jól meghatározott áramlás
  - Nincsenek holt terek
  - SRT: mechanikusan kevert → erős nyíróerők → sejtkárosodás, habzás
- } Könnyen méretnövelhető

## Hátrányok:

- Előállításuk komplikált, főleg aerob rendszereknél, mikor a dugószerű áramlás és levegőztetés egyidejű megvalósítása nehézkes
- pH és hőmérséklet konstans értéken tartása bonyolult
- Kimosódott mikrobákat pótolni/ visszatáplálni kell

# Dugóáramlású reaktorok (Plugged Flow Bioreactors)

Jól alkalmazhatók:

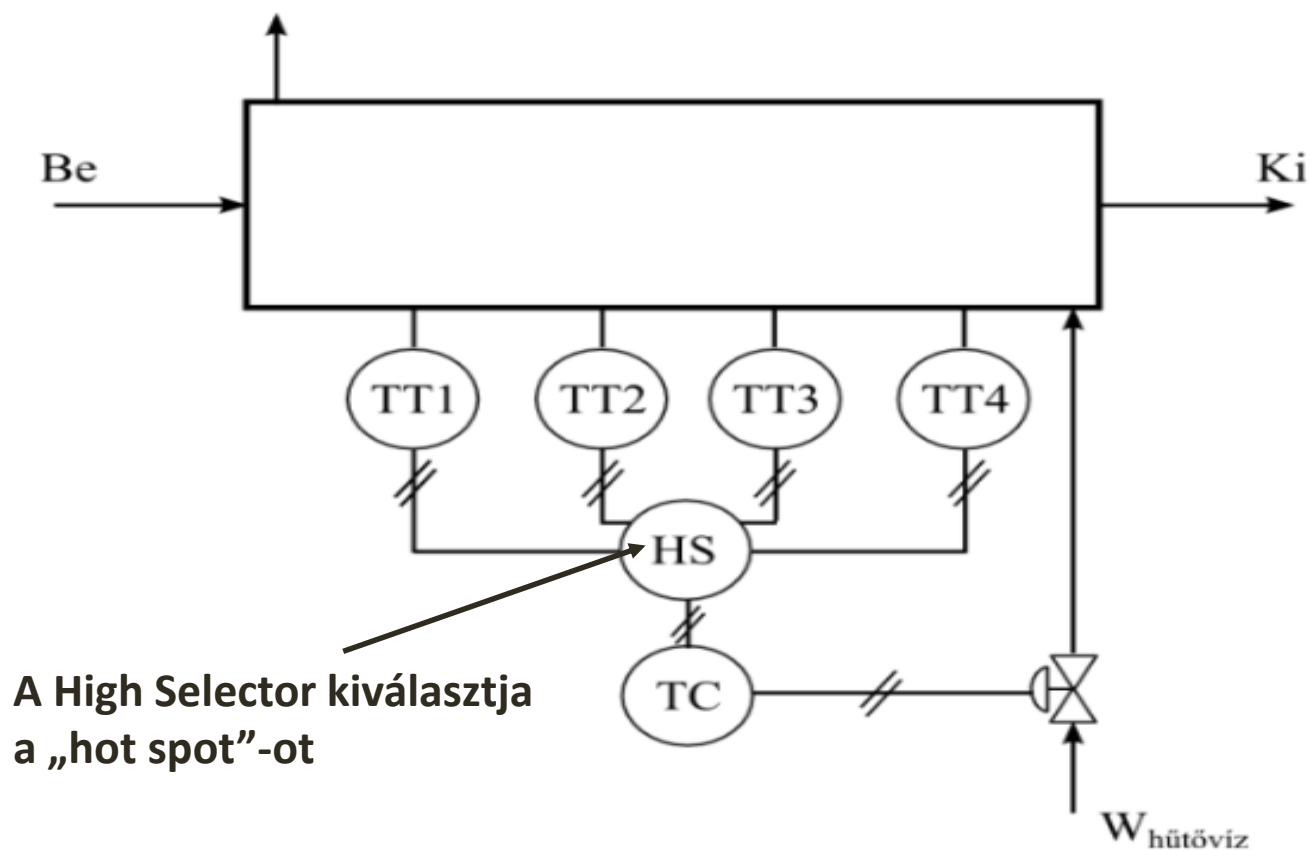
- Rögzített enzimes, SCP, antibiotikum, poliszacharid előállítás
- Szennyvíztisztítási eljárások
- Komplex folyamatok (inhibíció, katabolit represszió)
- Pl. algaelőállítás:



# Hőmérséklet szabályozás

- Folyamatos üzemű reaktorok, ha van a reakcióban hőváltozás → jellemző a hőmérsékletprofil kialakulása
- Szabályozás:
  - Exoterm reakció: max hőmérséklet = hot spot
  - Endoterm reakció: min hőmérséklet = cold spot
  - PI hot spot alapján akarjuk a reaktor hűtését szabályozni
    - Szabályozott folyamat: reaktor
    - Szabályozott jellemző: maximális hőmérséklet
    - Módosított jellemző: hűtőközeg árama
    - Több helyen mérjük a hőmérsékletet, és speciális szelektorral kiválasztjuk a max értéket: High Selector (HS) (Low Selector: LS)

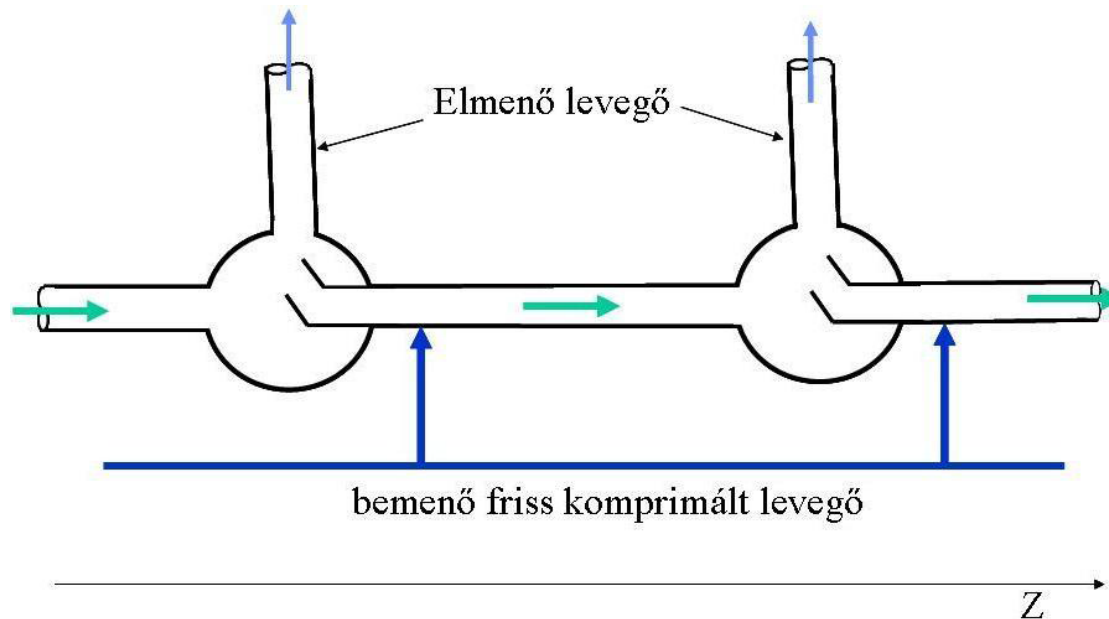
# Hőmérséklet szabályozás





# Gázok bevezetése

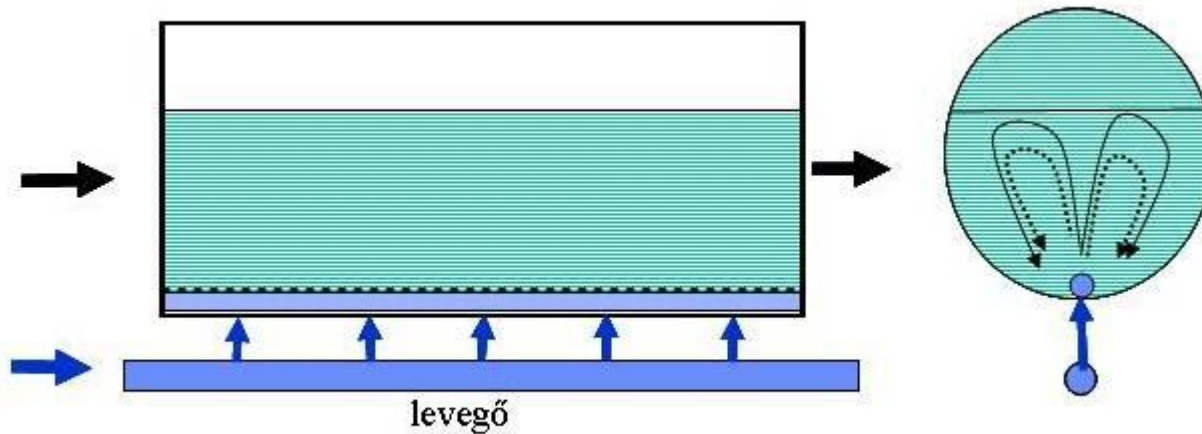
## 1. Gázvezetőkkel ellátott levegőztetett csőreaktor



- Levegő/  $O_2$  bevezetés: Injektorok, venturi csövek
- $CO_2$ , maradék  $O_2$  eltávolítás: légeltávolító szivattyúk
- Turbulens áramlást a csőrendszer hossza biztosítja

# Gázok bevezetése

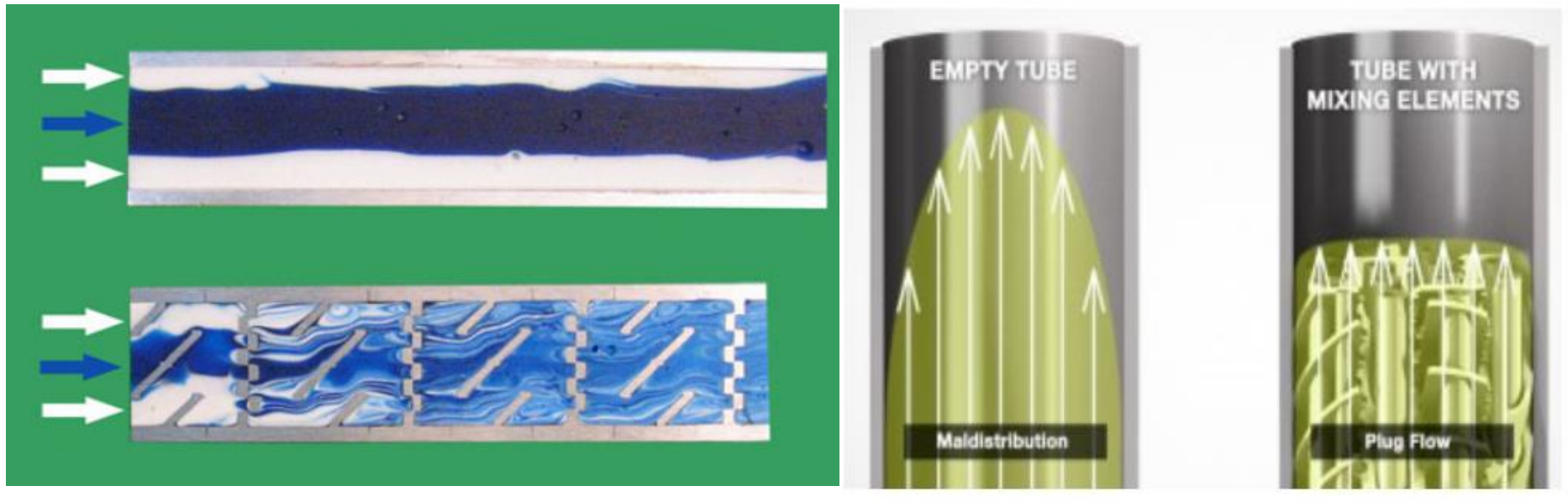
## 2. Pneumatikusan levegőztetett vízszintes csőreaktor



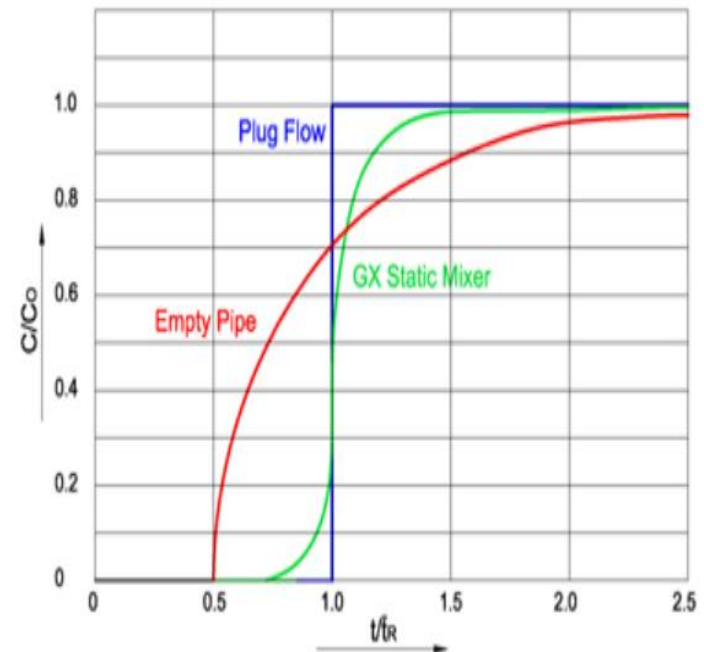
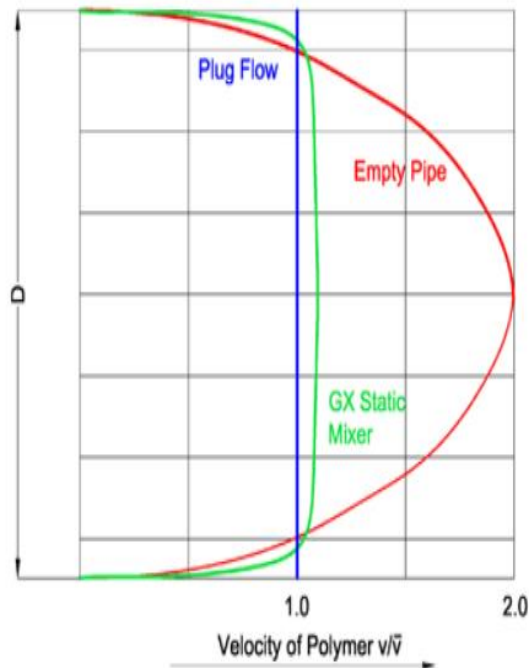
- Nincsenek benne mechanikus alkatrészek
- A levegőt vagy oxigént a reaktor teljes hosszában adagolják (oxigénlimit elkerülhető)
- Biológiai szennyvíztisztítás

# Statikus keverőelemek

- Statikus keverőelemek beépítésével megteremthető a radiális keveredés, és közel plug-flow áramlás biztosítható



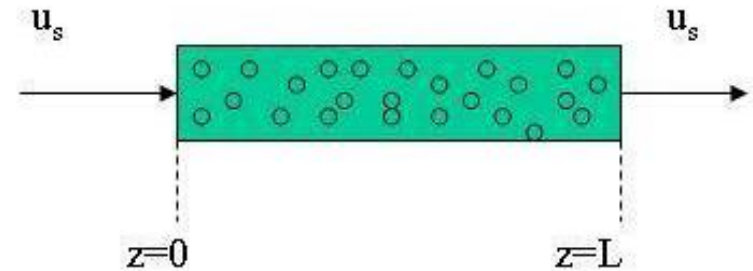
# Statikus keverőelemek



# Dugóáramlású reaktorok



**Töltet nélküli csőreaktor  
(PFR)**



**Töltött ágyas csőreaktor  
(PBR)**

# Töltött ágyas csőreaktorok

- PBR = Packed Bed Reactor
- Akalmazási területek
  - Rögzített enzimes technológiák
    - Enzim drága és homogén rendszerben csak egyszer használható fel, szennyezi a terméket
    - Heterogén fázisú enzimes reakció során, újra felhasználható és folytonos rendszerekben is alkalmazhatóak
    - Gyakran megnöveli az enzim stabilitását a hőmérséklettel vagy a pH hatásával szemben
- De! Enzimirögzítés drága, gyakran csökkenti az enzimaktivitást, csökken a szubsztrát hozzáférése az enzimhez (külső és belső anyagátadás gátolt)
- Fermentációs rendszerek: szennyvíztisztítás

- **Áramlási sebesség**
  - **Fluidum tengely menti áramlási sebessége függ:**
    - Töltetminőség
    - Töltetszemcsék közötti tér
  - **Töltött csőre felírható hézagterfogati tényező ( $\epsilon$ ):**

$$\epsilon = \frac{\text{szabad reaktortérfogat}}{\text{teljes reaktortérfogat}} = 1 - \frac{\text{teljes részecsketérfogat}}{\text{teljes reaktortérfogat}}$$

- **Jellemző értékei:**
  - Immobilizált sejtek, gömbölyű hordozók: 0,4
  - Oldott enzim: 1
- **Hézagközötti fluidumsebesség ( $v_i$ ):**

$$v_i = \frac{F}{\epsilon \cdot \frac{V}{L}}$$

- **Tartózkodási idő (T):**

- $V/F =$  lineáris lésebesség

$$\tau = \varepsilon \cdot \frac{V}{F}$$

- **Oszlop reakciósebessége** [Felt.: M.Menten kinetika; rögz. enzimes rsz.]

$$v = \frac{v_{\max} \cdot S_i}{K_m + S_i},$$

- $\sigma$  szubsztrátkonverzió és  $V_{\max}$  ebben az esetben

$$\delta = \frac{S_0 - S}{S_0}$$

$$V_{\max} = \frac{v_{\max} (1 - \varepsilon)}{\varepsilon}$$

- **Adott konverzió eléréséhez szükséges tartózkodási idő:**

$$\frac{1}{D} = \frac{\delta(K_M + S_0(1 - \delta))}{V_{\max}(1 - \delta)}$$



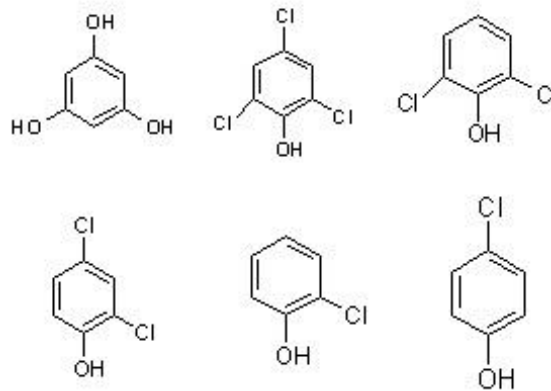
- A reaktortípus előnyei:
  - Magas konverziós arány
  - A katalizátor és a reaktánsok többszöri érintkezése -> több termék
  - Egyszerű beépíthetőség
  - Építés, üzemeltetés és karbantartási költségek alacsonyabbak
  - Magas nyomású, hőmérsékletű üzemeltetés hatékonysága
- Hátrányai
  - Hőmérséklet nehezen kontrolálható
  - Hőcsere nehezen kivitelezhető
  - Hőmérséklet gradiens kialakulása a reaktorban
  - Katalizátor nehéz cseréje
  - Lehetséges a mellékreakciók előfordulása

# Esettanulmány:

## Klórfenolok biológiai degradációjának megvalósítása töltött ágyas reaktorokban

- **Kutatás célja**: Klórfenolok eltávolításának hatékonysága töltöttágyas reaktorokban két különböző hőmérsékleten
- **Klórfenol**: egy vagy több klórt tartalmaznak kovalens kötésben a fenolgyűrűhöz kapcsolódva:

- 2-klórfenol (2CP)
- 4-klórfenol (4CP)
- 2,4-diklórfenol (DCP)
- 2,4,6-triklórfenol (TCP)



- Minél több szubsztituált klór atom annál nehezebb a degradációja -> anaerob bomlás következtében kevésbé klórozott fenolok jönnek létre, jobb vízdoldhatóságuk révén szennyezik a talajvizet

- Vegyülethez adaptálódott mikroorganizmusok képesek lebontani anaerob és aerob körülmények között
  - Azonban 4,2-8 mg/l koncentrációban már gátolja a baktériumok aktivitását (190 mg/l is mértek talajvízben)
  - hűvösebb körülmények (hidegebb éghajlaton) korlátozzák a biológiai tisztítás hatékonyságát, azonban a talajvíz fűtése nem lehetséges
- A klórfenolok sikeres tisztítása bizonyított, alacsonyabb hőmérsékleten fluidizált ágyas és air-lift biofilm reaktorokban
  - Ezzel szemben a töltött ágyas reaktorok előnye:
    - Jobb anyagátadás
    - Könnyebb és olcsóbb működtetés (nincs szükség a hordozók szuszpendálására, adott folyadékáramlási sebesség fenntartására)
  - Hátrány:
    - $O_2$  és szubsztrát adagolás limitált
    - Eltömődés veszélye

- **Kísérlet célja:** klórfenolok eltávolításának a hatékonyságának vizsgálata
  - két különböző hőmérsékletű azonos technológiával működtetett töltött ágyas reaktorban:
    - Reaktor A (RA): 14 °C
    - Reaktor B (RB): 23 +/- 1 °C (szobahőmérséklet)
  - Változó szennyezőanyag terhelő arány mellett (pollutant loading rate PLR)
  - Változó levegőztetés mellett
- **Felhasznált anyagok:**
  - Tápanyag, médium: ásványi savak, 2CP, 4CP, DCP, TCP, klórfenolokat mint szénforrásként
  - Sejtkultúra: a tápoldattal, két hőmérsékleten külön-külön 4 hónapon keresztül adaptálták a sejtkultúrákat

- **Reaktor kialakítása:**

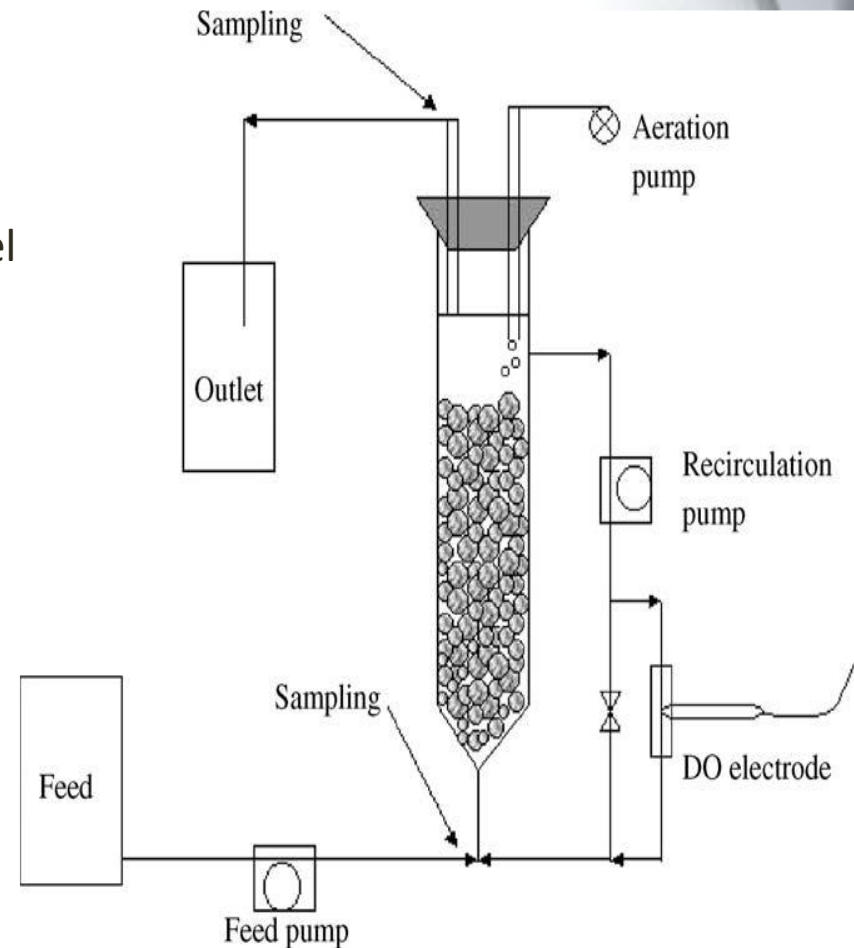
- Reaktor: hengeres, üveg ( $\varnothing = 4.5$  cm, magasság= 22 cm)
- Töltet: habosított üvegagyak (40%-os porozitás)
- Folyadék hordozók fölötti szinten tartása: reaktor tetejétől induló a kívánt folyadékszint felületéig tartó üvegcső
  - Többlet folyadék és levegő eltávolítása

- **Recirkuláció:**

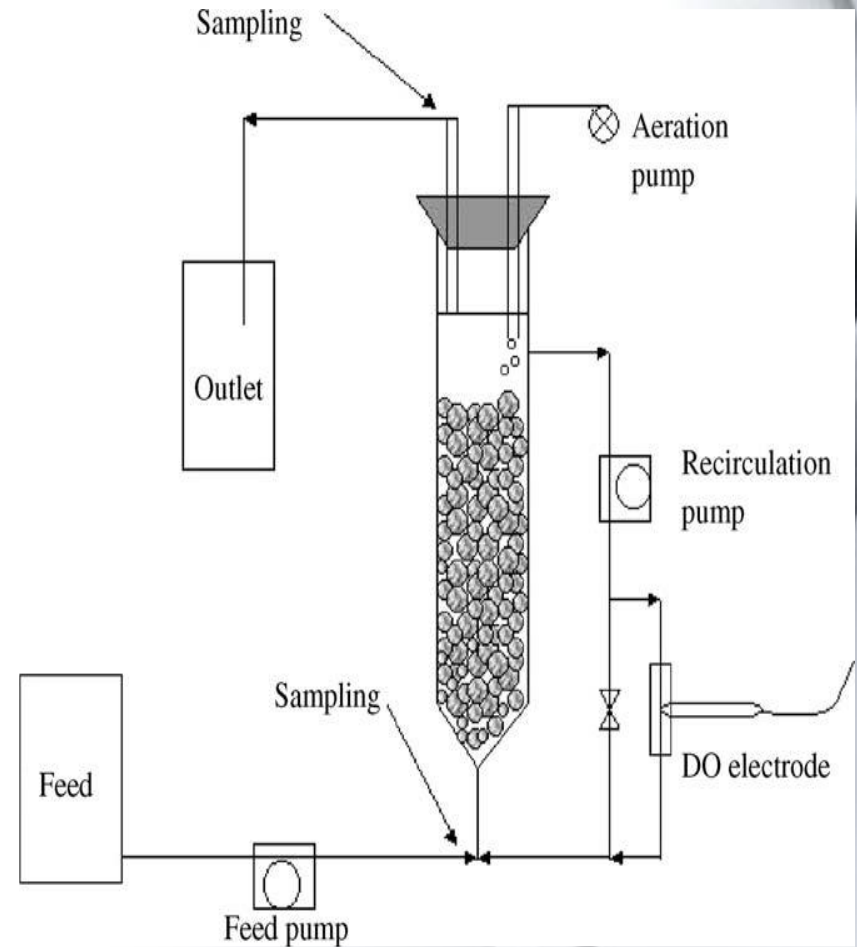
- A reaktor tetejétől az aljáig egy külső kör és perisztaltikus pumpa segítségével (0,04-0,042 l/min = 3,1 perc alatti teljes folyadéktömeg recirk.)
- Bypass cella melyben oxigén szenzorral DO mérés

- **Tápoldat injektálás:**

- Recirkulációs körben perisztaltikus pumpa segítségével



- Levegőztetés:
  - Buborékoltatott nedves levegő bevezetés a folyadékba, a hordozó ágyak fölé
  - Mértékének szabályozása digitális átfolyás mérővel
- Hőmérsékletszabályozás:
  - Reaktor köpenyterébe áramoltatott hideg víz
- Összekötő csővezetékek anyaga:
  - Rozsdamentes acél, üveg



- Kísérlet menete:
  - Előzetes mérések
    - 1) Levegőztetés nélküli tápoldattal töltés 10h HRT-vel
      - A klórfenolok megfelelő koncentrációjának eléréséig monitorozás
    - 2) Levegőztetés rákapcsolása (120ml/perc) a rendszerre (60mg/l\*h PLR mellett)
      - Klórfenolok párolgásának mérése érdekében
  - Inokulum és folytonos tápoldat betáplálása:
    - Különböző PLR és levegőztetési sebesség függvényében mérték a be- és elfolyó klórfenol mennyiséget a folyadékban UVHPLC-vel
    - Az egyes mérési kondíciók megváltoztatása után steady state elérése, majd minták vétele a be és elfolyóból
      - ágyakból 60mg/l-nél vettek 2-2-t

# Eredmények és értelmezésük

- Levegőztetési teszt

- Betáplálás követően 80 h elteltével stabilizálódott a be és elfolyó klórfenol koncentráció, majd levegőztetésre kapcsolták:

Klórfenol típusa	RA (14°C)	RA (14°C) Aerob	RB (23+/- 1°C)	RB (23+/- 1°C) Aerob
2CP [mg]	16,6	12,7%	15,4	12,8%
4CP [mg]	30,2	6,4%	13,2	5,4%
DCP [mg]	35,9	1,5%	27,6	9,4%
TCP [mg]	29	9,4%	21,5	1,3%

- Adatsorból látható, hogy levegőztetésre egyértelműen csökkent a klórfenolok mennyisége, melynek feltehetően a levegőztetés okozta aeroszolba kerülő klórfenol mennyiség miatt van



## • Bioreaktorok teljesítménye

- RB bioreaktor első két értékénél (első napokban) teljes klórfenol mentesítést figyeltek meg, míg az A reaktor esetén ez csak nagyobb PLR-nél emelkedett
- Emelve a PLR értéket mindkét reaktorban, azonos levegőztetés mellett:
  - 11mg/lh PLR-től emelve, csökken a teljes klórfenol eltávolító hatékonyság
  - Érdekesség: 40 mg/lh PLR értéknél a B reaktor eltávolító kapacitása szignifikánsan kisebb lett az A reaktor értékénél
  - 81 mg/lh PLR értéknél már láthatóan hasonlóan rossz hatékonysággal dolgozott a két reaktor

*H. Zilouei et al./Process Biochemistry 41 (2006) 1083–1089*

1085

Table 1  
Performance of the RA and RB bioreactors under different operating conditions

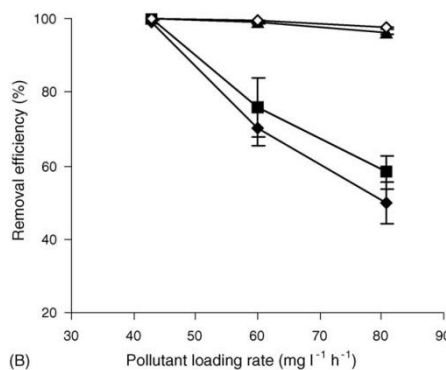
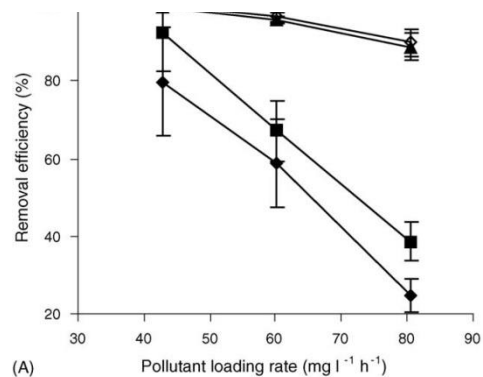
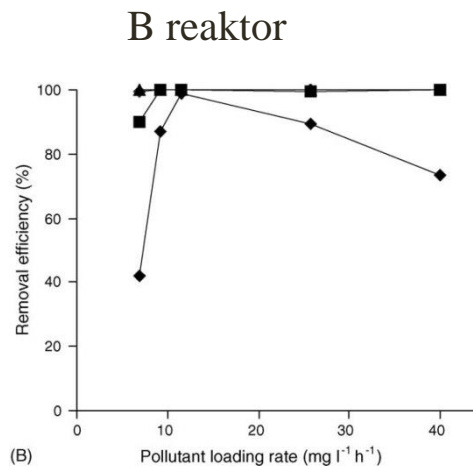
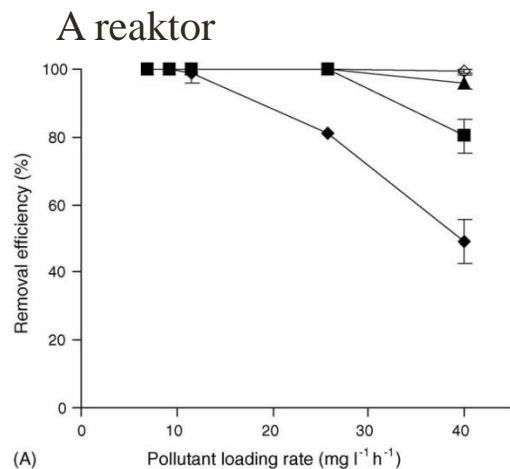
HRT <sup>a</sup>	IC <sup>b</sup>	PLR <sup>c</sup>	Aeration rate <sup>d</sup>	Reactor RA (14 °C)				Reactor RB (23 ± 1 °C)			
				RE <sup>e</sup>	RR <sup>f</sup>	EC <sup>g</sup>	DO <sup>h</sup>	RE <sup>e</sup>	RR <sup>f</sup>	EC <sup>g</sup>	DO <sup>h</sup>
14.4	100	7	60	78.6	5.46	21.4	2.5	100	6.94	ND <sup>i</sup>	4.3
10.8	100	9	60	95.4	8.83	4.6	2.4	100	9.26	ND <sup>i</sup>	
8.7	100	11	60	99.7	11.5	0.3	0.7	99.7	11.5	0.3	2.3
3.9	100	26	60	96.9	24.9	3.1	0.7	94.9	24.3	5.1	1.2
2.5	100	40	60	92.8	37.1	7.2	0.6	80.0	32.0	20	0.8
2.5	107	43	90	92.7	39.7	7.8	1.2	99.7	42.7	0.3	2.0
2.5	150	60	90	78.8	47.2	31.8	1.6	85.6	51.4	21.6	1.3
1.86	150	81	90	59.9	48.3	60.2	2.0	75.2	60.6	37.2	1.0

Table 1  
Performance of the RA and RB bioreactors under different operating conditions

HRT <sup>a</sup>	IC <sup>b</sup>	PLR <sup>c</sup>	Aeration rate <sup>d</sup>	Reactor RA (14 °C)				Reactor RB (23 ± 1 °C)			
				RE <sup>e</sup>	RR <sup>f</sup>	EC <sup>g</sup>	DO <sup>h</sup>	RE <sup>e</sup>	RR <sup>f</sup>	EC <sup>g</sup>	DO <sup>h</sup>
14.4	100	7	60	78.6	5.46	21.4	2.5	100	6.94	ND <sup>i</sup>	4.3
10.8	100	9	60	95.4	8.83	4.6	2.4	100	9.26	ND <sup>i</sup>	
8.7	100	11	60	99.7	11.5	0.3	0.7	99.7	11.5	0.3	2.3
3.9	100	26	60	96.9	24.9	3.1	0.7	94.9	24.3	5.1	1.2
2.5	100	40	60	92.8	37.1	7.2	0.6	80.0	32.0	20	0.8
2.5	107	43	90	92.7	39.7	7.8	1.2	99.7	42.7	0.3	2.0
2.5	150	60	90	78.8	47.2	31.8	1.6	85.6	51.4	21.6	1.3
1.86	150	81	90	59.9	48.3	60.2	2.0	75.2	60.6	37.2	1.0

- Emelve a levegőztetési sebességet (60->90 ml/perc) :
  - javított a B reaktor RE értékén (PLR:43 mg/l\*h)
  - A reaktor RE értéke változatlan maradt
- Oldott oxigén (DO) értéke egyre csökkent a szennyezőanyag tartalom (PLR) növekedésével, mely megmagyarázza:
  - miért csökkent az eltávolítási hatékonyság, hiszen a sejt kultúra kevesebb oldott oxigént kapott
  - Az A reaktor hatékonyságát, hiszen alacsonyabb hőmérsékleten az oxigén oldhatósága nagyobb
  - Utóbbi bizonyította, hogy emelkedett a levegőztetési sebességet (60-> 90 ml/perc) a B reaktor klórfenol eltávolításának hatékonysága (RE) emelkedése követte, ugyanez az esemény az A reaktorban nem okozott változást

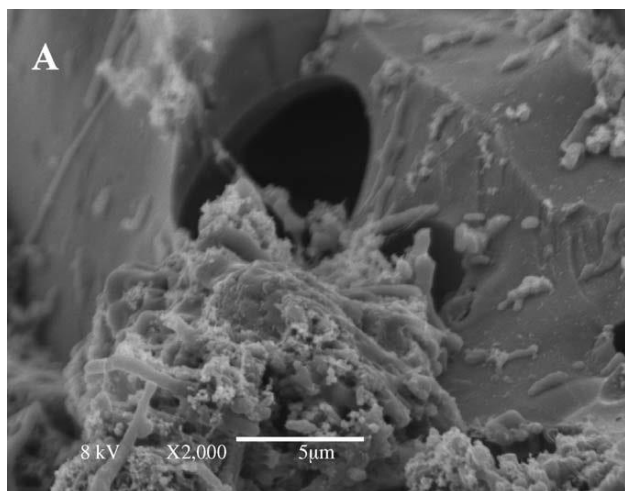
- Az alábbi grafikonon láthatóak az egyes komponensek bemeneti koncentrációihoz tartozó eltávolítási hatékonyság



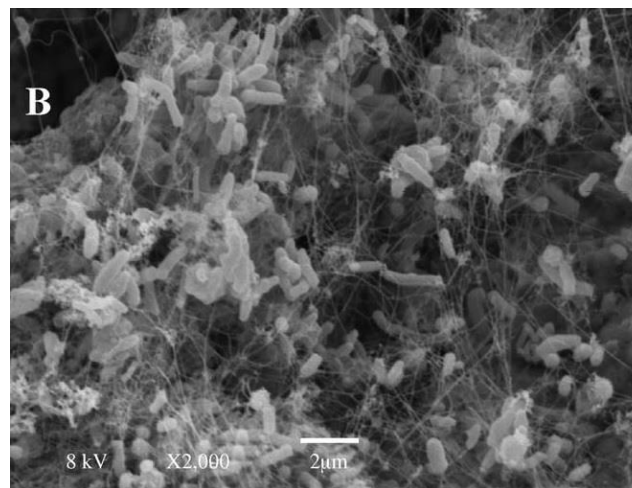
- Az egyes fenolok eltávolítási hatékonyságának sorrendje:
  - A reaktor: DCP > TCP > 4CP > 2CP
  - B reaktor: DCP > TCP = 4CP > 2CP

- Biofilm analízise

- Mindegyik reaktorból 2-2 hordozót emeltek ki, azon található biofilm szerkezeti vizsgálatát elektronmikroszkóppal végezték
- Eredmény
  - Felületen sűrű kolonizáció
  - Hordozó polimer mátrixában apróbb sűrű, beágyazott baktérium rétegek
  - Baktériumok alakja, mérete:
    - Átlagosan 2-4  $\mu\text{m}$  hosszú rúd alakú baktériumok
    - Kevesebb coccus alakú
  - Falnövekedés nem volt szignifikáns



RB (23 +/- 1 C) bioreaktor



RA (14 C) bioreaktor

# Megbeszélés

- Biodegradáció igazolása
  - Levegőztetés okozta elpárolgásból adódó szennyezőanyag koncentráció csökkenés jóval kevesebb az inokulum betáplálása előtt, mint után
  - Mikrobiális növekedés igazolt mikroszkopikus képekkel
- A (14 °C-os) reaktor hatékonysága
  - A reaktor kezdeti alacsonyabb hatékonysága magyarázható azzal a ténnyel, miszerint alacsonyabb hőfokon lassabb a biomassa/ mikróbák szaporodási sebessége -> emiatt a nagyobb levegőztetési sebesség sem javított a reaktor RE értékein (25. dia)
- Oxigén forrás igénye
  - Kikapcsolása az elfolyóbeli klórfenol koncentráció emelkedéssel járt
- Nitrogén forrás igénye
  - amónia használata nitrát helyett
  - nem befolyásolta a reagens az eltávolítás hatékonyságát
  - Azonban nem alkalmazhatóak nitrát redukáló körülmények

- Eltávolított szennyezőanyagok

- DCP és TCP teljesen eltávolították, míg 4CP és különösen 2CP magasabb PLR értékeknél kezdett el kioldódni
- Meglepő tény ezek alapján, hogy a klóratomok csökkenésével, csökkent a biodegradálhatóság is, hiszen a köztudatban pont az ellenkezője ismert, okát még nem derítették ki
  - Egyéb klórfenolokkal foglalkozó tanulmányok általában tiszta sejtekkel, egy sejtvonallal és egy meghatározott szubsztráttal végzik a biodegradációt, míg itt kevert sejt kultúrával dolgozunk, mely esetleg interferenciát okozhat (kompetíció)
  - *Pseudomonas aeruginosa* esetében tiszta törzssel csak a 4CP és 3CP, míg egy kevert kolóniával a 4CP-t távolította el nagy részben és ez utóbbi esetben más útvonalon is történt a bontás

# Konklúzió

- Eddigi legjobb klórfenol eltávolító kapacitás elérése a fluidizált és air-lift reaktorokkal elért eredményekhez képest
  - 11mg/l\*h értéknél 99%-os eltávolítás mindkét hőmérsékleten, közel 0,1 mg/l elfolyó klórfenol koncentráció
  - Nem tapasztaltak eltömődést, csatornák kialakulását a kísérlet ideje alatt (1 év)
  - Nem szükséges a magas áramlási sebesség fenntartása -> gazdaságosabb működtetés

Table 2  
Performance of various bioreactors for chlorophenols biodegradation

Bioreactor <sup>a</sup>	Pollutants	IC <sup>b</sup>	HRT <sup>c</sup>	Temperature <sup>d</sup>	RE <sup>e</sup>	EC <sup>f</sup>	RR <sup>g</sup>	Reference
FB	TCP, TeCP <sup>h</sup> , PCP	41–50	–	4–16	100	0	–	[10]
FB	TCP, TeCP <sup>h</sup> , PCP	44–55	0.75	Room	99	<1	62	[24]
FB	TCP, TeCP <sup>h</sup> , PCP	44–50	5	5–7	99.9	<0.01	30.8	[25]
GAC-FB	4CP	20–50	0.28	Room	69–100	0–14	120	[26]
AL	2,4DCP	7–102	6.25	Room	84–100	0–17	16.4	[27] <sup>i</sup>
PB	4CP	20	2.8	30	100	0	7.2	[23] <sup>i</sup>
PB	2CP, 4CP, DCP, TCP	107	2.5	Room	99.7	<0.3	43	This study
PB	2CP, 4CP, DCP, TCP	107	2.5	14	92.7	7.5	36.5	This study

# Esettanulmány 2

**Ivóvíz denitrifikáció töltött ágyas reaktorban: a szénforrás és a reaktorméret hatása**

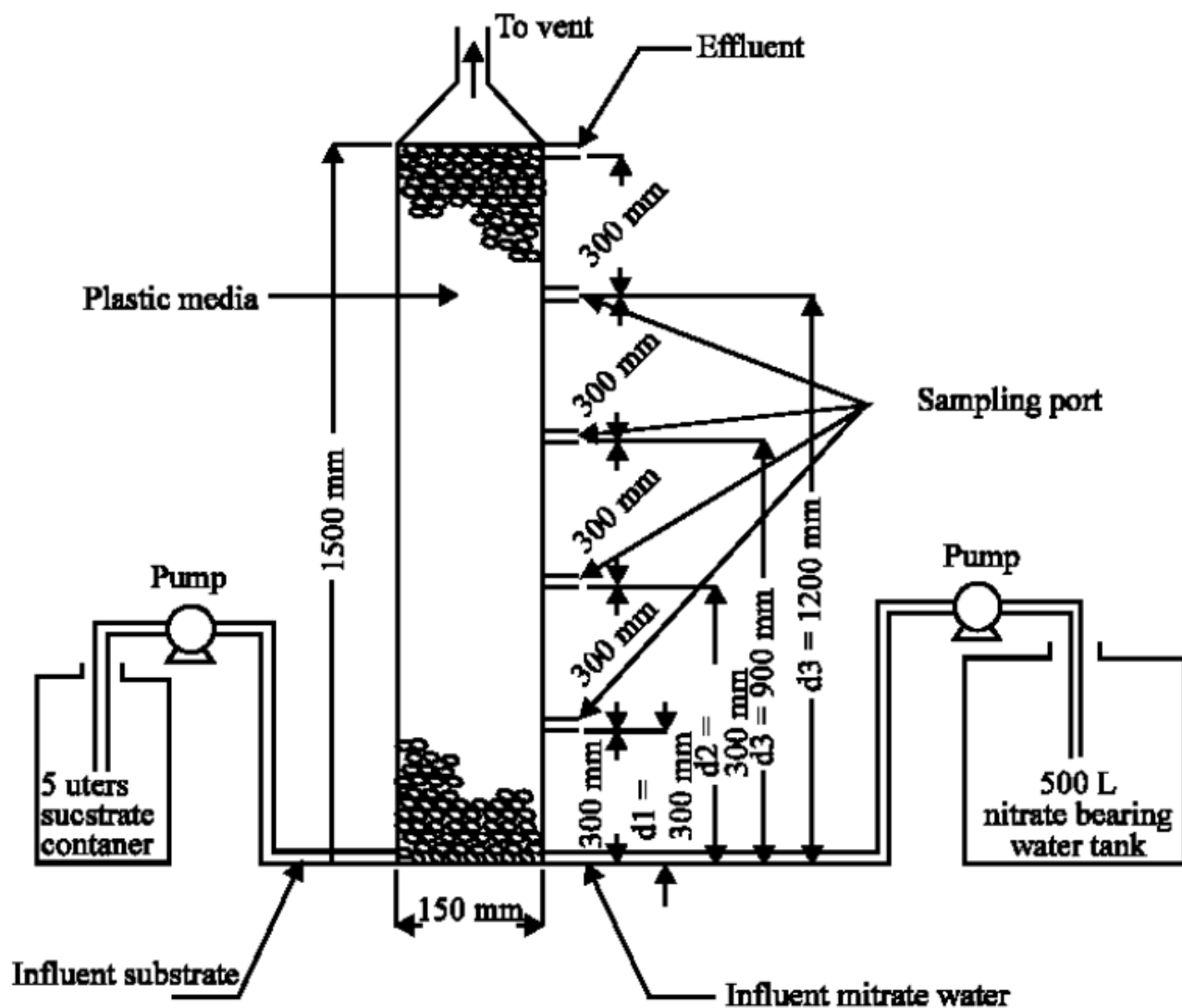
- **Nitrát eltávolítás kiemelten fontos (csecsemő nitrátmérgezés, karcinogén nitrózamin)**
- **Előírások: European Economic Community: 50 mg/l  
Environmental Protection Agency: 44 mg/l**
- **Eltávolításra több módszer**
  - Fizikai, kémiai (reverz ozmózis, kémiai redukálás, elektrodialízis)
  - Biológiai – ez bizonyul előnyösebbnek
- **Denitrifikációs hatékonyságot több tényező befolyásolja**
  - C-forrás
  - Reaktor típus
  - Reaktor méret



# Kísérleti paraméterek

- **Anoxikus upflow töltött-ágyas reaktorban való nitráteltávolítás ivóvízből**
  - **Denitrifikáció hatékonyságának vizsgálata**
    - 4 féle C-forráson (csapvízben oldva)
      - Etanol
      - Ecetsav
      - Dextróz
      - Hangyasav
    - Optimális reaktor magasság keresése (300, 600, 900, 1200 mm)
- **Minta: Csapvíz+ Na-nitrát- 200mg/l, DO lecsökk. N<sub>2</sub> gáz átbuborékolatásával (anaerob kondíciók fenntartásához)**
- **Beoltás: 4 l aktív biomassza szennyvíztelepről**

# A reaktor elrendezése



# Analitikai mérések

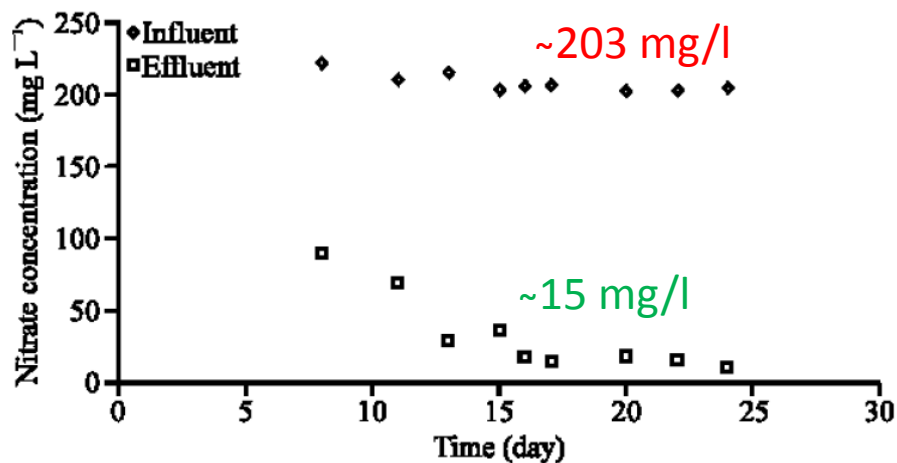
- Mintavétel steady-state beállta után
- Befolyó, elfolyó + 300, 600, 900, 1200 mm

Table 1: Parameters analyzed

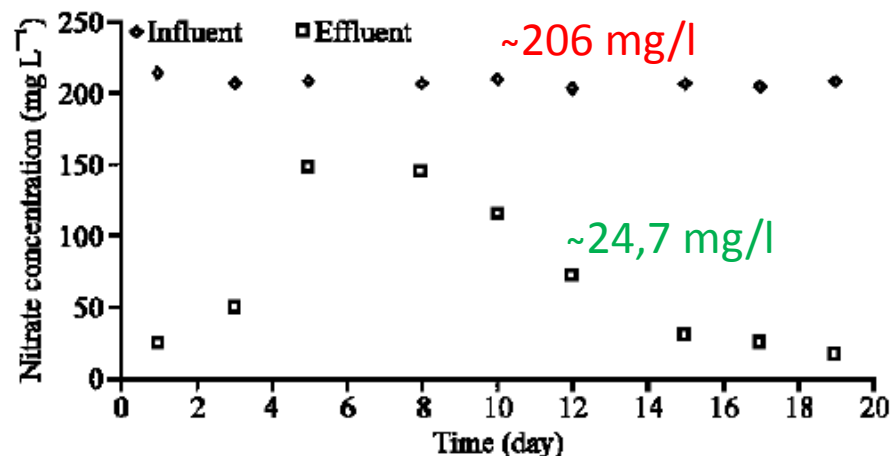
S. No.	Parameter	Influent	Effluent
1	Dissolved Oxygen (DO)	Yes	Yes
2	pH	Yes	Yes
3	Alkalinity	Yes	Yes
4	Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )	Yes	Yes
5	Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ )	No	Yes
6	Turbidity	Yes	Yes
7	Chemical Oxygen Demand (COD)	Yes	Yes

# Denitrifikációs hatékonyság

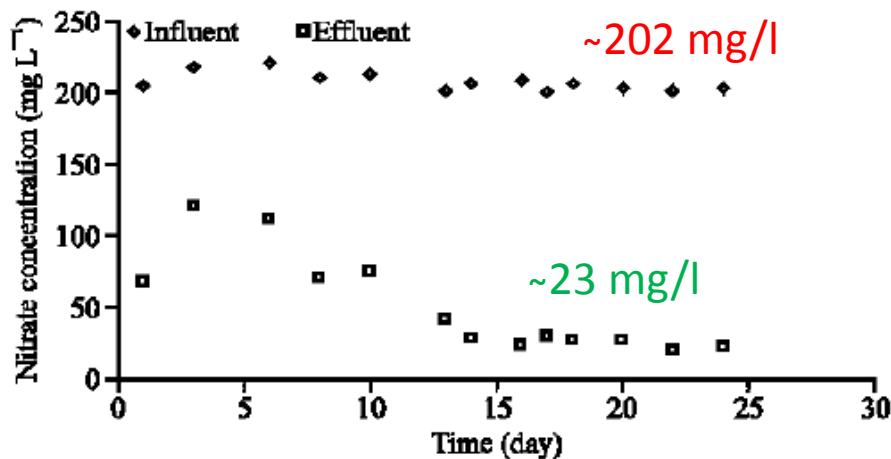
## Etanol



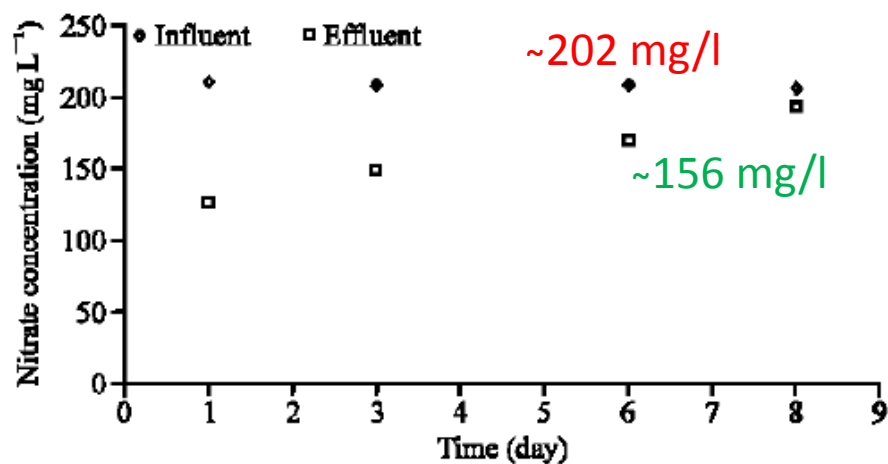
## Ecetsav



## Dextróz



## Hangyasav



# További eredmények

- **Elfolyó nitrit: 0,002-0,45 mg/l (felhalmozódás nem történt)**
- **COD (kémiai oxigén igény)**
  - 3,7-4,7 → 25,3-34,7 mg/l
  - Dextróz esetén a legalacsonyabb
- **pH**
  - Etanol: 8 → 8,8
  - Ecetsav: 7,5 → 6,47
  - Dextróz 7,5 → 7,37
- **Alkalinitás (lúgosság, a víz savakra vonatkoztatott pufferkapacitása)**
  - 30-33 mg/l → 125-147 mg/l
  - Dextróz esetén a legmagasabb, etanol esetén a legalacsonyabb
- **Turbiditás- négyszeresre nőtt**
- **DO (oldott oxigén)**
  - 3,3 → 4,4 mg/l

# A reaktor optimális magassága

- **Költségek csökkentése érdekében- minimális reaktor méret**
  - Milyen magas legyen a reaktor a határérték eléréséhez
- **Etanol**
  - 1500 mm (elfolyó): 15 mg/l
  - 300 mm: 145 mg/l
- **Ecetsav**
  - 1500 mm (elfolyó): 25 mg/l
  - 300 mm: 120 mg/l

# Eredmények összefoglalása

- **Határértékek hangyasav kivételével megvalósultak**
- **A denitrifikáció etanol esetében a legjobb**
  - **De! COD magas (ha ivóvízről van szó, ezt muszáj csökkenteni)**
  - **pH-t lúgos irányba tolja**
- **Nincs nitritfelhalmozódás**
- **Turbiditás csökkentése: homokszűrő reaktor utáni beépítése**
- **Ideális minimális reaktormagasság: 1500 mm**

# Források

- B. Sevelle, L. Karaffa, 4.6. Bioreaktorok. In: Biomérnöki műveletek és folyamatok. Typotex, Budapest, 2011: 325-360.
- P. Mizsey, Folyamatirányítási rendszerek, 2011
- <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/Reactors/PFR/PFR.html>
- <http://flowlink.nl/en/isothermal-plug-flow-reactors/>
- <http://www.stamixco-usa.com/plug-flow-reactors>
- H.Zilouei, B. Guieysse, B. Mattiasson, Biological degradation of chlorophenols in packed-bed bioreactors using mixed bacterial consortia, Process Biochemistry 41 (2006) 1083–1089.
- <http://enfo.agt.bme.hu/drupal/keptar/1631>
- Magram, S. F. (2010). Drinking Water Denitrification in a Packed Bed Anoxic Reactor: Effect of Carbon Source and Reactor Depth



Köszönjük a figyelmet!

# Kérdés

- 1) Hogyan tudná azonosítani az ideális reaktorokat?
- 2) Mi a fő különbség az STR és a PFR között?
- 3) Milyen előnyei és hátrányai vannak a dugóáramlású reaktoroknak?
- 4) Milyen tényező(k) befolyásolják az áramlási sebességet töltött ágyas csőreaktorok esetén?
- 5) Milyen előnyeit(2) és hátrányait(2) ismeri a töltött ágyas reaktoroknak?