



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

A környezetvédelem alapjai

Dr. Jobbágy Andrea
c. egyetemi tanár

A szennyvíztisztítás célja és alapvető technológiái

Témakörök

- I. A biológiai bonthatóság fogalma és környezetvédelmi jelentősége
- II. A biodegradációt befolyásoló tényezők
- III. A biodegradáció kinetikája
- IV. A szennyvíz lebomlása a csatornarendszerben, bűzképződés és -megelőzés
- V. Szennyvíztisztítási technológiák

I. A biológiai bonthatóság fogalma és környezetvédelmi jelentősége

Mi a szennyvíz?

- **Used water - használt víz**
- Wastewater - hulladék víz
- Abwasser - kilépő víz

Fekáliás szennyvíz



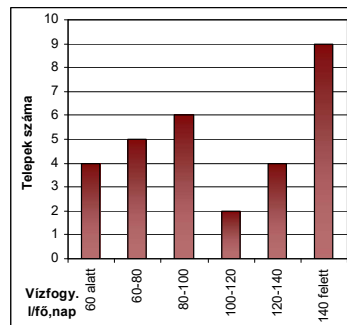
Kommunális szennyvizek eredete



Kommunális szennyvizek eredete



A vízfogyasztásban nagy különbségek vannak



Ipari szennyvíz



„Érzékeny” befogadó



Nem érzékeny befogadó



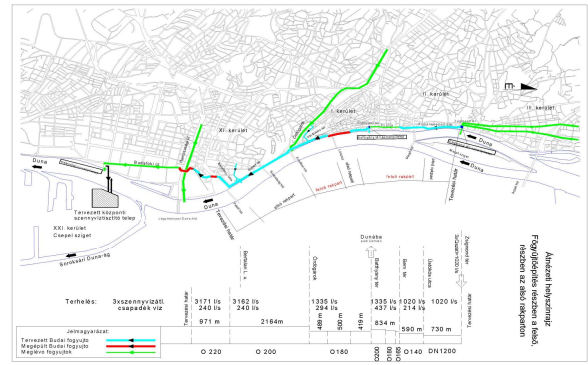
Szabad kiömlő a befogadón



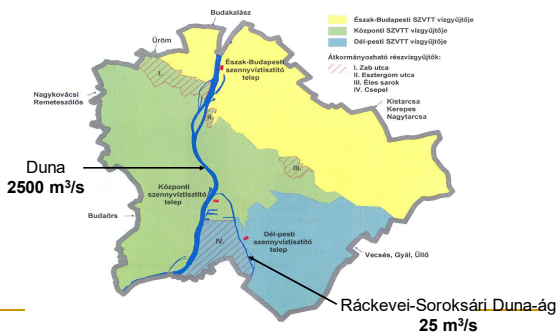
Szabad kiömlő a befogadón



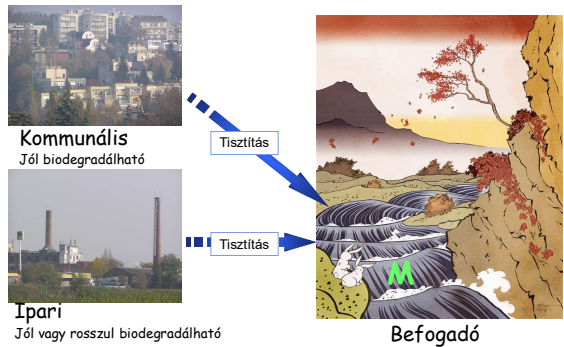
A budai főgyűjtő



A tisztítótelepek vízgyűjtő területei



Biodegradáció jelentősége a környezetben



Biodegradálható: mikroorganizmusok által bontható

Biodegradáció jelentősége a környezetben



Rajna habzott az '50-es évek végén

Biodegradáció jelentősége a környezetben

Vegyü üzemek a Rajna mentén

50-es évek végén



Basel: Sandoz, Ciba, Geigy (jelenleg Novartis), Hoffmann-La Roche (gyógyszer- és vegyszergyárak)

Karlsruhe: Németország legnagyobb olajfinomítója

Mannheim: Boehringer Mannheim (jelenleg Roche; gyógyszer-diagnosztika), Fuchs Petrolub AG (kenőanyag gyár)

Ludwigshafen: BASF (Badische Anilin- und Soda-Fabrik; vegyi gyár)

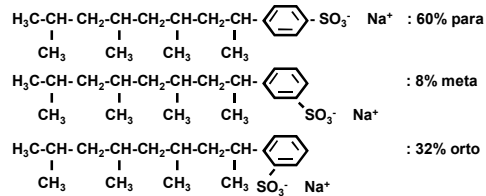
Höchst: Hoechst AG (később Aventis), IG Farben (gyógyszergyárak)

Leverkusen: Bayer AG (gyógyszergyár)

Biodegradáció jelentősége a környezetben

A habzó anyag:

- Anionaktív detergens: TPBS (tetrapropilén-benzol-szulfonsav)



Biodegradáció jelentősége a környezetben

1962. Detergens törvény, NSZK.

- Megtiltja a biológiailag nehezen bontható anionaktív detergensnek forgalomba hozatalát.
- Mérési metodika (szakaszos, folytonos)
- Analitikai módszer (MBAS)

Biológiai bonthatóság:

„Biodegradation means the biological transformation of an organic chemical to another form, no extent is implied.”

C. P. Leslie Grady Jr.

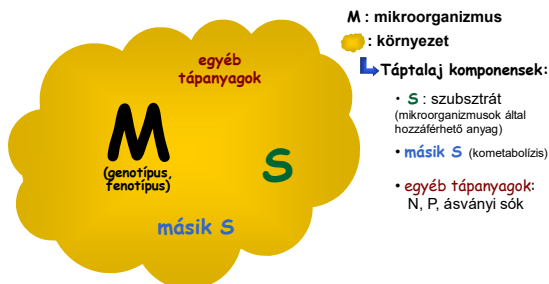
Biodegradáció jelentősége a környezetben

Gyakorlat számára leginkább felhasználható definíciók:

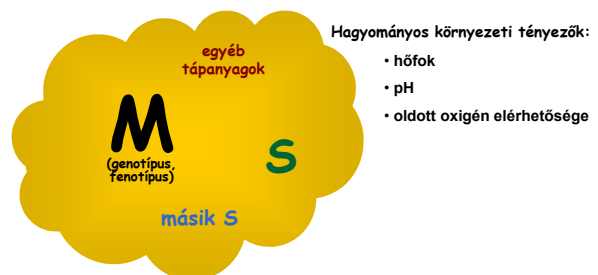
- Mineralizáció: eredménye CO_2 , H_2O , szerves anyagok (pl.: ammónia) és elszaporodott biomassza (oldott szerves szén nem marad)
Elsősorban „biogén” anyagok
- Elfogadható bonthatóság:
Az anyag elveszíti környezetre káros hatását (pl.: habzás, mérgező tulajdonság)

II. A biodegradációt befolyásoló tényezők

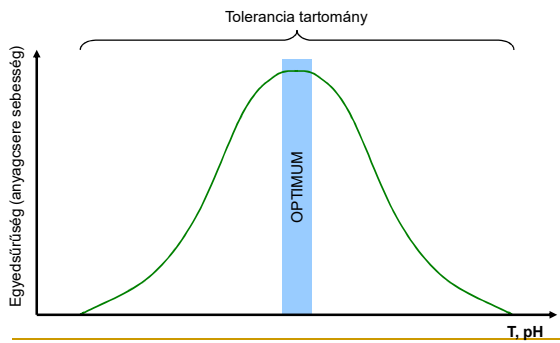
A biológiai bonthatóságot befolyásoló tényezők



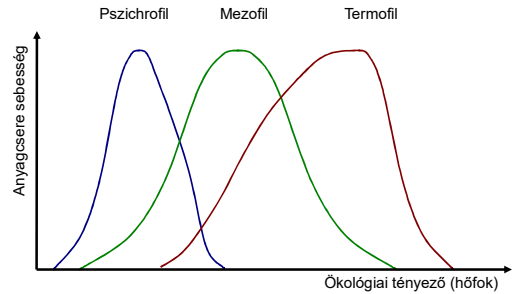
A biológiai bonthatóságot befolyásoló tényezők



A hőfok és a pH hatása



Mikroorganizmus típusok anyagcserejének hőfokfüggése

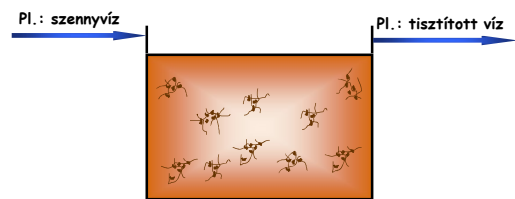


Környezet oldott oxigén elérhetőség szerint

- **Aerob:** oxigén megfelelő mennyiségben elérhető
- **Anoxikus:** oxigén nincs, de van NO_3^- és/vagy NO_2^-
- **Anaerob:** oxigén nincs, NO_3^- és NO_2^- nincs, de lehet SO_4^{2-}

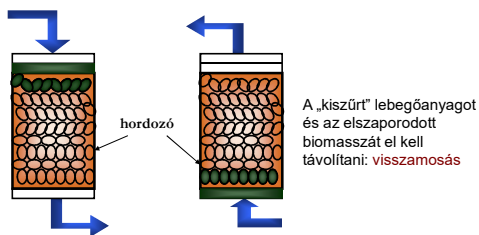
Reaktor kialakítás – önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

- Mikroorganizmusok szuszpendálva
 : iszappehely akár $\geq 1000 \mu\text{m}$, : baktérium $0,5 - 5 \mu\text{m}$



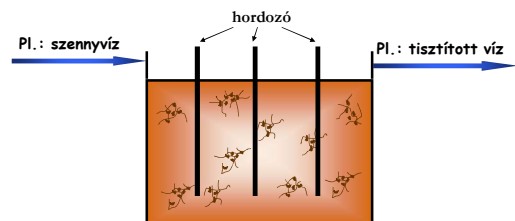
Reaktor kialakítás – önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

- Mikroorganizmusok biofilmben



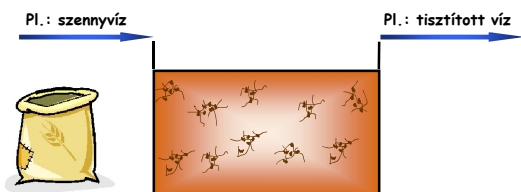
Reaktor kialakítás – önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

- Diszperz- biofilm rendszerek (fixen beépített hordozó)

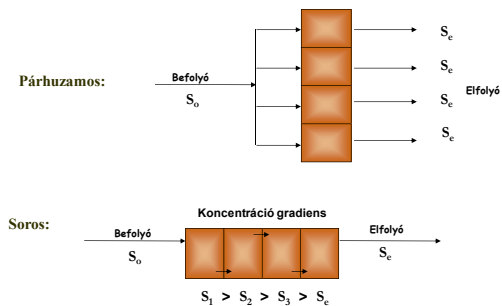


Reaktor kialakítás – önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

- Diszperz- biofilm rendszerek (lebegő hordozó)



Reaktor elrendezés – tagolt vagy tagolatlan reaktorok



III. A biodegradáció kinetikája

A biodegradáció kinetikája

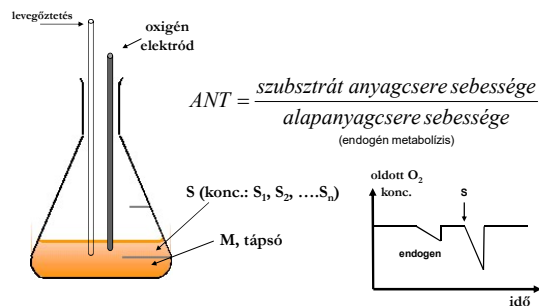
Szennyezőanyag lebontás:

Szubsztrát (C,H,O, esetleg N) + szerves anyagok M →
többlet biomassa + CO_2 + H_2O + anyagcsere termékek

Megfelelő környezetben

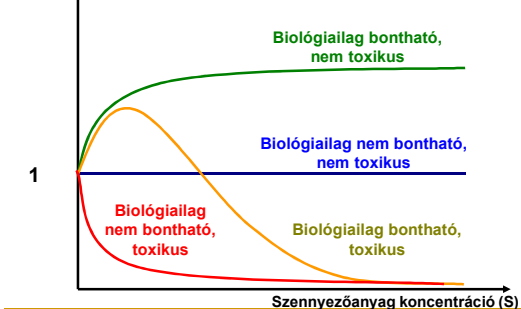
Biodegradáció koncentráció függése

- ANT – Anyagcsere sebesség Növelő Tényező



A biodegradáció kinetikája

- ANT – Anyagcsere sebesség Növelő Tényező



Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

$$\frac{dx}{dt} = \mu \cdot x$$

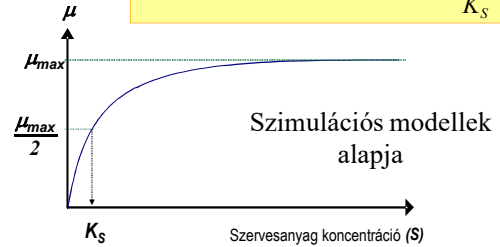
ahol: x – mikroorganizmusok koncentrációja [g/l]
 μ – fajlagos szaporodási (növekedési) sebesség [d⁻¹]

Fajlagos szaporodási sebesség:
$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S}$$

ahol: μ_{\max} – maximális fajlagos szaporodási sebesség [d⁻¹]
 S – szubsztrát koncentráció [mg/l]
 K_S – féltelítési együttható [mg/l]

Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

Szaporodási sebesség:
$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S}$$



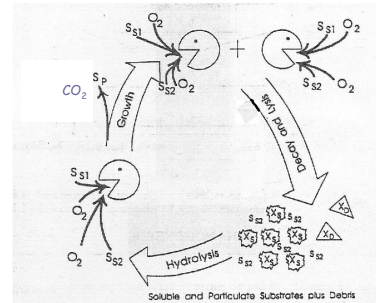
Többlet biomassza keletkezése

$$\frac{\Delta x}{\Delta S} = -Y_{x/S} \quad (\text{függ a reakciótól})$$

Ahol:

Δx : keletkező biomassza mennyisége
 ΔS : eliminált szubsztrát mennyisége
 $Y_{x/S}$: hozam (függ: C-forrás, mikroorganizmus, körülmények)

Iszapstabilizáció



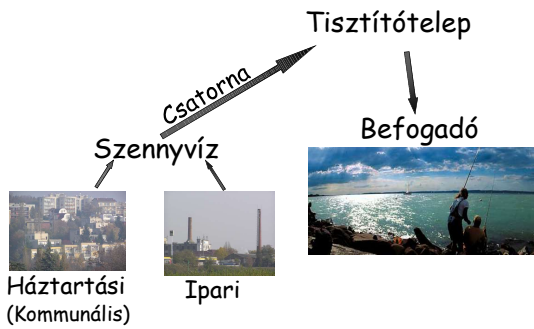
Mason, Bryers and Hamer *Chem. Eng. Commun.* 45,163-176 (1986)

Biodegradáció iránya az oxigén elérhetőség szerint

| Szubsztrát: 5 ecetsav | Keletkező energia (kJ/reakció) |
|---|--------------------------------|
| $5 \text{ CH}_3\text{COOH} + 10 \text{ O}_2 \xrightarrow{\text{M1}} 10 \text{ CO}_2 + 10 \text{ H}_2\text{O}$ | ~4400 |
| $5 \text{ CH}_3\text{COOH} + 8 \text{ NO}_3^- + 8 \text{ H}^+ \xrightarrow{\text{M1}} 4 \text{ N}_2 + 10 \text{ CO}_2 + 14 \text{ H}_2\text{O}$ | ~4000 |
| $5 \text{ CH}_3\text{COOH} + 5 \text{ SO}_4^{2-} \xrightarrow{\text{M2}} 5 \text{ H}_2\text{S} + 10 \text{ HCO}_3^-$ | ~210 |
| $5 \text{ CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{M3}} \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ | ~140 |

IV. A szennyvíz lebomlása a csatornarendszerben, bűzképződés és -megelőzés

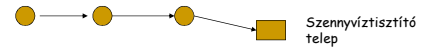
A szennyvíz útja



Csatornázottság növelésének lehetőségei

- Helyi tisztító telepek építése
- Regionális rendszerek kialakítása

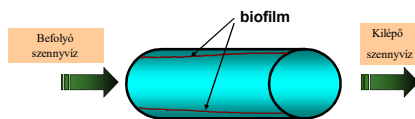
- Kistelepülések összekapcsolása



- Becsatlakozás meglévő hálózatra



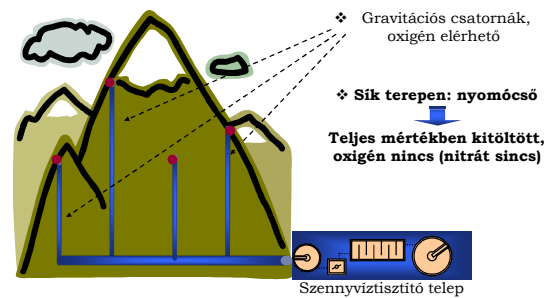
Biodegradáció a csatornában



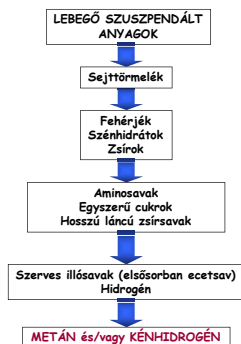
- Megtapadt biofilm ill. üledék
- Hosszú tartózkodási idő
- Magas szennyvízhőfok

A spontán biodegradáció a rendszer kialakításától, üzemeltetésétől és a környékenyektől függő irányban és mértékben folyik

A biodegradáció iránya az oxigén elérhetősége szerint

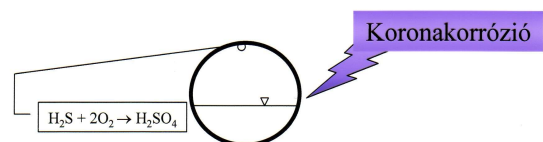


Anaerob biodegradáció a csatornarendszerben



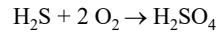
A kénhidrogén kedvezőtlen hatásai

Búzképzés (szagküszöb: 0,1 ppb)

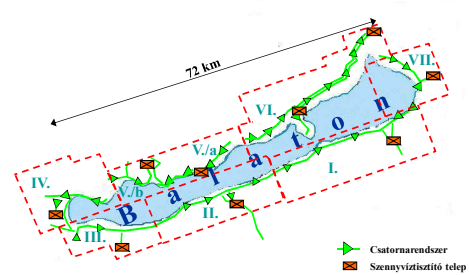


Mérgező hatás (Toxic effect)

Műtárgyak esetében erőteljes korrózió



Bűzpanaszok a Balaton környezetében



Napközben...



Este...



Bűz megelőző eljárások

- Tüneti kezelések
Pl.:
 - Fedőszag
 - H₂S kiáramlás meggátálása
 - Kiszívás és feloxidálás
 - Kénhidrogén termelés elnyomása oxigén vagy nitrát adagolással
- ↓
- A biofilmben nem bűztermelő baktériumok szaporodnak el

Biodegradáció iránya az oxigén elérhetőség szerint

Szubsztrát: 5 ecetsav

Keletkező energia (kJ/reakció)

- $5 \text{CH}_3\text{COOH} + 10 \text{O}_2 \xrightarrow{\text{M1}} 10 \text{CO}_2 + 10 \text{H}_2\text{O}$ ~4400
- $5 \text{CH}_3\text{COOH} + 8 \text{NO}_3^- + 8 \text{H}^+ \xrightarrow{\text{M1}} 4 \text{N}_2 + 10 \text{CO}_2 + 14 \text{H}_2\text{O}$ ~4000
- $5 \text{CH}_3\text{COOH} + 5 \text{SO}_4^{2-} \xrightarrow{\text{M2}} 5 \text{H}_2\text{S} + 10 \text{HCO}_3^-$ ~210
- $5 \text{CH}_3\text{COOH} \xrightarrow{\text{M3}} \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ~140

A bűzképzés nitrát adagolással való gátlásának alapja

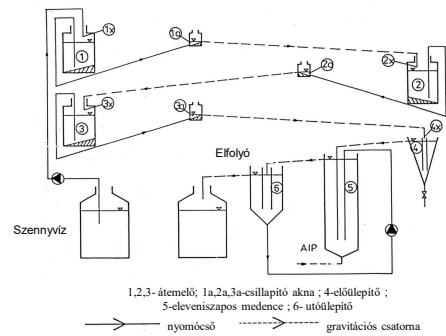
A nitrát felhasználás metabolikus előnye Keletkező energia (kJ/reakció)

- $5 \text{ CH}_3\text{COOH} + 8 \text{ NO}_3^- + 8 \text{ H}^+ \xrightarrow{\text{M1}} 4 \text{ N}_2 + 10 \text{ CO}_2 + 14 \text{ H}_2\text{O} \quad \sim 4000$
- $5 \text{ CH}_3\text{COOH} + 5 \text{ SO}_4^{2-} \xrightarrow{\text{M2}} 5 \text{ H}_2\text{S} + 10 \text{ HCO}_3^- \quad \sim 210$

M1: denitrifikáló

M2: szulfát redukáló

Modell csatornarendszer



1,2,3-átemelő; 1a,2a,3a-csillapító akna; 4-előleptető;

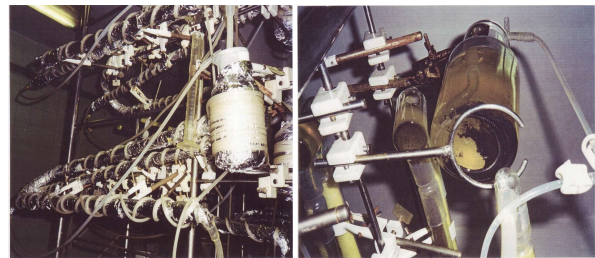
5-eleveniszapos medence; 6-utóleptető

—> nyomócső - - - - -> gravitációs csatorna

Modell csatornarendszer

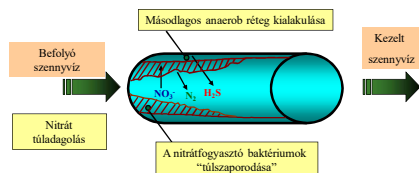


Átemelő az üledékkel

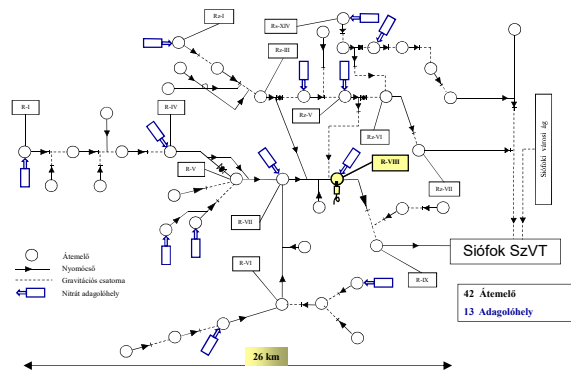


A tanszéki eljárás újdonsága

A denitrifikálók túlszaporodásának meggátlása



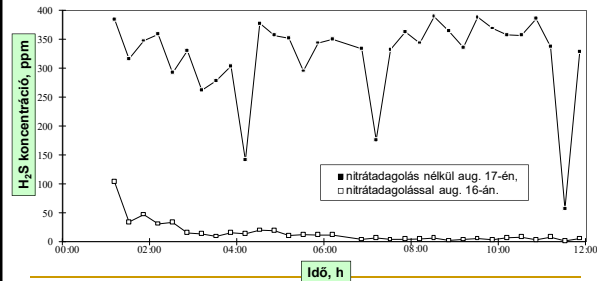
A DRV Zrt.-tanszéki eljárás alkalmazása a Siófok Nyugati Szennyvízelvezető Rendszeren (1991-1992)



Az R-VIII. átemelő kritikus helyzete



A Tanszéken kifejlesztett eljárás eredménye (R-VIII. átemelő légterében, 1992):



Az R-VIII. átemelőnél szálloda épült



További alkalmazások

- Balaton körül, Velencei tónál (Dunántúli Regionális Vízmű Zrt.)
- Budapestre becsatlakozó csatornákon (Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.)
- Duna jobb és balpartján (Duna Menti Regionális Vízmű Zrt.)
- Kistelepüléseken (Bakonykarszt Zrt.)
- Athéni parti csatorna rendszeren (NATO projekt)

V. Szennyvíztisztítási technológiák

A szennyvíz minősítése

S – szubsztrát szerves anyag

Gyűjtő paraméterek:

- KOI – kémiai oxigén igény: A vízben lévő szerves anyag teljes kémiai oxidációjához szükséges oxigén mennyisége [mg O₂/l szennyvíz]
 - Meghatározás (MSZ 260/16-82 szabvány szerint): kénsavas közegben, katalizátor jelenlétében, a mintát ismert mennyiségű **kálium-dikromát** (oxidáló ágens) oldattal forraljuk, miközben a szerves anyagok oxidálódnak. A kálium-dikromát felesleget **vas(II)-ammónium-szulfát** oldattal titráljuk vissza ferroin-indikátor jelenlétében.
- BOI – biokémiai oxigén igény: A vízben lévő szerves anyagok baktériumok által, adott idő alatt, adott hőmérsékleten történő aerob oxidációjához szükséges oldott oxigén mennyisége [mg O₂/l szennyvíz]
 - Meghatározás (respirometriás módszerrel): A műszer regisztrálja a mérőedények gázterének a mintában elszaporodott biomassza O₂ fogyasztása miatti nyomás változását. (A keletkező CO₂-ot NaOH pasztillával nyeletjük el).
- TOC – összes szerves szén [mg/l]
 - Meghatározás: A készülék a mintát 1050°C-on CeO₂ katalizátor jelenlétében elégeti és IR detektorral méri a keletkező CO₂ mennyiségét.

A szennyvíz minősítése

- Lebegő anyag: 0,45µm-es pórusátmérőjű szűrőpapíron felfogott szilárd anyag tömege az átszűrt szennyvíztérfogatra vonatkoztatva [mg/l]
- Egyedi komponensek (speciális analitika)
- N formák (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , szerves-N, TN) [mg/l]
- P formák (PO_4^{3-} , TP) [mg/l]
- Egyéb komponensek (pl.: anionok, kationok, stb.) [mg/l]

Szennyvízminőség meghatározása eredet szerint

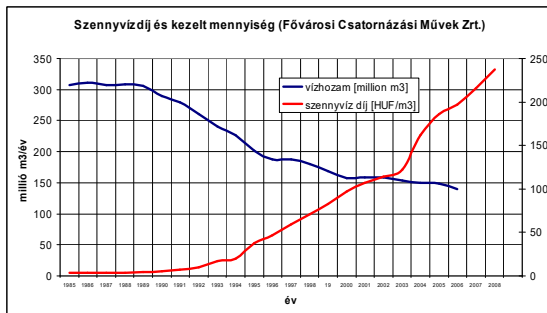
Kommunális Ipari



„tervezési paraméter”

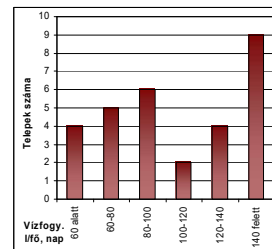
Átlagban a lakosok vízfogyasztása és szennyezőanyag kibocsátása azonos

A vízárak növekedésével a fogyasztás visszaesett



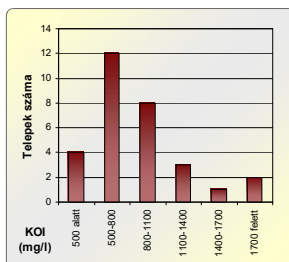
A tanszéki felmérés eredménye

Rendkívül nagy eltérések a fogyasztott vízmennyiségben



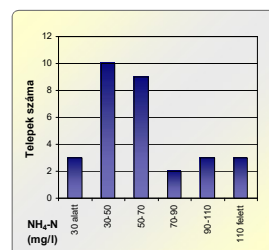
A tanszéki felmérés eredménye

Nagy különbségek a befolyó szervesanyag tartalomban



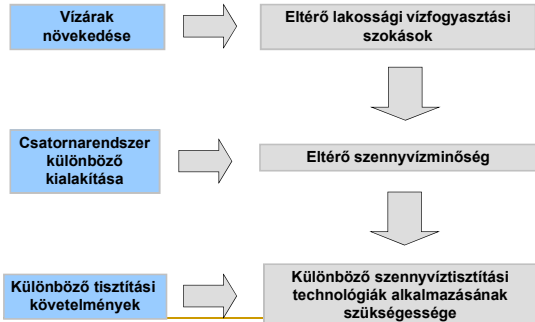
A tanszéki felmérés eredménye

Nagy eltérések az általában magas ammónia tartalomban



Nemzetközi modellezési gyakorlatban tipikus érték:
25-30 mg/l NH₄-N

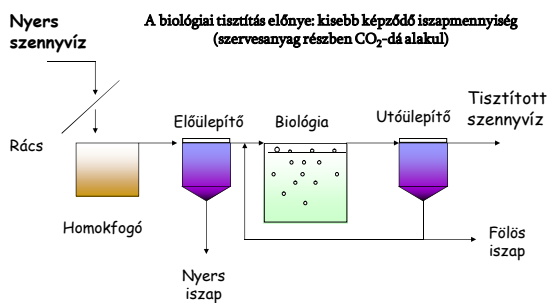
Az egységes kommunális szennyvíz fogalma tarthatatlan



A tisztított szennyvízzel szemben támasztott követelmény

- Általánosan: a szennyvizet annyira kell megtisztítani, hogy a környezetben károsodást ne okozzon, a természetes „tisztító kapacitás” a folyamatot befejezze.
- Specifikusan: eleget kell tenni a megállapított „határértékeknek”.

A szennyvíztisztítás folyamata



Rács



Homokfogó



Előülepítő



Biológia



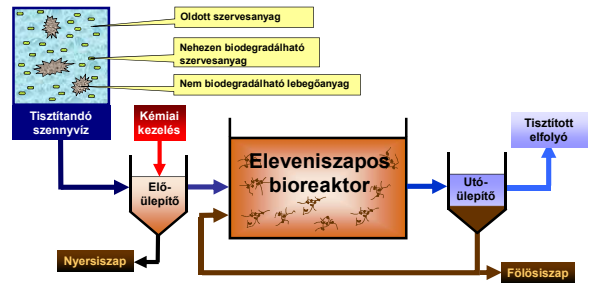
Utóülepítő



Tisztított szennyvíz



Az eleveniszapos szennyvíztisztítás világszerte a leggyakoribb



Lassan szaporodó mikroorganizmusoknak hosszú reaktorbeli tartózkodási időre van szüksége

Biomassa reaktorbeli tartózkodási ideje: θ_c (iszapkor)
 SRT = Solids Residence Time

$$\frac{1}{\mu \left[\frac{1}{d} \right]} = \text{SRT} = \theta_c [d] = \frac{X \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot V [m^3]}{\text{Iszapelvétele} \left[\frac{kg}{d} \right]}$$

Rendszerbeli biomassa mennyisége

Fajlagos szaporodási sebesség

$$\text{Iszapelvétele} = \text{szaporodás} = V \cdot \frac{dx}{dt} = V \cdot \mu \cdot x$$

Szétválasztási probléma

akadályozza a nagy biomassa koncentráció fenntartását



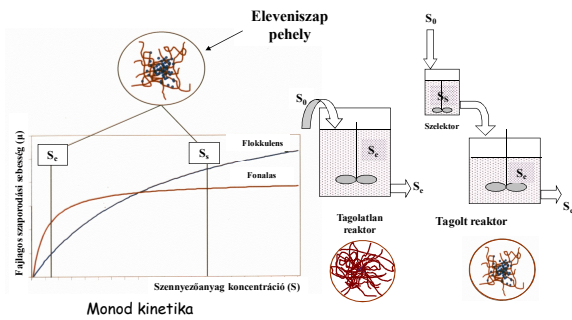
Laboratóriumi modellszennyvízzel

Hagyományos megoldás:
 több utóülepítő és reaktor építés

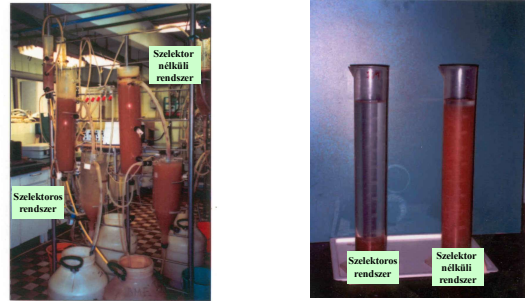


Üledés vizsgálat

Az eleveniszap ülepedés javítása szelektorrall



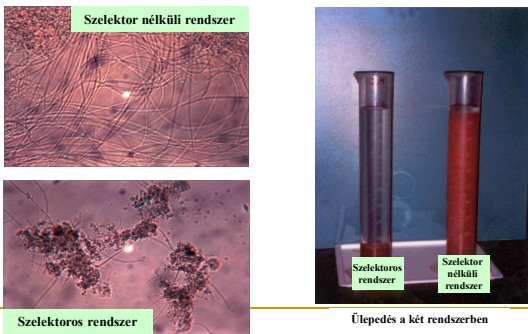
A szelektor hatásának szemléltetése modell szennyvízzel



Laborkísélet szelektorrall és anélkül

Üledés a két rendszerben

A mikroszkopikus szerkezet és az ülepedés összefüggése



A biológiai nitrogéneltávolítás

A biológiai nitrogéneltávolítás lépései

Ammonifikáció:

szerves N \longrightarrow ammónia-N

Nitrifikáció:

ammónia-N \longrightarrow nitrát-N

Denitrifikáció:

nitrát-N \longrightarrow nitrogén gáz

A tisztítandó szennyvíz nitrogén tartalma

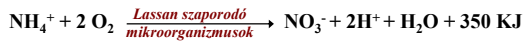
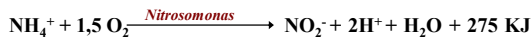
$$TN = NH_4-N + \text{szerves N}$$

az oxidált szerves N formák (NO_3^- és NO_2^-) mennyisége általában elhanyagolható

$$\frac{\text{szerves N}}{TN} \sim 20-50 \%$$

szennyvízfüggő, csatornafüggő, hőfokfüggő

Nitrifikáció



- Nagy oxigén igény

- Kis μ érték \rightarrow Nagy rendszerbeli tartózkodási idő igény

Lassan szaporodó mikroorganizmusoknak hosszú reaktorbeli tartózkodási időre van szüksége

Biomassa reaktorbeli tartózkodási ideje: Θ_c (iszapkor)

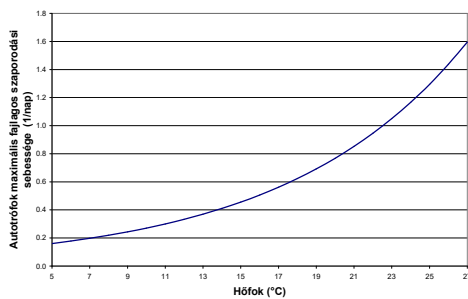
$$\frac{1}{\mu \left[\frac{1}{d} \right]} = \Theta_c [d] = \frac{X \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot V_{\text{reaktor}} \left[\text{m}^3 \right]}{\text{Iszapeltávolítás} \left[\frac{\text{kg}}{d} \right]}$$

Rendszerbeli biomassa mennyisége

Fajlagos szaporodási sebesség

- nagy reaktortérfogat
- nagy x (szelektorok, biofilm reaktorok, diszperz-biofilm reaktorok)

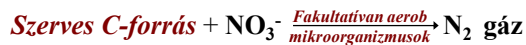
Nitrifikálók szaporodási sebességének hőfokfüggése



Nitrifikációt gátló anyagok

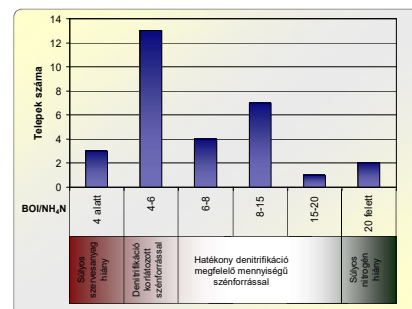
| Gátló vegyületek, például: | 75%-os inhibíciót eredményező koncentráció [mg/l] |
|----------------------------|---|
| Allil-alkohol | 19,5 |
| Allil-izotiocianát | 1,9 |
| Benzotiazol-diszulfid | 38 |
| Szén-diszulfid | 35 |
| Kloroform | 18 |
| o-Krezol | 12,8 |
| 2,4 Dinitrofenol | 460 |
| Ditio-oxamid | 1,1 |
| Etanol | 2400 |
| Metil-izotio-cianát | 0,8 |
| Fenol | 5,6 |
| Na-metil-ditio-karbamát | 0,9 |
| Tio-karbamid | 0,08 |

Denitrifikáció



- Oxigén távollétében
- Denitrifikálható szénforrás igény

Nagy különbségek a hozzáférhető szervesanyag/eltávolítandó nitrogén arányban



Denitrifikáló medencék kialakításának optimalizálása

Annak ellenére, hogy a fakultatívan aerob, denitrifikáló mikroorganizmusok az oxigén-felhasználást részesítik előnyben, a denitrifikációs medencék nyitottak.



Levegő bekeverés denitrifikáló medencébe



Levegő bekeverés denitrifikáló medencébe



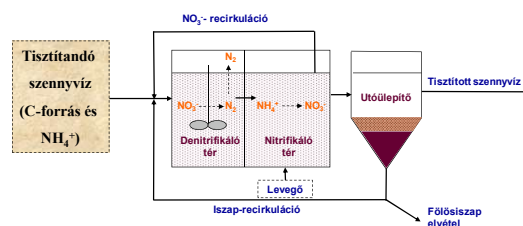
Levegő bekeverés denitrifikáló medencébe



Úszó fedlap az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen



Biológiai nitrogéntávoztás elődenitrifikációval



Biológiai nitrogéntávoltás kombinált elő- utódenitrifikációval

