



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Vegyésmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Környezetvédelmi mikrobiológia és biotechnológia

Szennyvíztisztítás

Dr. Bakos Vince egyetemi adjunktus

(Az előadás Dr. Jobbágy Andrea c. egyetemi tanár
által írt tananyag részeket is tartalmaz)

**Az anyag csak a tantárgyon regisztrált hallgatók számára és csak a számonkérésre
való felkészülési céllal használható, semmilyen fórumon nem terjeszthető csak a
tárgyfelelősök előzetes hozzájárulásával!**

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**
-

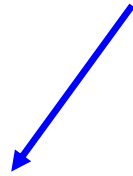
Tematika (korábbi BIM Km MSc ZV tételek)

- 1. A biodegradáció fogalma és főbb befolyásoló tényezői. Szubsztrátok osztályozása biodegradálhatóságuk szerint
- 2. Szubsztrátok osztályozása a biodegradálhatóság koncentrációfüggése szerint, a Monod és az Andrews kinetika kapcsolata, gyakorlati következtetések
- 3. A könnyen biodegradálható anyagok (pl. ecetsav) lebomlása és a biodegradáció energiahatékonysága a különböző terminális elektronakceptorok elérhetősége szerint. Az oxigén és a nitrát alternatív metabolízise
- 4. A szennyvízelvezető rendszerekbeli bűzképződés és korrózió kialakulása és megakadályozási lehetőségei
- 5. Az eleveniszapos szennyvíztisztítás folyamata (ábra!), folytonos kemosztát rendszerrel való összehasonlítása. A biomassza tartózkodási idő jelentősége, növelési lehetőségei
- 6. Az eleveniszap ülepedés mérése, az iszapszerkezet javítása szelektorral, flokkulum szerkezetek bemutatása, szubsztrát koncentráció profilok (laborgyakorlat anyaga)
- 7. A nitrifikáció folyamatának alapjai, technológiai követelményei és a folyamatot befolyásoló tényezők
- 8. A denitrifikáció folyamatának alapjai, technológiai követelményei és a folyamatot befolyásoló tényezők. Az elő-denitrifikáció, valamint a kombinált elő-utó-denitrifikáció technológiáinak bemutatása
- 9. A biológiai foszfor eltávolítás folyamatának alapjai, alapvető biológiai foszfor eltávolításra alkalmas technológia ismertetése

*I. A biológiai bonthatóság
fogalma és környezetvédelmi
jelentősége*

Mi a szennyvíz?

- Wastewater - hulladék víz
- Abwasser - kilépő víz



Kommunális



Ipari



Biodegradáció jelentősége a környezetben



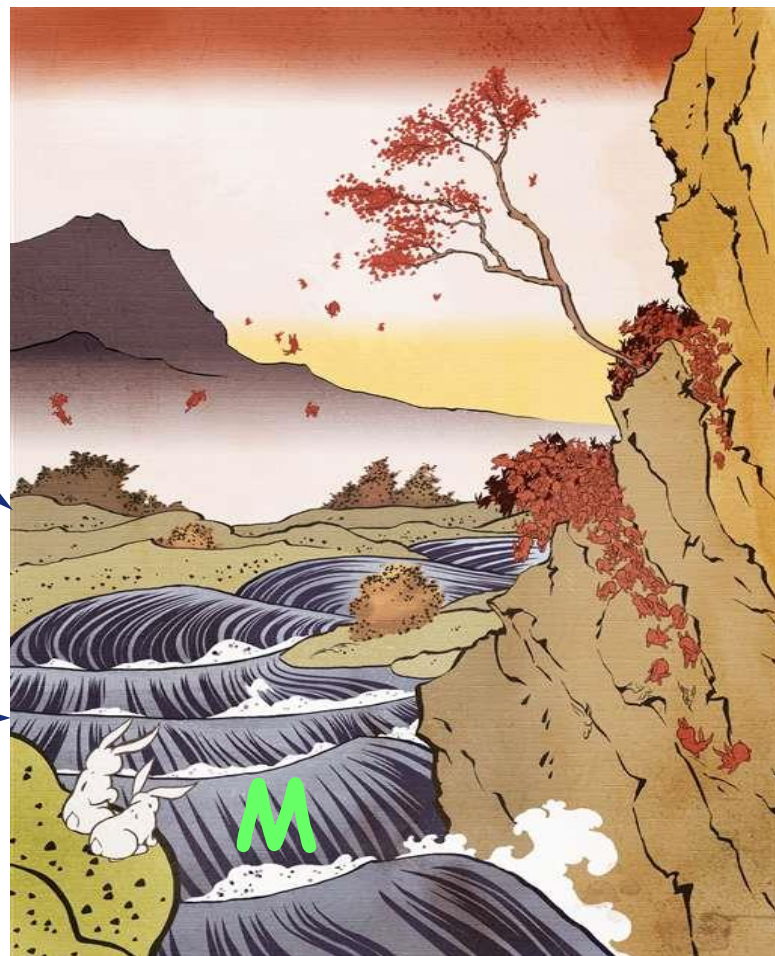
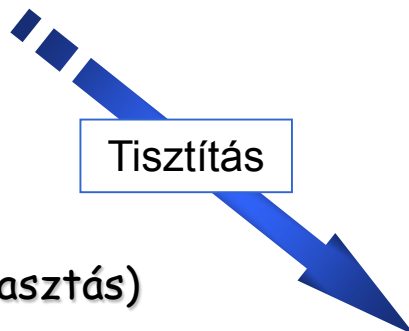
Kommunális

Jól biodegradálható (O₂ fogyasztás)



Ipari

Jól vagy rosszul biodegradálható (felhalmozódik)



Befogadó

Biodegradálható: mikroorganizmusok által bontható

Biodegradáció jelentősége a környezetben

1962. Detergens törvény, NSZK.

- Megtiltja a biológiailag nehezen bontható anionaktív detergensek gyártását.
- 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 , szervesetlen anyagok (pl.: ammónia) és elszaporodott biomassza (oldott szerves szén nem marad)

Elsősorban „biogén” anyagok

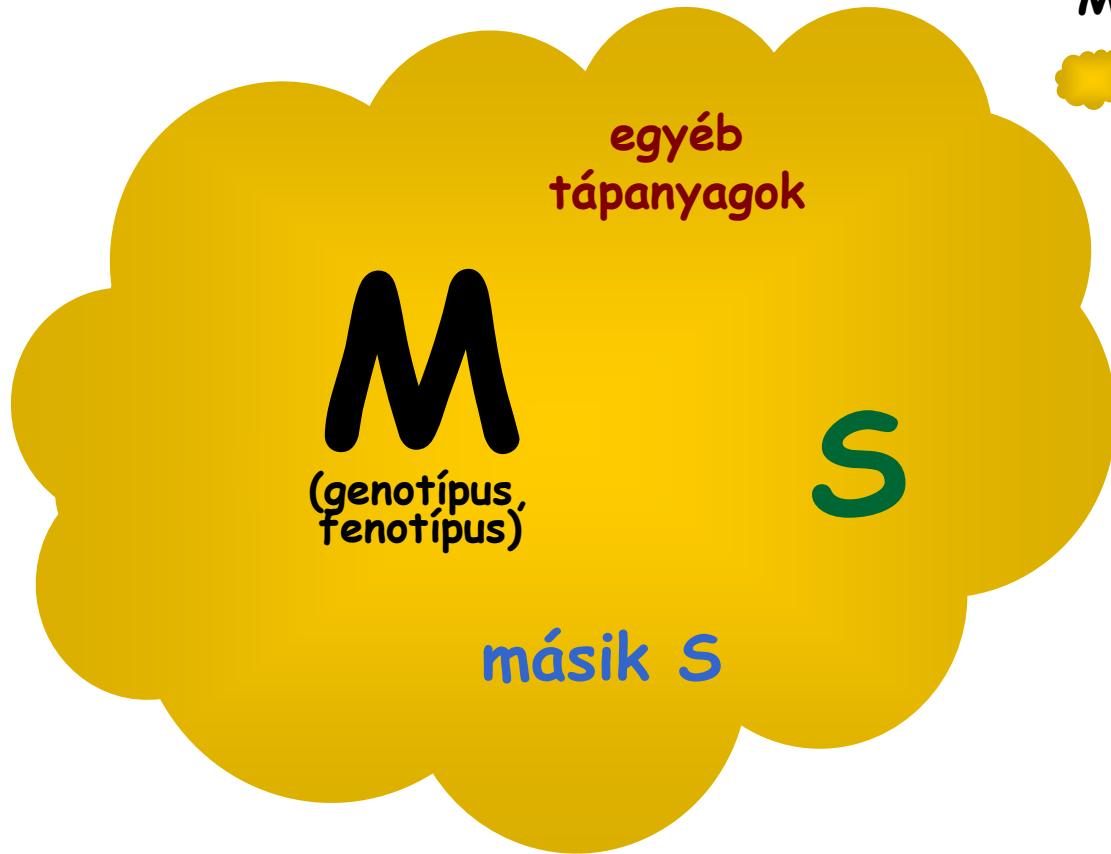
- Elfogadható bonthatóság:
Az anyag elveszíti környezetre káros hatását (pl.: habzás, mérgező tulajdonság)
- Primer / részleges / teljes bonthatóság definíciói

II. A biodegradációt befolyásoló tényezők

Főbb befolyásoló tényezők

- Biodegradálható anyag
 - Másik szubsztrát szerepe (kometabolizmus)
 - Mikroorganizmus, mikroflóra
 - Környezet
 - Technológia (pl. bioreaktor elrendezés)
-

A biológiai bonthatóságot befolyásoló tényezők



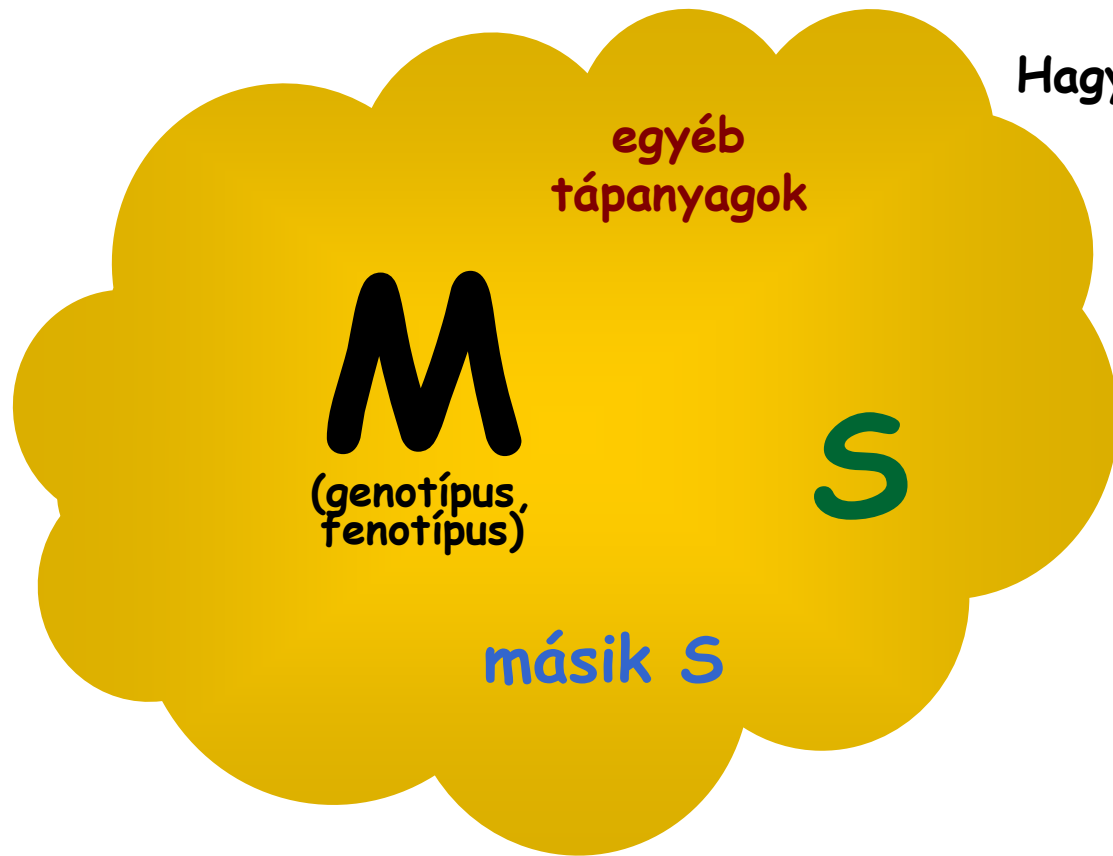
M : mikroorganizmus

 : környezet

↳ Táptalaj komponensek:

- **S** : szubsztrát
(mikroorganizmusok által hozzáférhető anyag)
- **másik S** (kometabolízis)
- **elektronakceptor** :
 O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , stb.
- **egyéb tápanyagok** :
N, P, ásványi sók

A biológiai bonthatóságot befolyásoló tényezők

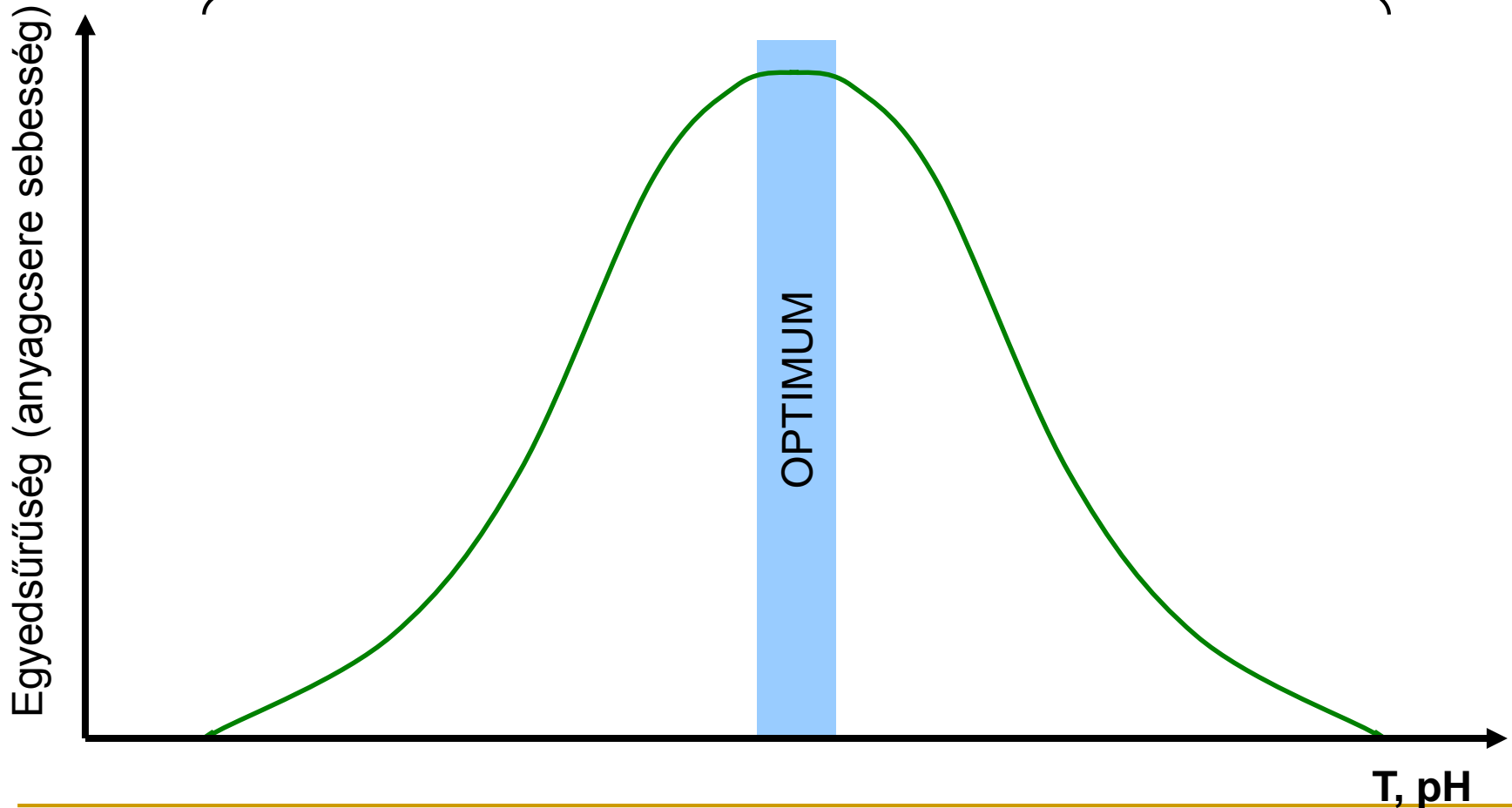


Hagyományos környezeti tényezők:

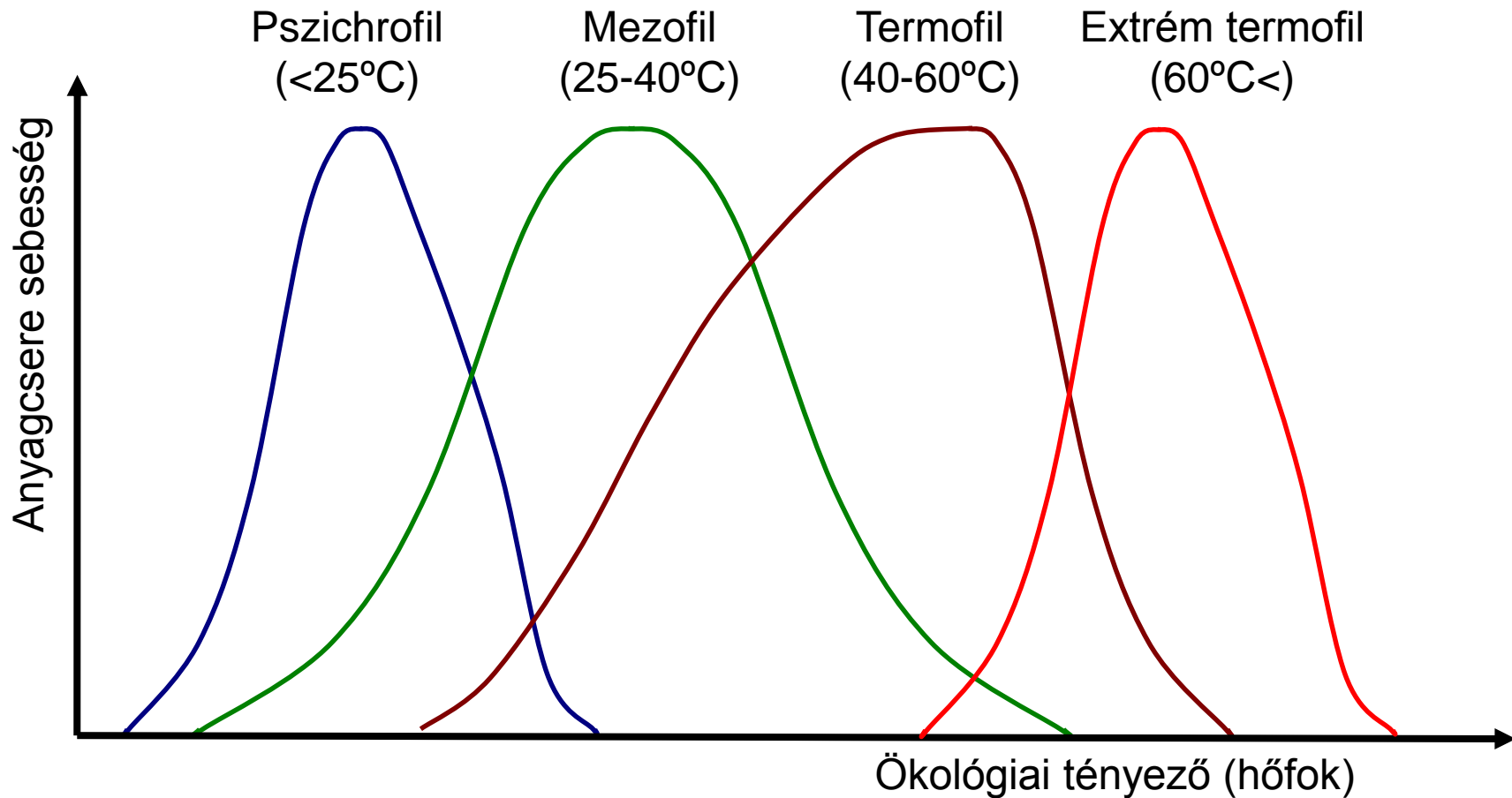
- hőfok
- pH
- oldott oxigén elérhetősége

A hőfok és a pH hatása

Tolerancia tartomány



Mikroorganizmus típusok anyagcseréjének hőfokfüggése





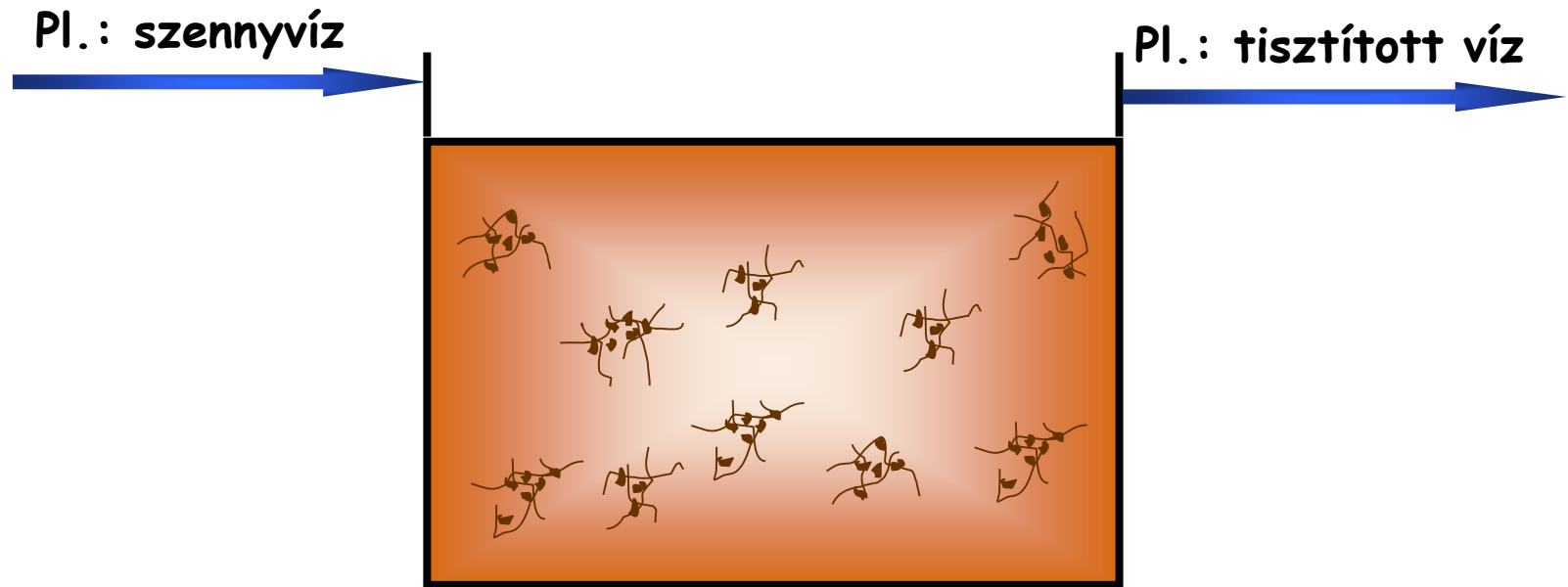
Környezet oldott oxigén elérhetőség elektronakceptor szerint

- **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 pl. CO_2 , SO_4^{2-}
-

Reaktor kialakítás – önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

■ Mikroorganizmusok szuszpendálva

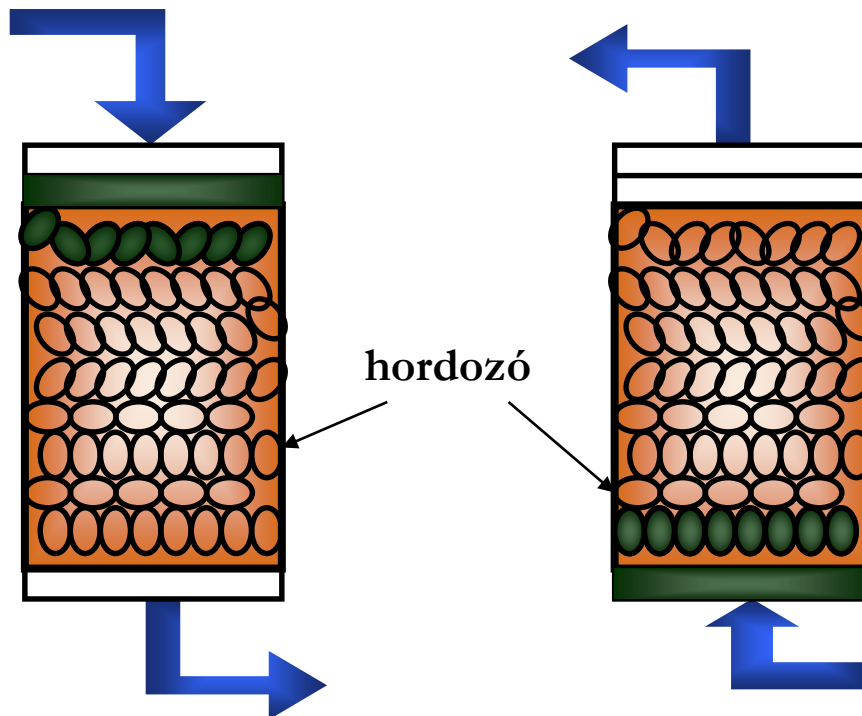
 : iszappehely akár $\geq 1000 \mu\text{m}$  : baktérium $0,5 - 5 \mu\text{m}$



Reaktor kialakítás –

önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

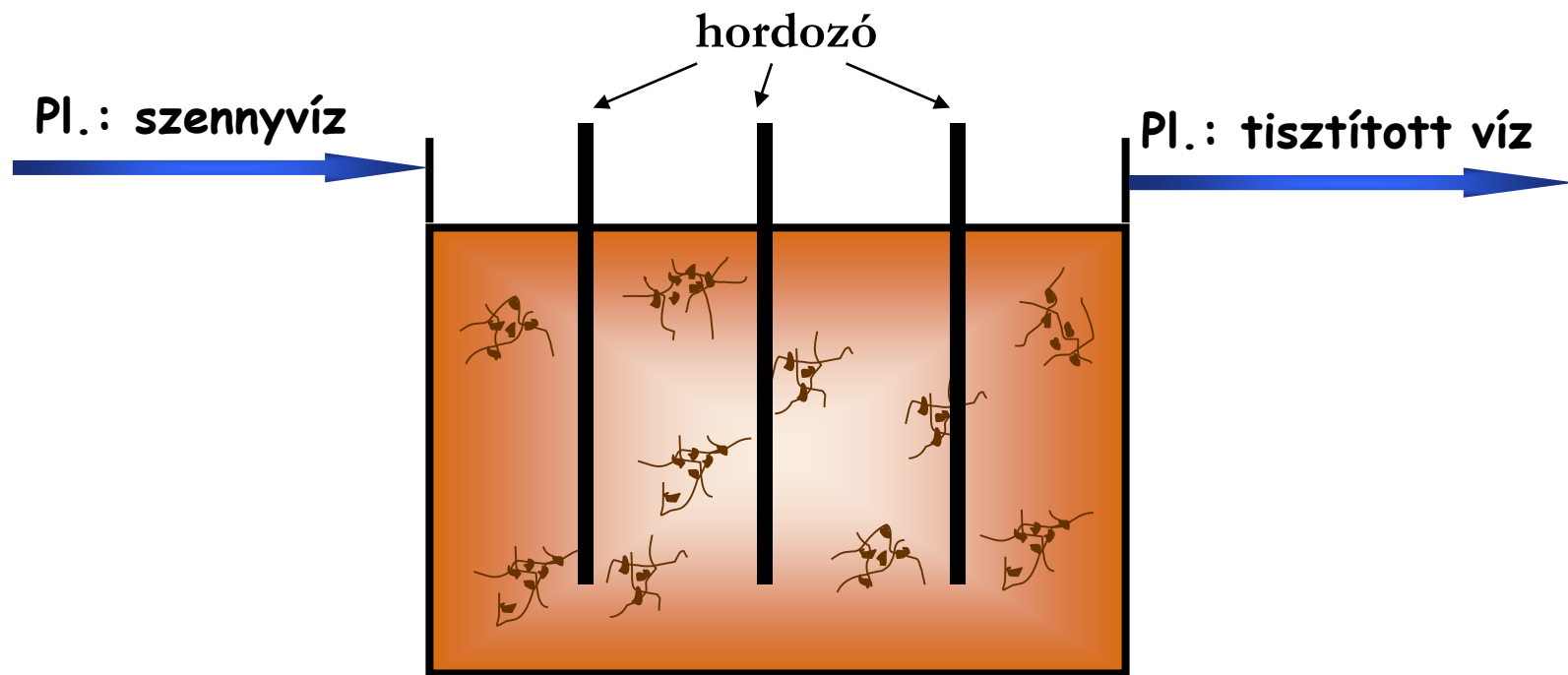
- Mikroorganizmusok biofilmben



A „kiszűrt” lebegőanyagot és az elszaporodott biomasszát el kell távolítani: visszamosás

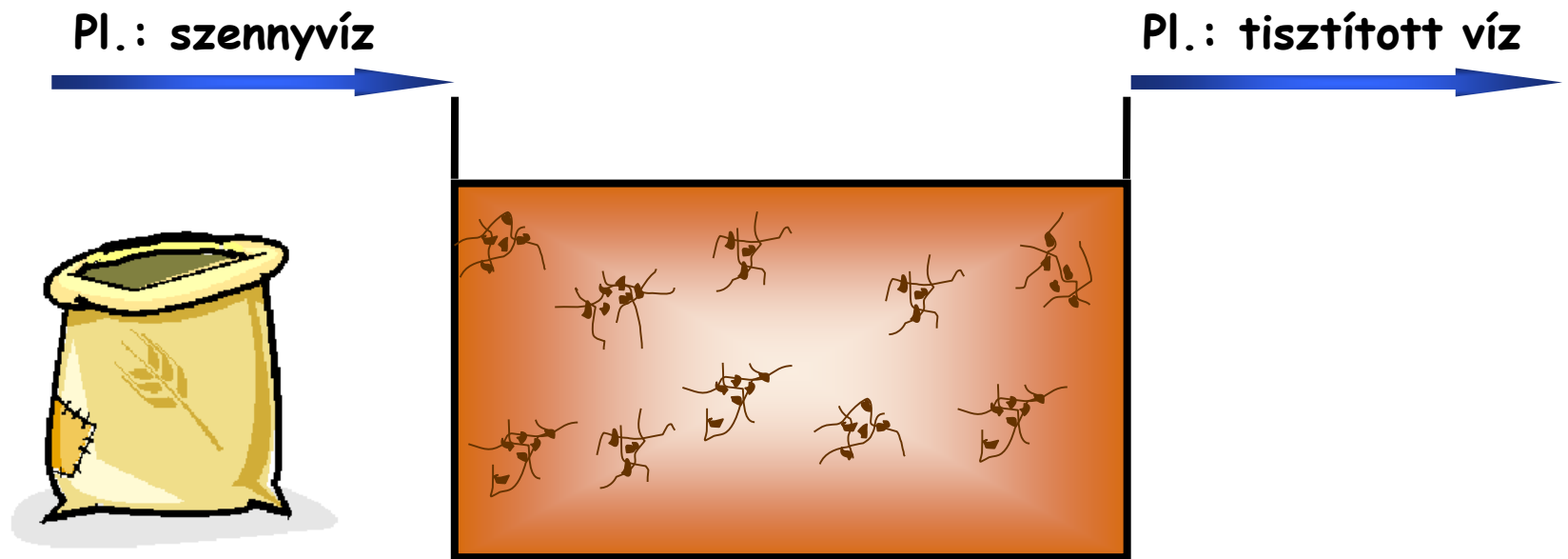
Reaktor kialakítás – önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

- Diszperz- biofilm rendszerek
(fixen beépített hordozó)



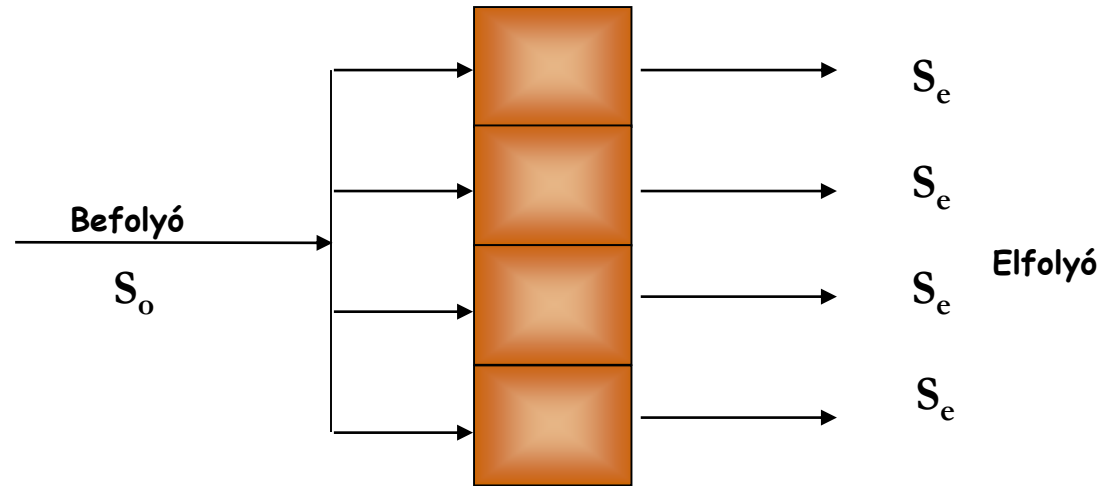
Reaktor kialakítás – önállóan aggregálva vagy kötött ágyon

- Diszperz- biofilm rendszerek (lebegő hordozó)

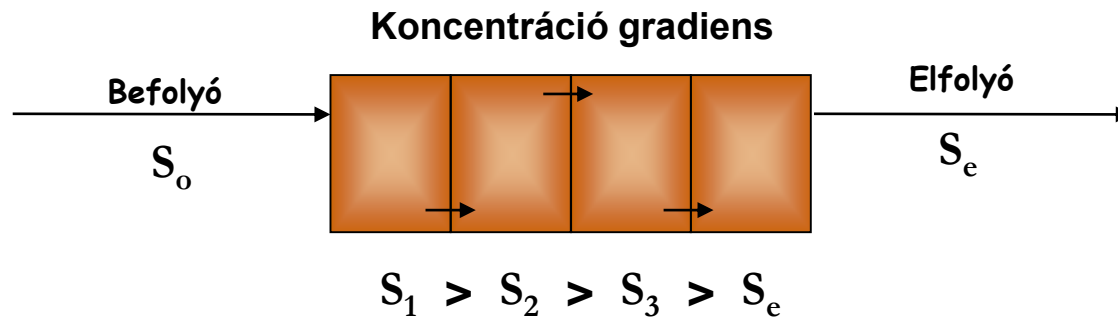


Reaktor kialakítás – tagolt vagy tagolatlan reaktorok

Párhuzamos:



Soros:



III. A biodegradáció kinetikája

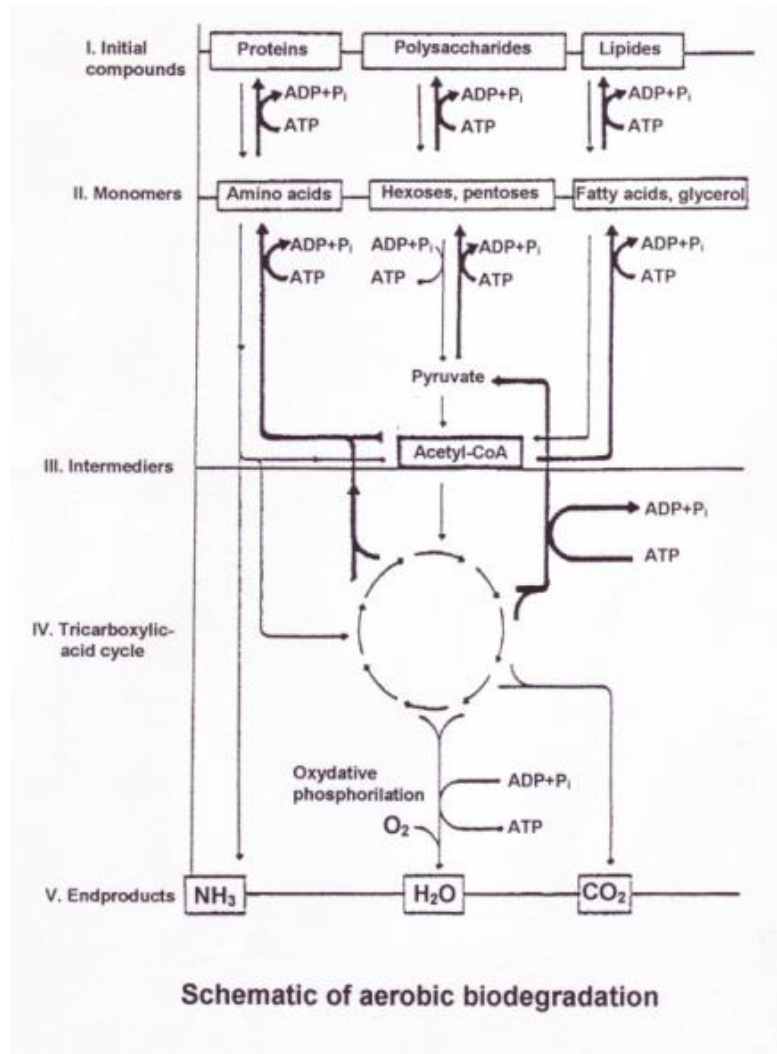
A biodegradáció kinetikája

Szennyezőanyag lebontás:

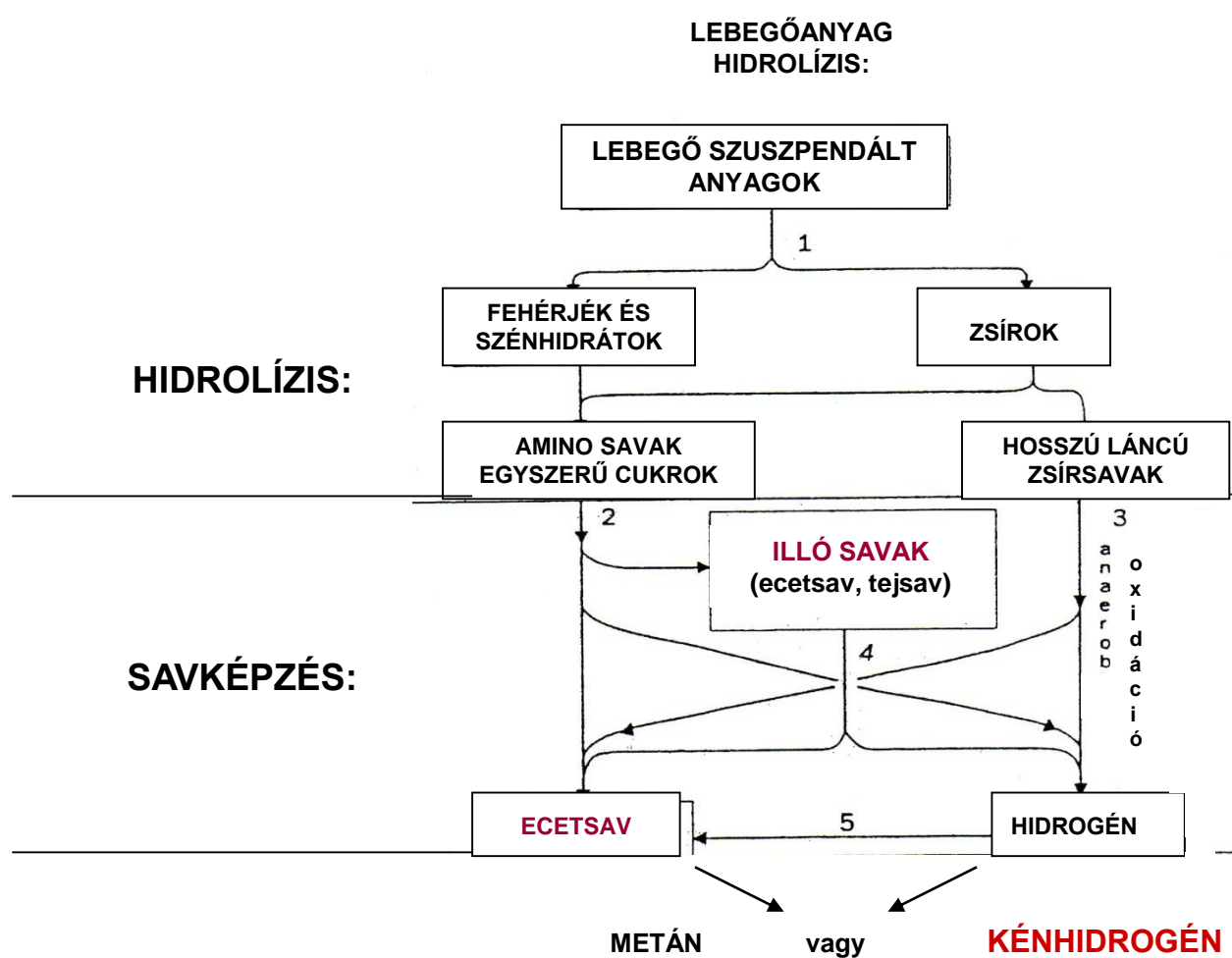
Szubsztrát (C,H,O, esetleg N) + szerves anyagok \xrightarrow{M}
többit biomassza + CO₂ + H₂O + anyagcsere termékek

Megfelelő környezetben

Aerob biodegradáció



Anaerob biodegradáció többlépcsős jellege



Többlét biomassza keletkezése

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

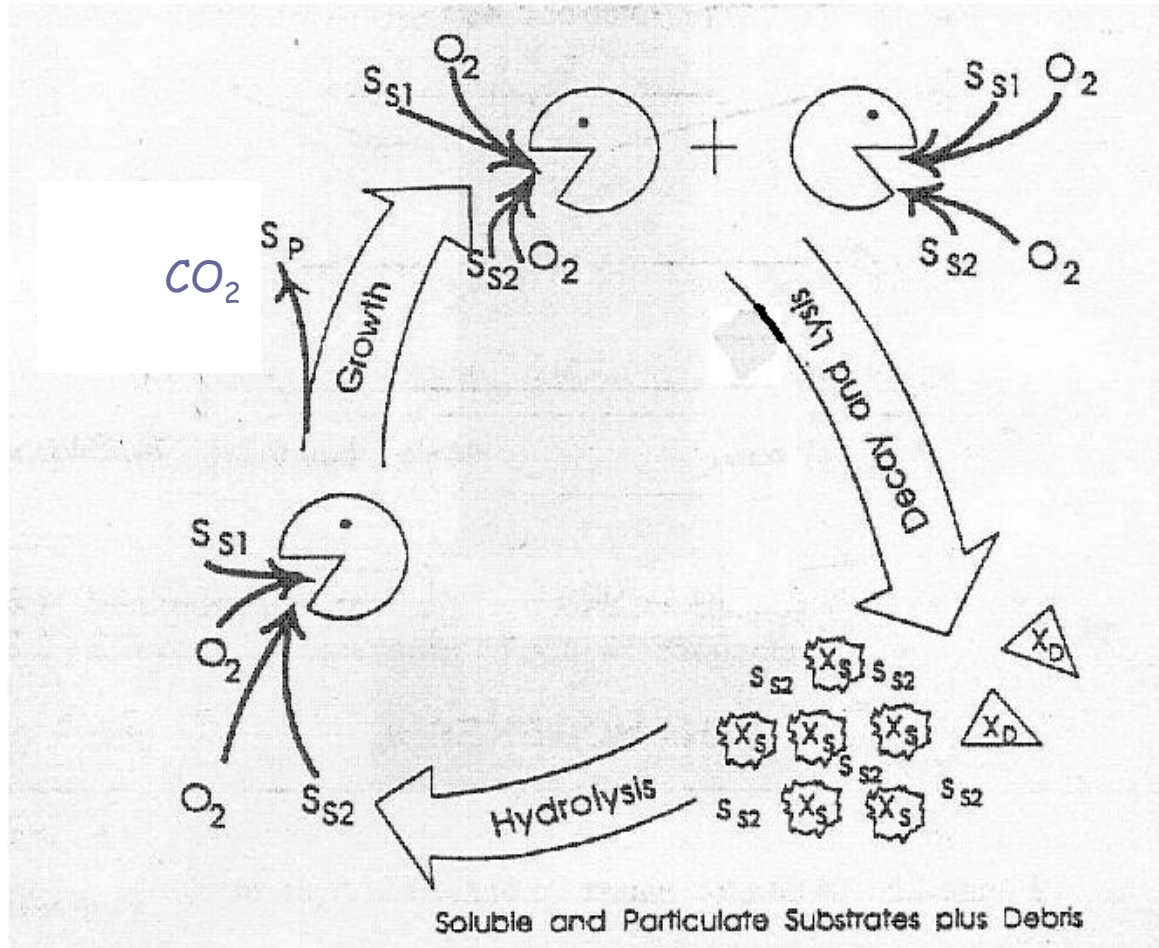
Ahol:

Δx : keletkező biomassza mennyisége

ΔS : eliminált szubsztrát mennyisége

$Y_{x/s}$: hozam (függ: C-forrás, mikroorganizmus, körülmények)

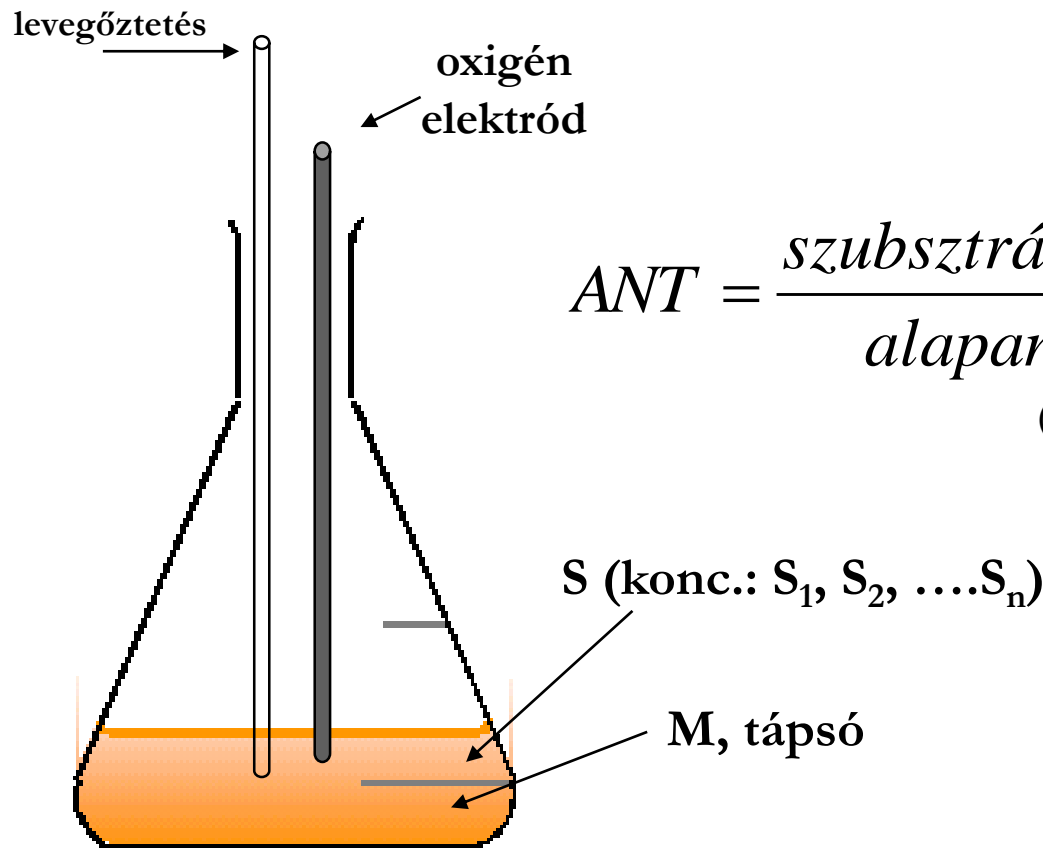
Iszapstabilizáció



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

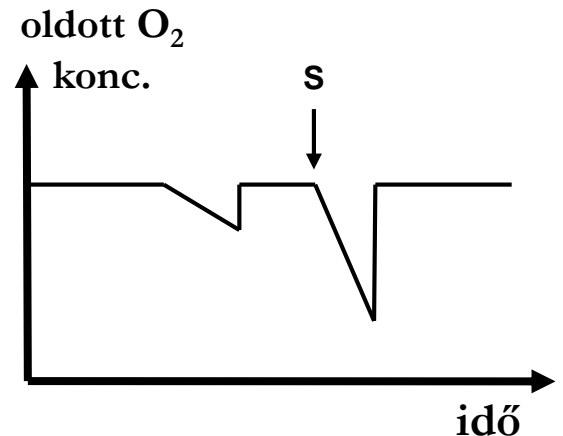
Biodegradáció koncentráció függése

- ANT – Anyagcseresebesség Növelő Tényező



$$ANT = \frac{\text{szubsztrátanyagcseresebessége}}{\text{alapanyagcseresebessége}}$$

(endogén metabolízis)

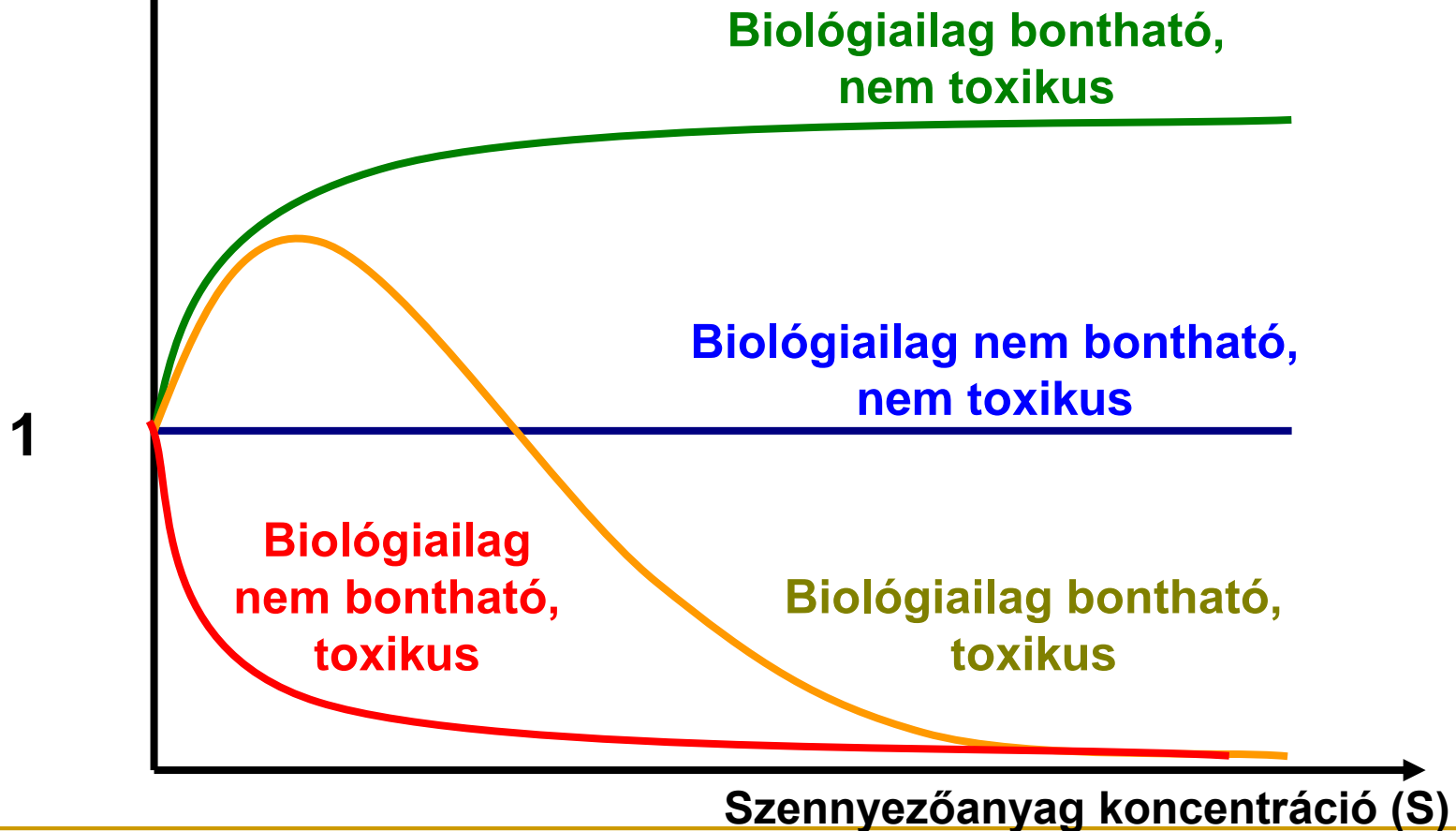


A biodegradáció kinetikája

(szubsztrátok osztályozása a biodegradáció koncentráció függése szerint)

ANT

ANT – Anyagcseresebesség Növelő Tényező



Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

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

ahol : x – mikroorganizmusok koncentrációja [g/l]

μ – fajlagos növekedési sebesség [d⁻¹]

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

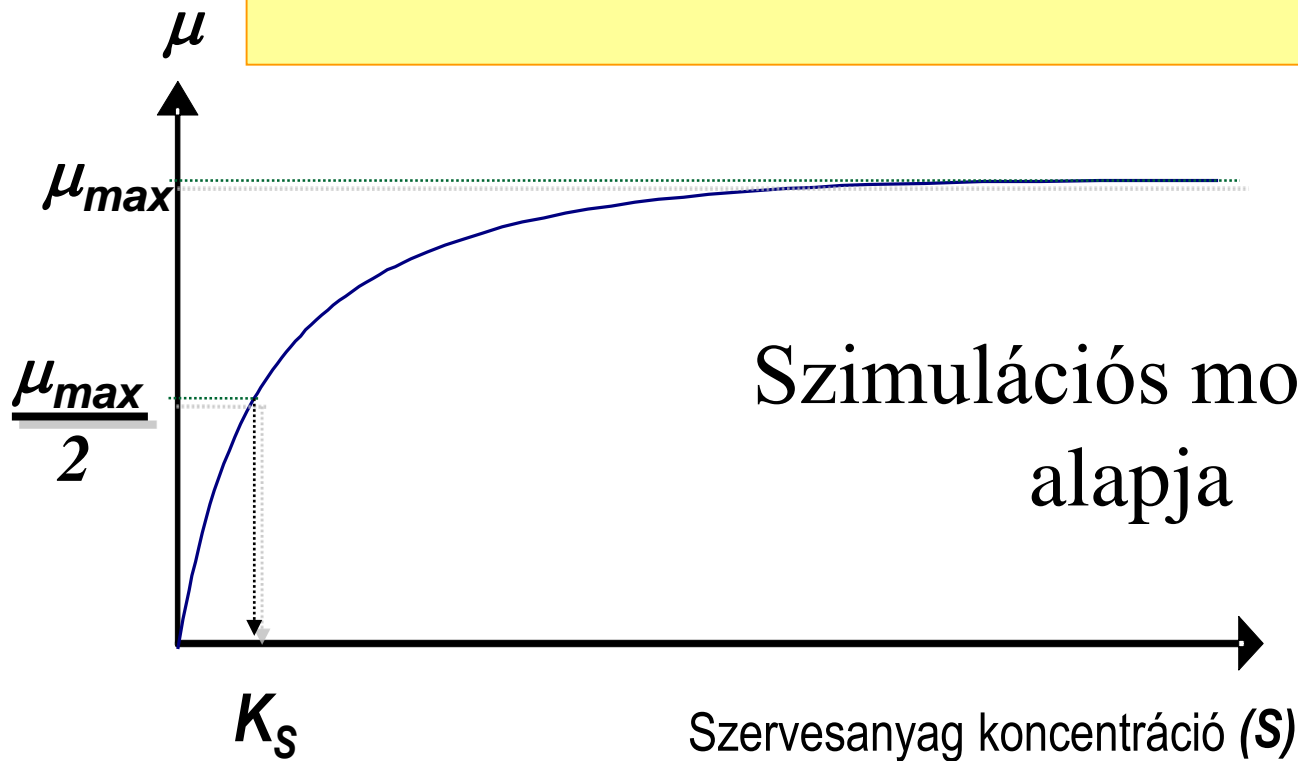
ahol : μ_{\max} – maximális fajlagos növekedési sebesség [d⁻¹]

S – szubsztrát koncentráció [mg/l]

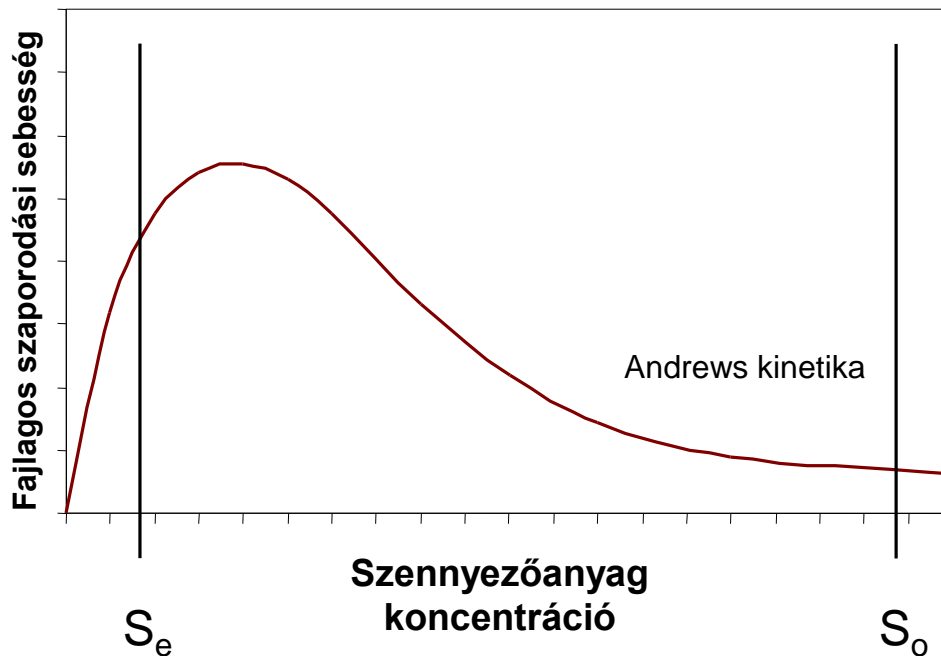
K_S – féltelítési koefficiens [mg/l]

Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

$$\text{Fajl. növekedési sebesség: } \mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S}$$

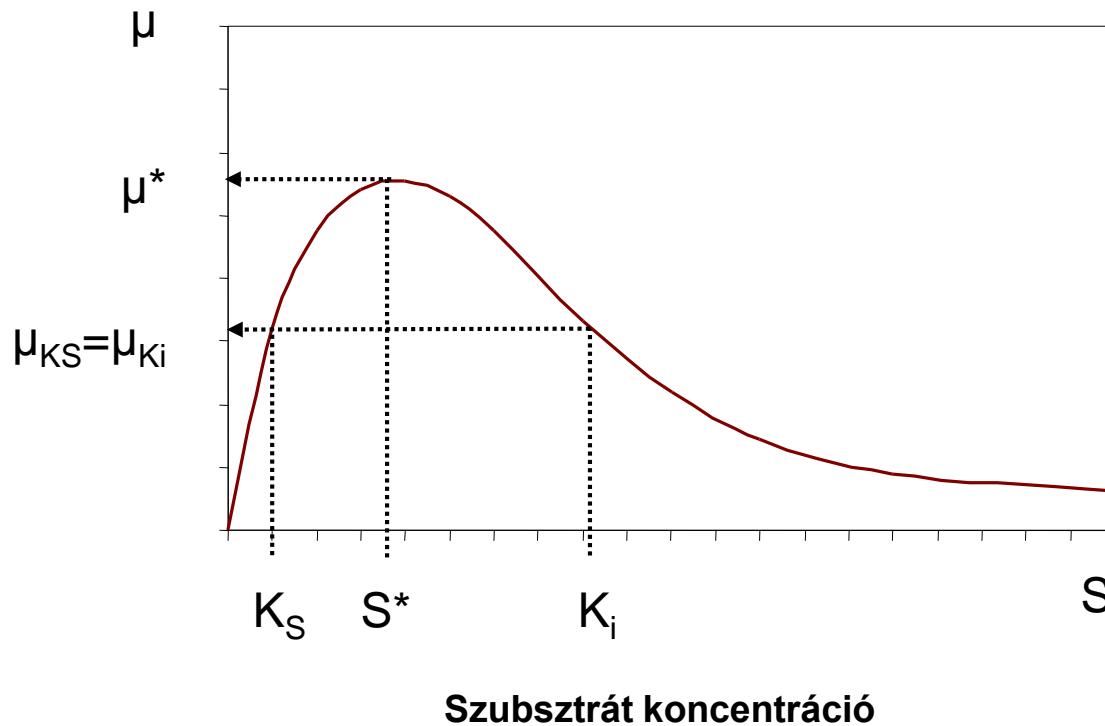


Biológiailag bontható, mérgező anyagok biodegradációja erősen koncentráció függő



$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S + \frac{S^2}{K_i}}$$

Andrews kinetika



$$\mu^* = \frac{\mu_{\max}}{2(K_S / K_i)^{0,5} + 1}$$

$$S^* = (K_S \cdot K_i)^{0,5}$$

Biodegradáció iránya az elektronakceptor minősége 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

M1: Fakultatív anaerob

M2: Szulfátredukáló

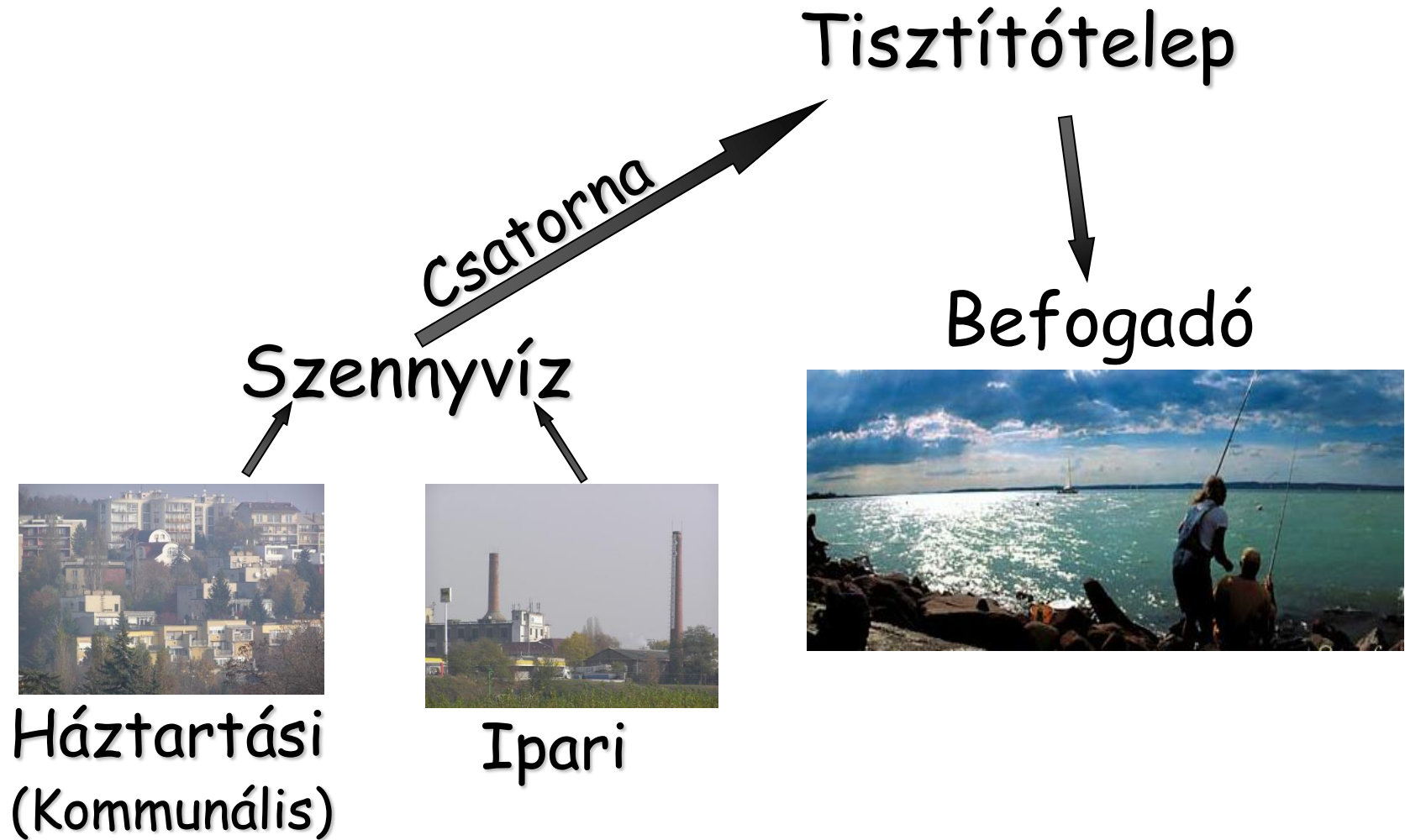
M3: Metanogén

Jellemző hozam [Y] és fajlagos szaporodási sebesség [μ_{\max}] értékek

Mikroorganizmus	Y [g biomassa KOI / g szubsztrát KOI]	μ_{\max} [d ⁻¹]
Fakultatívan anaerob (O ₂ hasznosítás)	0,65	4
Fakultatívan anaerob (NO ₃ ⁻ hasznosítás - denitrifikálás)	0,55	4 x 0,8
Szulfátredukáló	0,1	0,4 - (2)
Metanogén	0,02	0,2

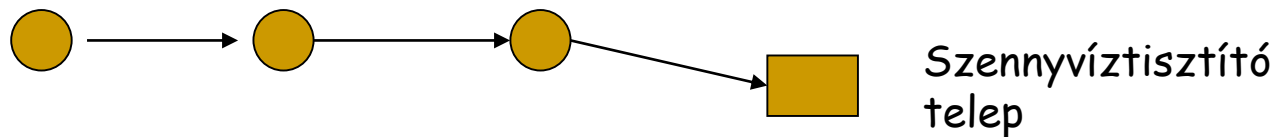
*IV. A szennyvíz lebomlása a
csatornarendszerben,
bűzképződés és -megelőzés*

A szennyvíz útja

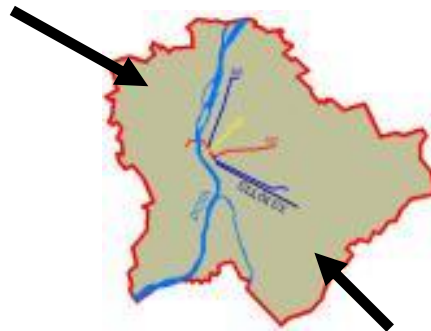


Csatornázottság növelésének lehetőségei

- Helyi tisztító telepek építése
- Regionális rendszerek kialakítása
 - Kistelepülések összekapcsolása

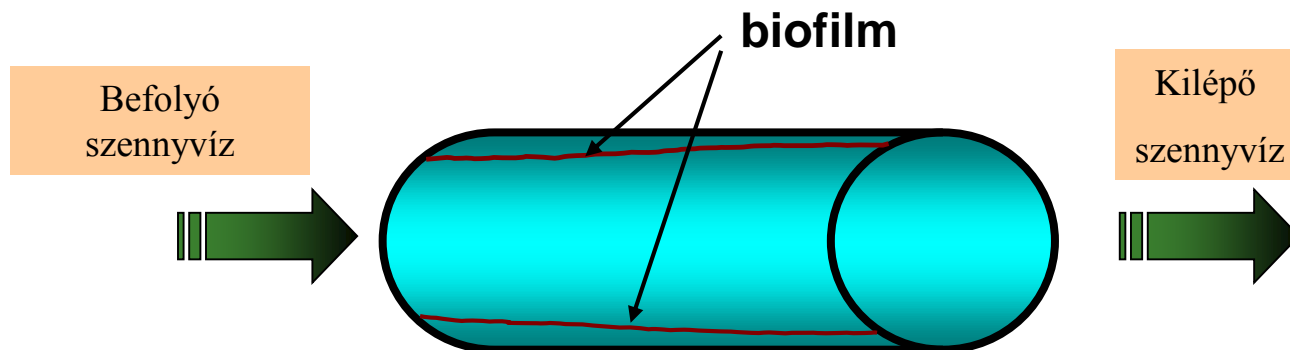


- Becsatlakozás meglévő hálózatra



Büzképződés

Biodegradáció a csatornában

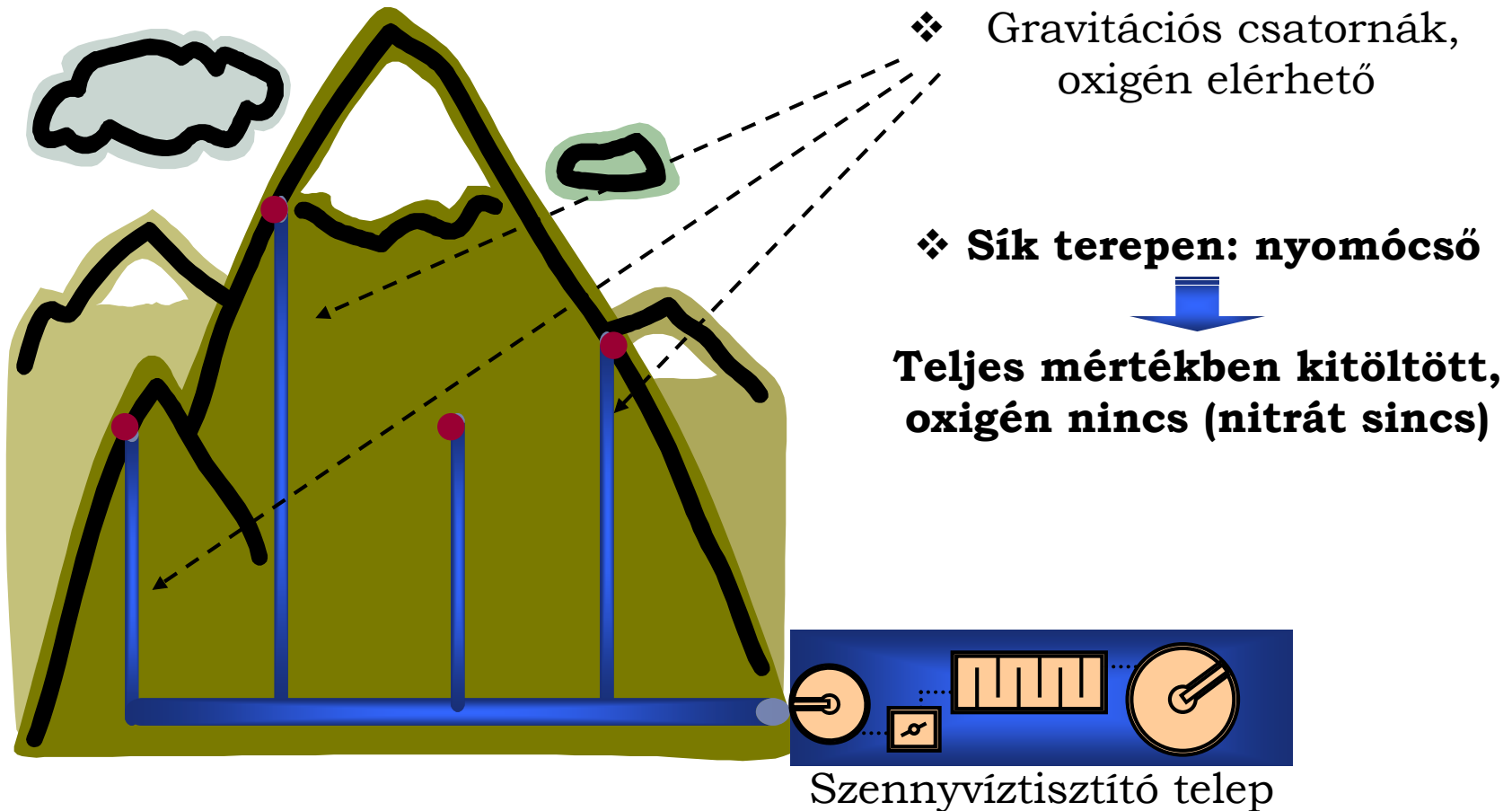


- Megtapadt biofilm ill. üledék
- Hosszú tartózkodási idő
- Magas szennyvízhőfok



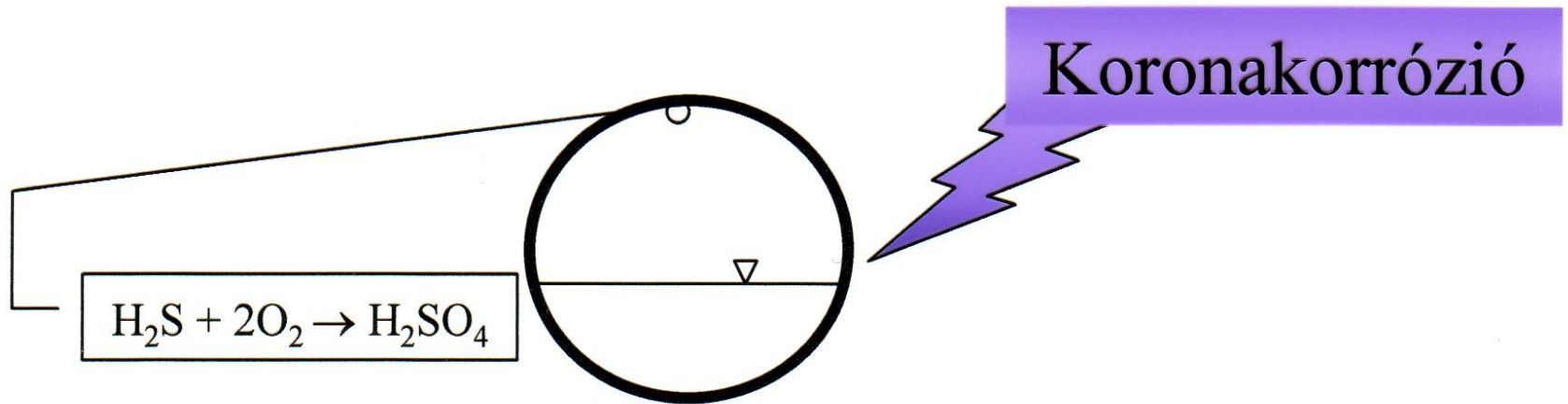
A spontán biodegradáció a rendszer kialakításától, üzemeltetésétől és a körülményektől függő irányban és mértékben folyik

A biodegradáció iránya az oxigén elérhetősége szerint



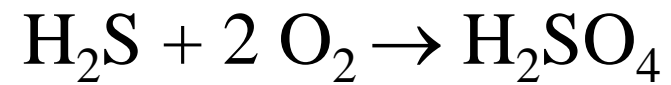
A kénhidrogén kedvezőtlen hatásai

Bűzképzés
(szagküszöb: 0,1 ppb)



Mérgező hatás

Műtárgyak esetében erőteljes korrózió



A képek Dr. Jobbágy Andrea felvételei

Bűzmegeelőző eljárások

■ Tüneti kezelések

Pl.:

- ❑ Fedőszag
(allergia)
- ❑ H₂S kiáramlás meggátlása
(anaerobitás elmélyül)
- ❑ Kiszívás és feloxidálás -
vegyszeresen vagy mikrobiálisan
(környezet H₂S terhelése nőhet,
korrózió fokozódhat)

- Kénhidrogén termelés elnyomása oxigén vagy nitrát adagolással
(metabolikus előny alapján)



A biofilmben nem bűztermelő baktériumok szaporodnak el
(csatornaiszap mennyiség nőhet)

A bűzképzés nitrát adagolással való gátlásának alapja

A nitrát felhasználás metabolikus előnye a szulfátredukcióval szemben:

- Kénhidrogén nem képződik

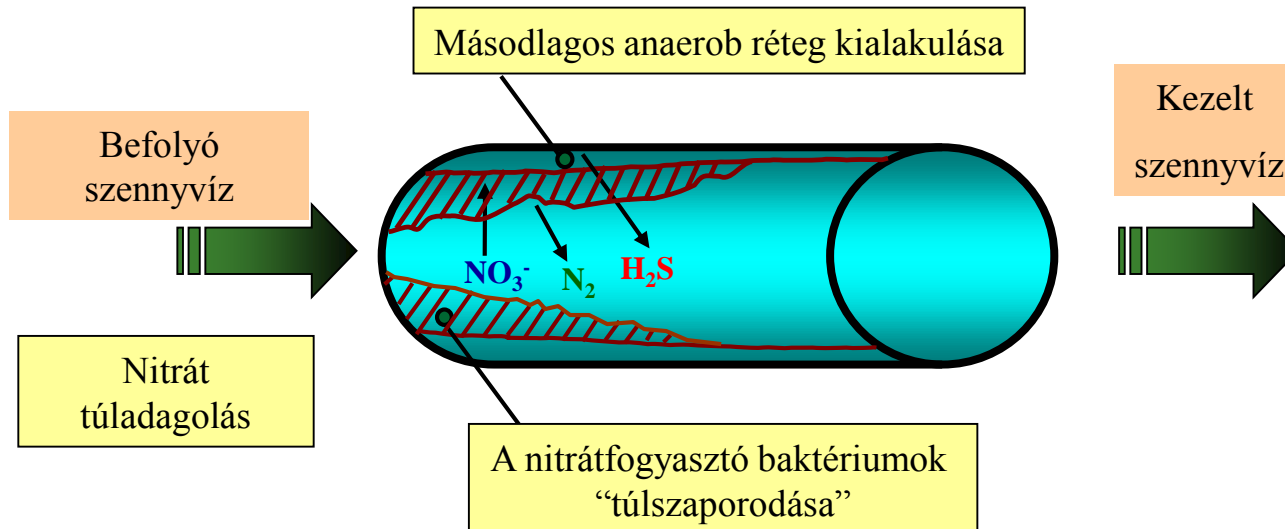
vagy

- feloxidálódik



A DRV - BME eljárás újdonsága „limitált nitrát adagolás”

A denitrifikálók túlszaporodásának meggátlása



A denitrifikálók szaporodásának limitálása

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S} \cdot \frac{NO_3^-}{K_{s_{NO_3^-}} + NO_3^-}$$

- μ = denitrifikáló mikroorganizmusok fajlagos növekedési sebessége (1/d)
 μ_{\max} = denitrifikáló mikroorganizmusok maximális fajlagos növekedési sebessége (1/d)
 S = szubsztrát koncentráció (mg/l)
 NO_3^- = nitrát koncentráció (mg/l)
 K_S = szubsztrátra vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)
 $K_{s_{NO_3^-}}$ = nitrátra vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)

Nitrát alacsony szinten tartása

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]
 - BOI - biokémiai oxigén igény: A vízben levő szerves anyagok baktériumok által, adott idő alatt, adott hőmérsékleten történő aerob oxidációjához szükséges oldott oxigén mennyisége [mg O₂/l szennyvíz]
 - TOC - összes szerves szén [mg/l]
-

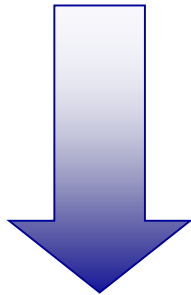
A szennyvíz minősítése

- Lebegő anyag: 0,45 μ m-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]

A szennyvízminőség meghatározása eredet szerint

Kommunális

Ipari



„tervezési paraméter“

Átlagban a lakosok vízfogyasztása és szennyezőanyag kibocsátása azonos

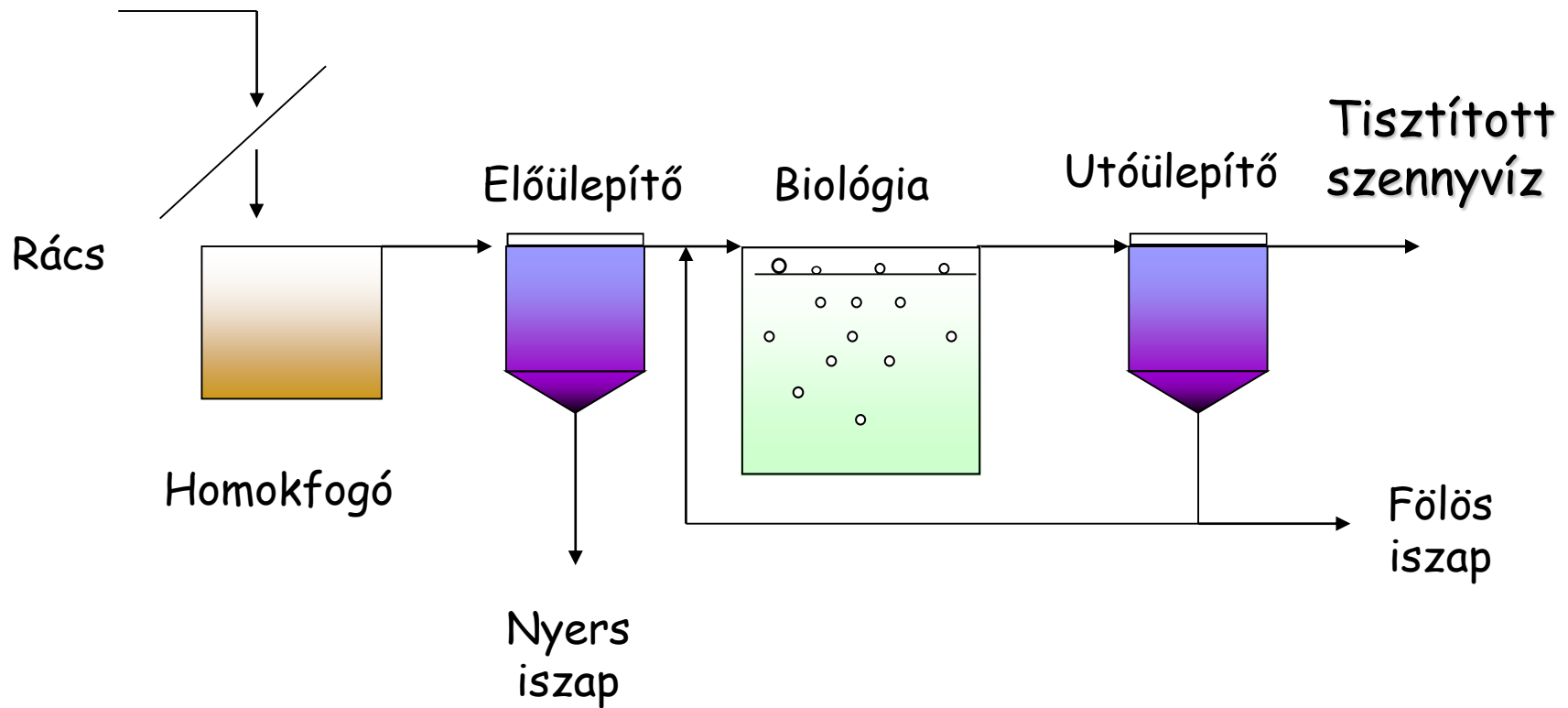
A tisztított szennyvízzel szemben támasztott követelmény

- 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”.
-

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás folyamata

**Nyers
szennyvíz**

A biológiai tisztítás előnye: kisebb képződő iszapmennyiség
(szervesanyag részben CO_2 -dá alakul)



Lassan szaporodó mikroorganizmusoknak hosszú reaktorbeli tartózkodási időre van szüksége

Biomassza reaktorbeli tartózkodási ideje: Θ_c (iszapkor)

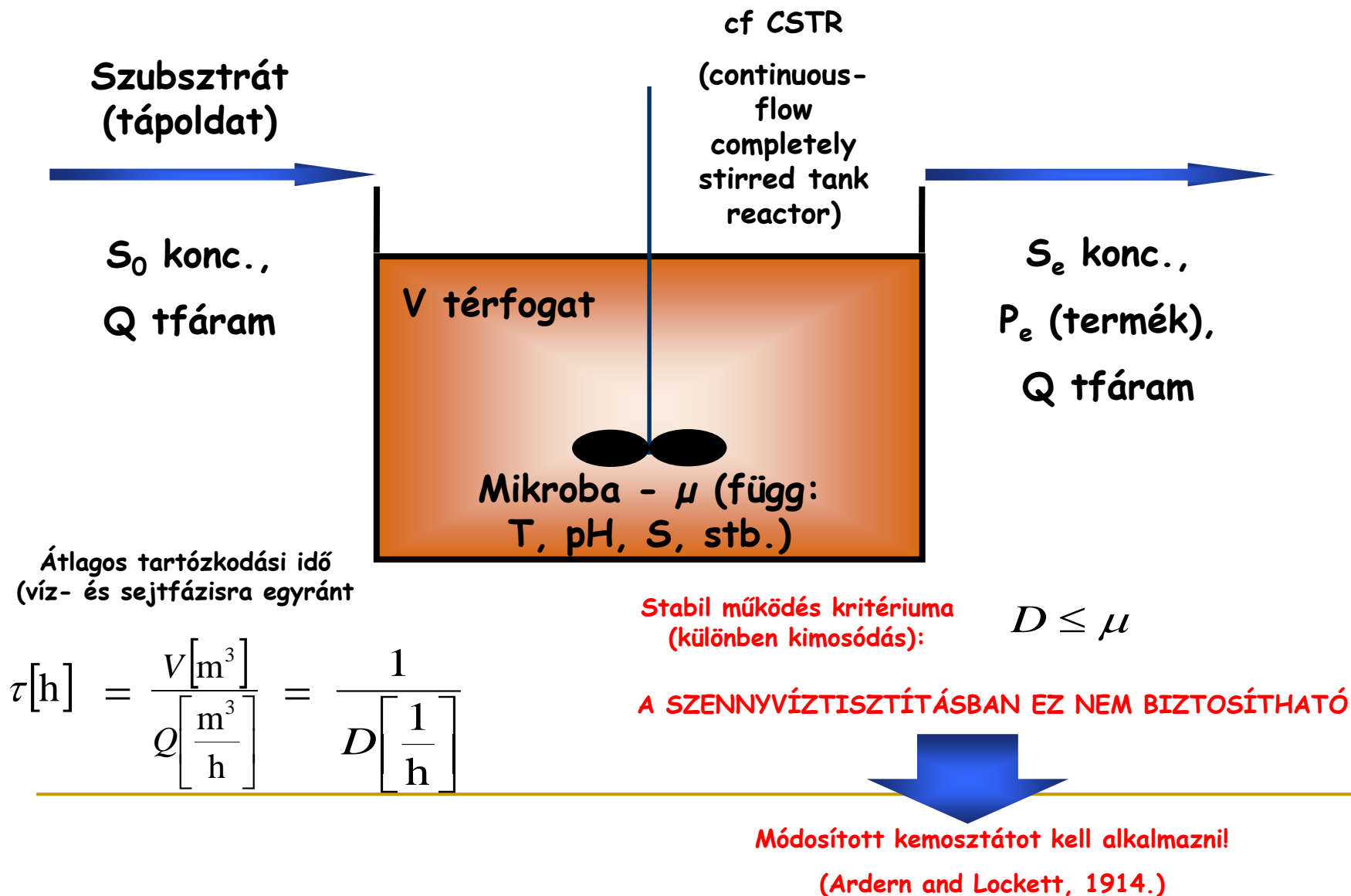
$$\frac{1}{\mu \left[\frac{1}{\text{d}} \right]} = \Theta_c [\text{d}] = \frac{X \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot V [\text{m}^3]}{\text{Iszapelvétel} \left[\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right]}$$

Rendszerbeli biomassza mennyisége

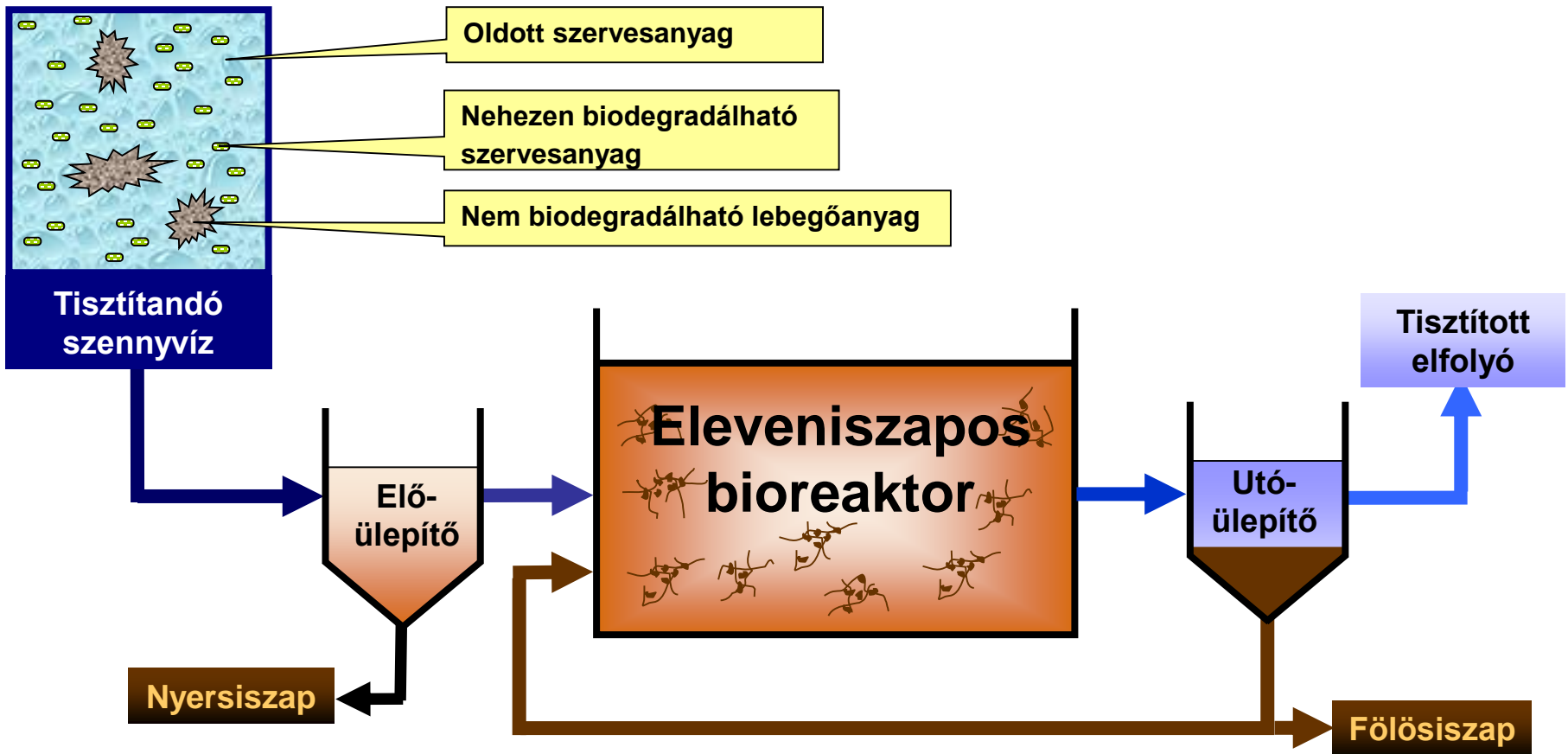
Fajlagos szaporodási sebesség

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

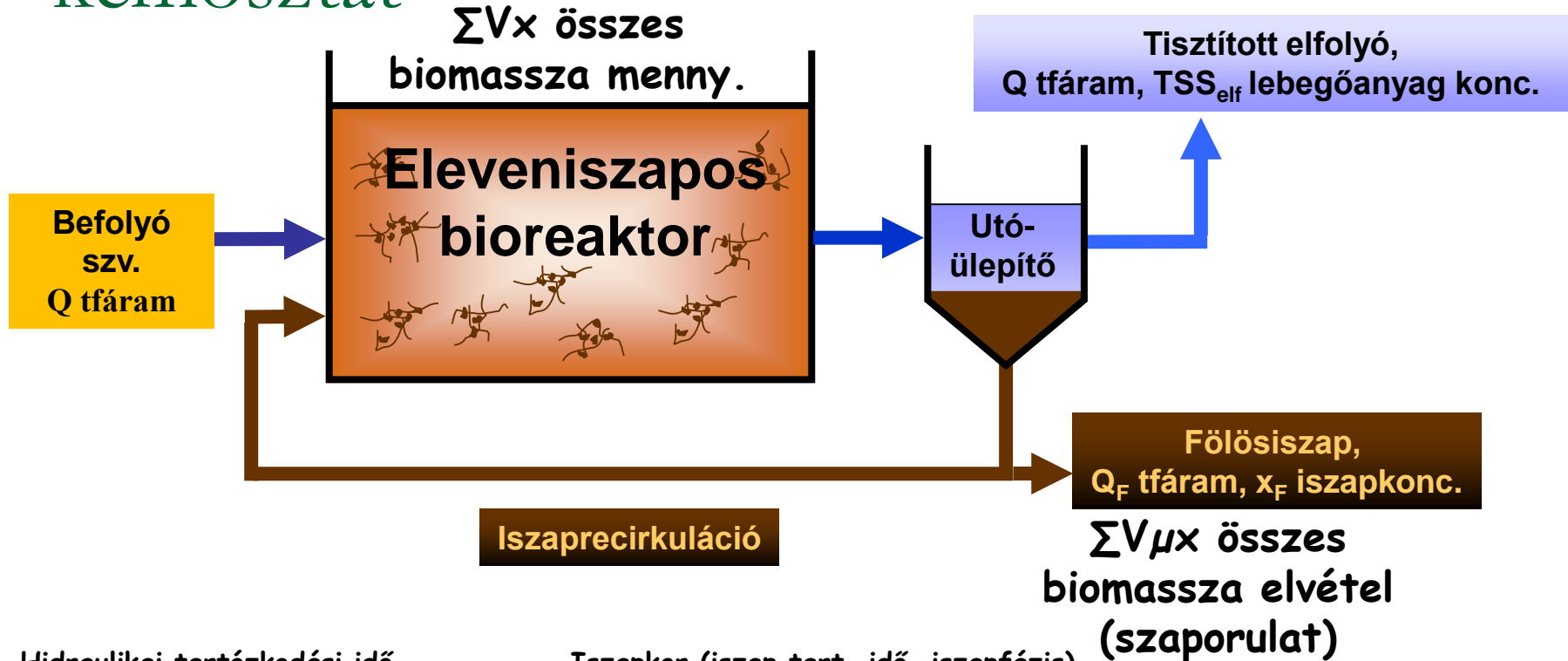
Folytonos kemosztát (pl. gyógyszergyári fermentor) - A stabil működés kritériuma



Az eleveniszapos szennyvíztisztítás világszerte a leggyakoribb



Az eleveniszapos rendszer mint módosított kemosztát



Hidraulikai tartózkodási idő
(csak a vízfázis)

$$HRT[h] = \frac{V \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{Q \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}$$

Hydraulic Retention Time

Iszapkor (iszap tart. idő, iszapfázis)

$$SRT[d] = \frac{\sum X \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot V \left[\text{m}^3 \right]}{\sum V \cdot \mu \cdot X \left[\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right]} \equiv \frac{1}{\mu} \equiv \frac{\sum V \cdot X}{Q_F \cdot X_F + Q \cdot TSS_{elf}}$$

Sludge Retention Time, sludge age

Iszapkor definíciója, az eleveniszapos rendszer stabil működésének feltétele

$$\frac{1}{\mu \left[\frac{1}{d} \right]} \leq SRT[d] = \frac{X \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot V \left[m^3 \right]}{I_{szap\,el\,vétel} \left[\frac{kg}{d} \right]}$$

Rendszerbeli biotomassza mennyisége

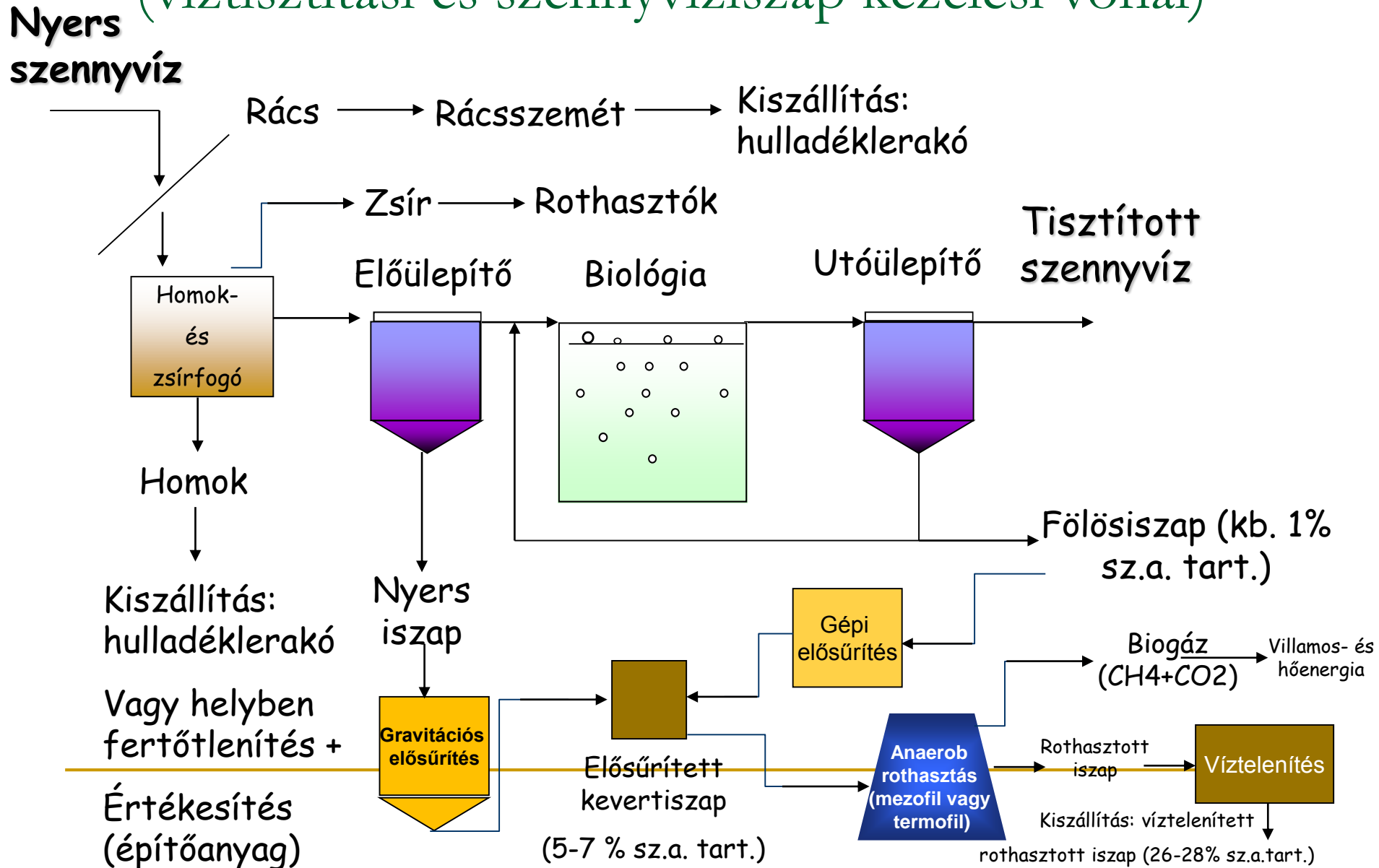
Fajlagos mikroba növekedési sebesség

Azaz szükséges feltétel:

$$\mu_A \geq \frac{1}{SRT}$$

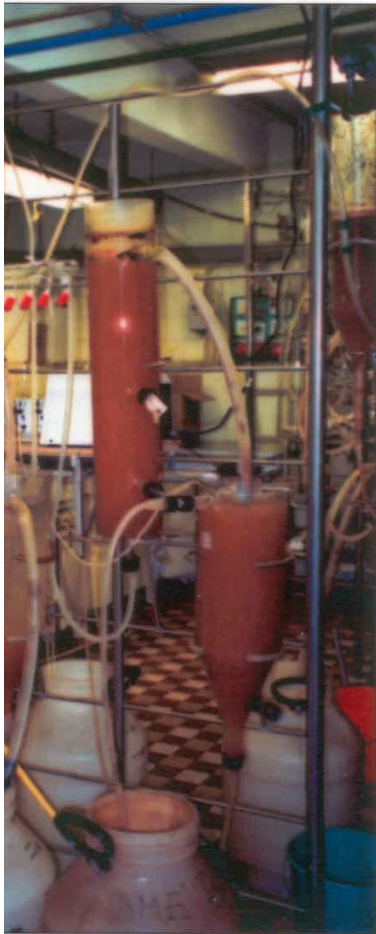
μ_A : autotróf fajlagos növ. sebesség (a számomra szükséges leglassabban növekedő mikrobaéhoz kell igazítani).

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás folyamata (víztisztítási és szennyvíziszap kezelési vonal)



Szétválasztási probléma

akadályozza a nagy biomassza koncentráció fenntartását



**Laboratóriumi
modellszennyvízzel**

Hagyományos
megoldás:
több utóülepítő és
reaktor építés

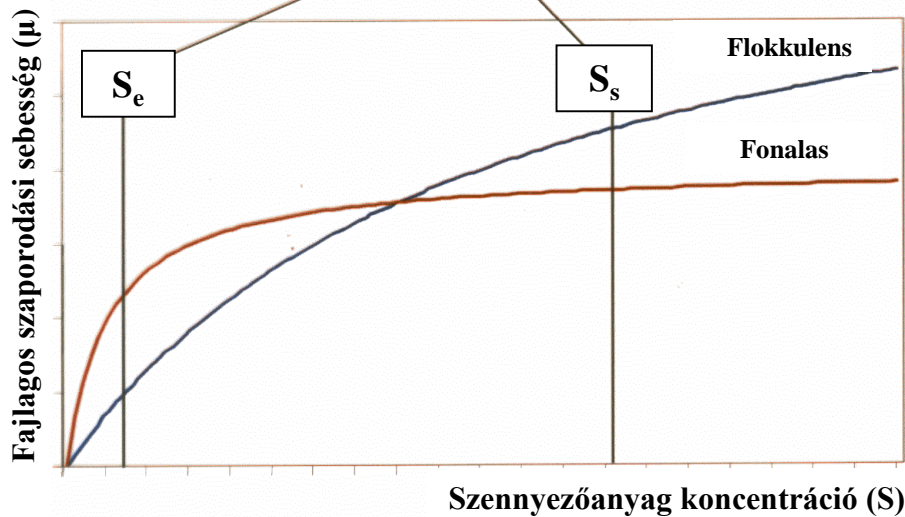
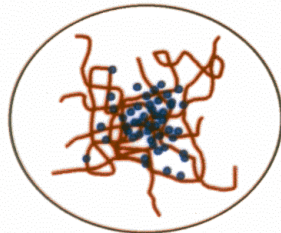


Ülepedés vizsgálat

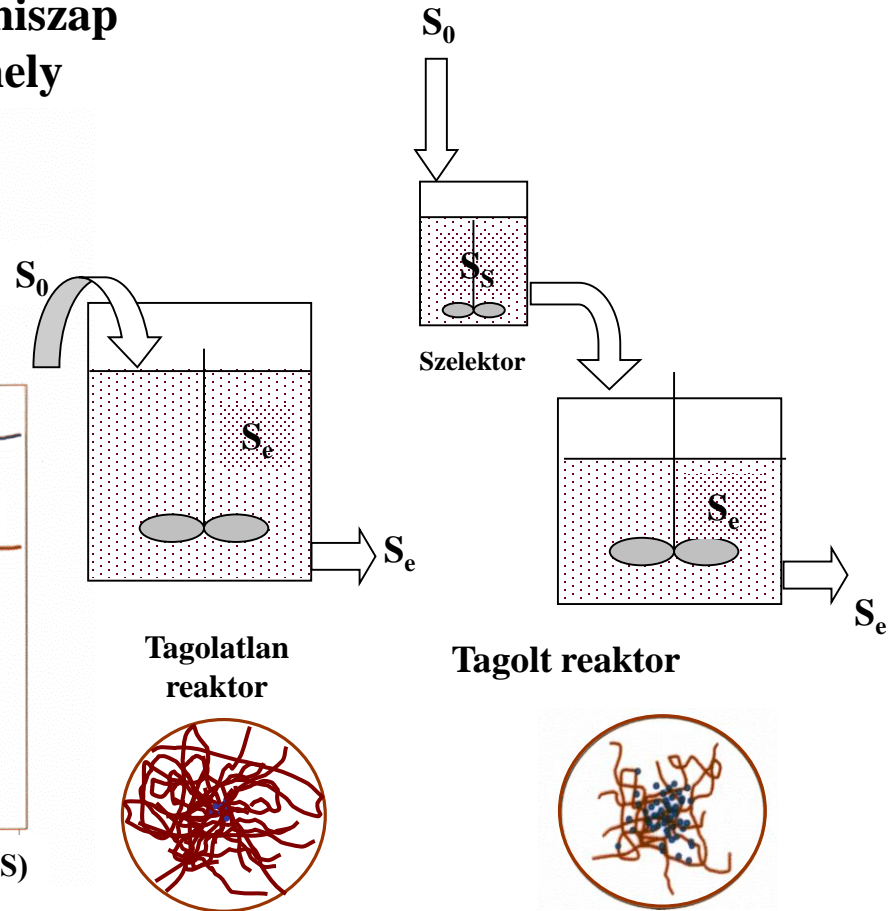
A képek Dr. Jobbágy Andrea felvételei

Az eleveniszap ülepedés javítása szelektorrall

Eleveniszap
pehely



Monod kinetika



*A biológiai
nitrogéneltávolítás*

A biológiai nitrogéneltávolítás lépései

Ammonifikáció:

szerves N \longrightarrow ammónia-N

Nitrifikáció:

ammónia-N \longrightarrow nitrát-N

Denitrifikáció:

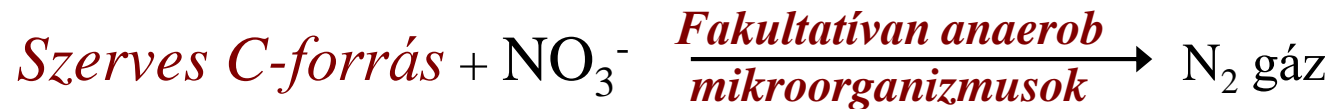
nitrát-N \longrightarrow nitrogén gáz

Nitrifikáció és denitrifikáció

Nitrifikáció



Denitrifikáció



A tisztítandó szennyvíz nitrogén tartalma

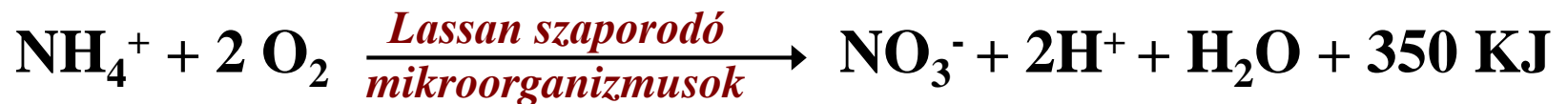
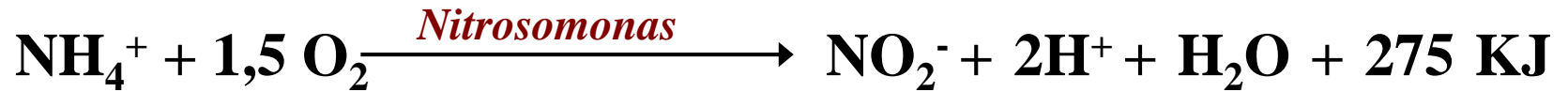
$$\text{TN} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{szerves N} = \text{TKN}$$

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

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

szennyvízfüggő, csatornafüggő, hőfokfüggő

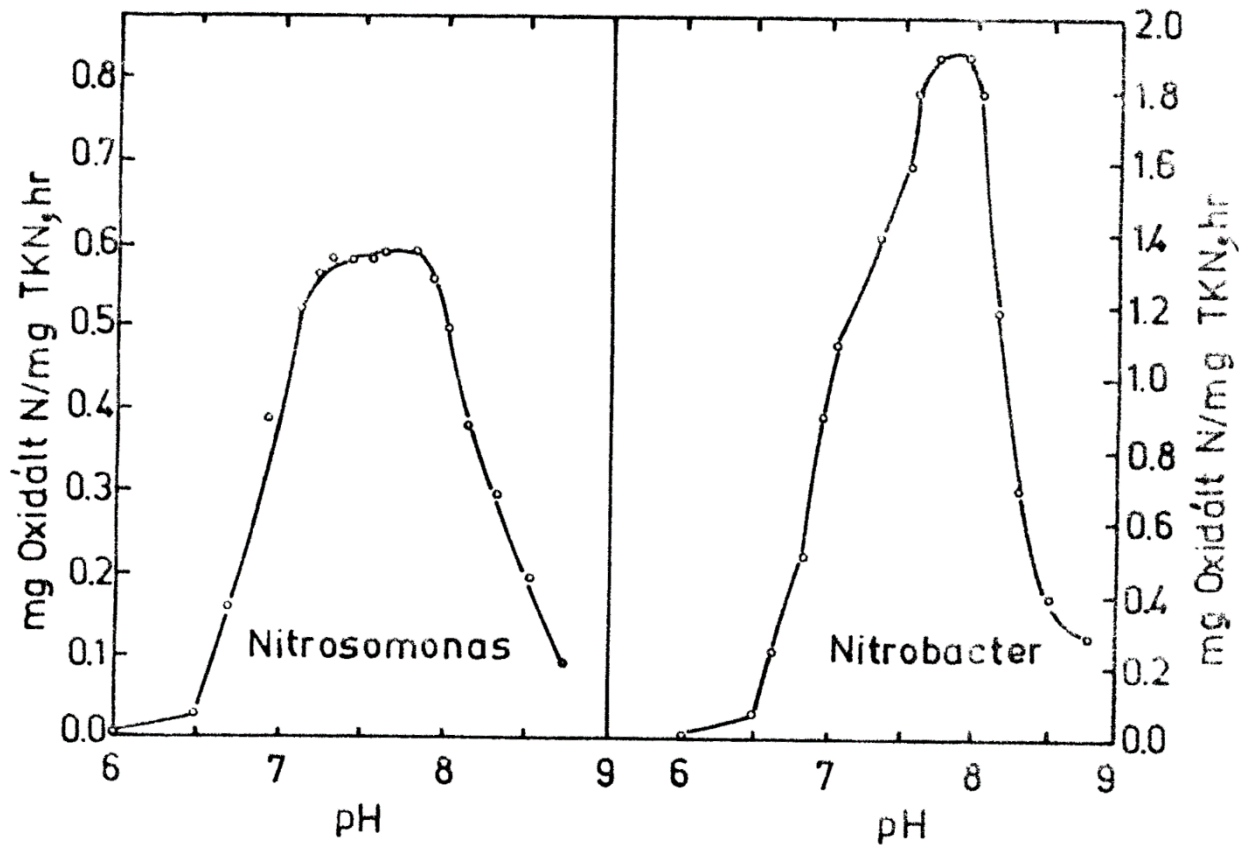
Nitrifikáció



- Nagy oxigén igény
- Kis μ érték 

Nagy rendszerbeli
tartózkodási idő igény

A nitrifikációs hatékonyság pH függése



Lassan szaporodó mikroorganizmusoknak hosszú reaktorbeli tartózkodási időre van szüksége

Biomassa reaktorbeli tartózkodási ideje: Θ_c (iszapkor)

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

Rendszerbeli biomassa mennyisége

Fajlagos szaporodási sebesség

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

Nitrifikáló mikroorganizmusok szaporodásának leírása

$$\mu_A = \mu_{Amax} \cdot \frac{NH_4 - N}{K_{sNH_4-N} + NH_4 - N} \cdot \frac{DO}{K_{sO_2} + DO}$$

μ_A = nitrifikáló mikroorganizmusok fajlagos növekedési sebessége (1/d)

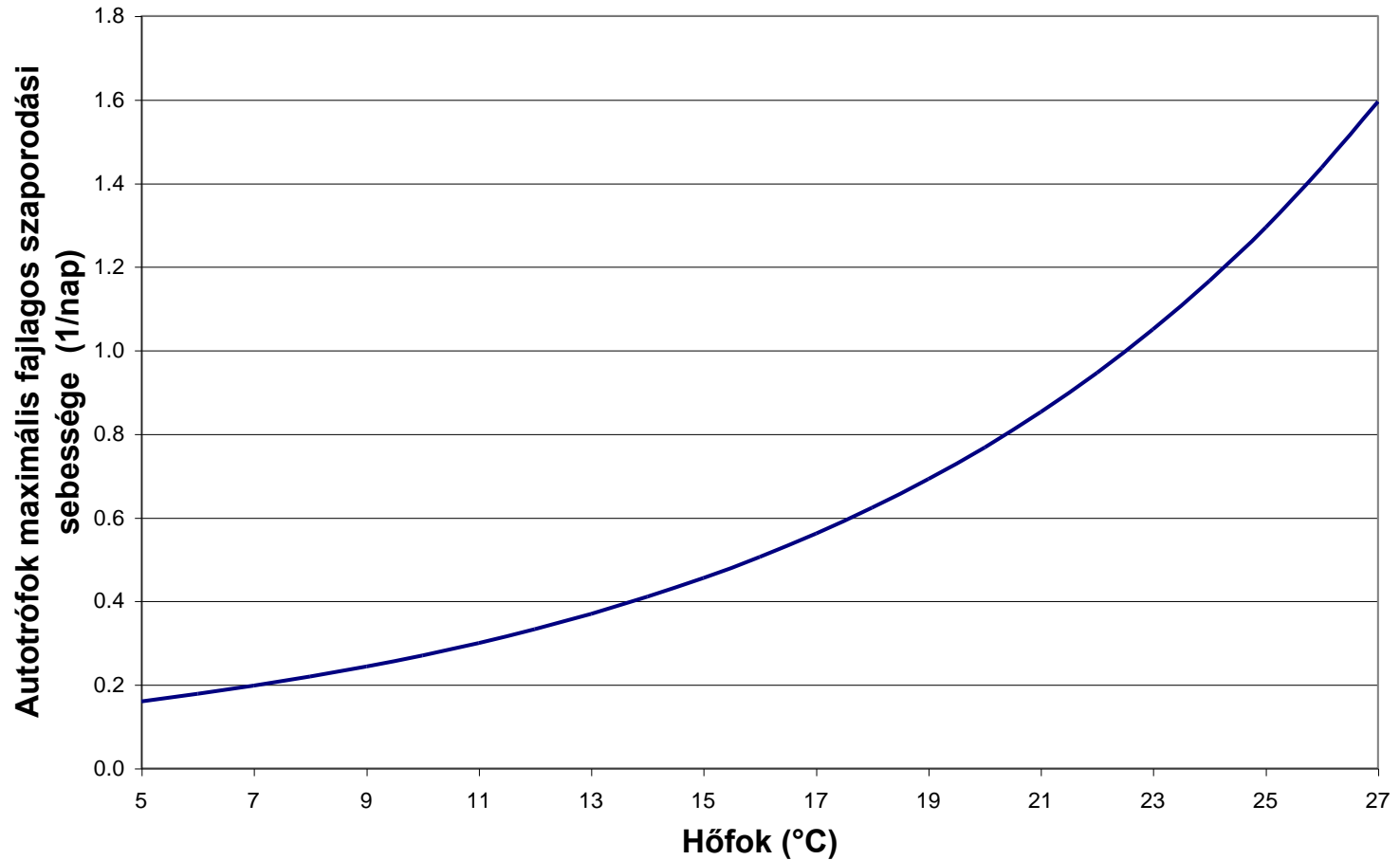
μ_{Amax} = nitrifikáló mikroorganizmusok maximális fajlagos növekedési sebessége (1/d)

NH_4-N = ammónia-N koncentráció (mg/l)

K_{sNH_4-N} = ammónia-N-re vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)

K_{sO_2} = oldott oxigénre vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)

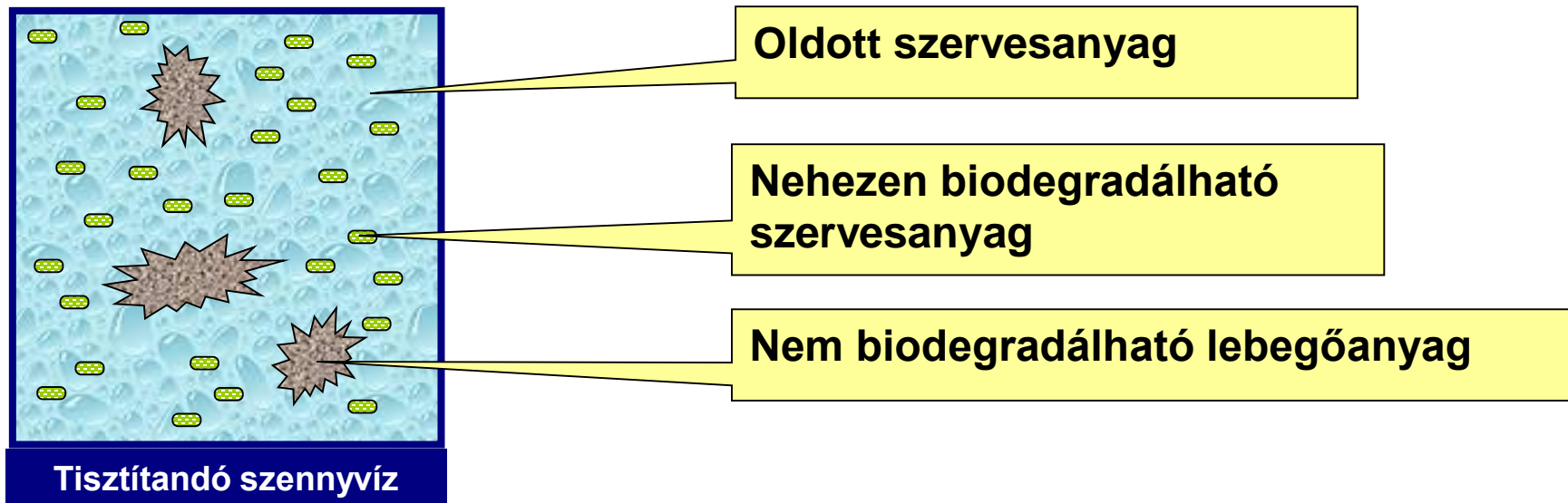
Nitrifikálók szaporodási sebességének hőfokfüggése



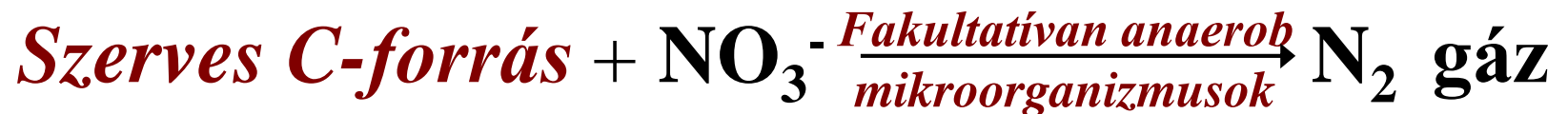
Nitrifikációt gátló anyagok

Gátló vegyületek (pl.)	75%-os inhibíciót eredményező koncentráció [ppm]
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

Denitrifikáció: megfelelő C-forrás igény



Denitrifikáció



- Oxigén távollétében
- Denitrifikálható szénforrás igény

Az oldott oxigén szint hatása a denitrifikációs sebességre

Denitrifikálók anoxikus növekedése

($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$)

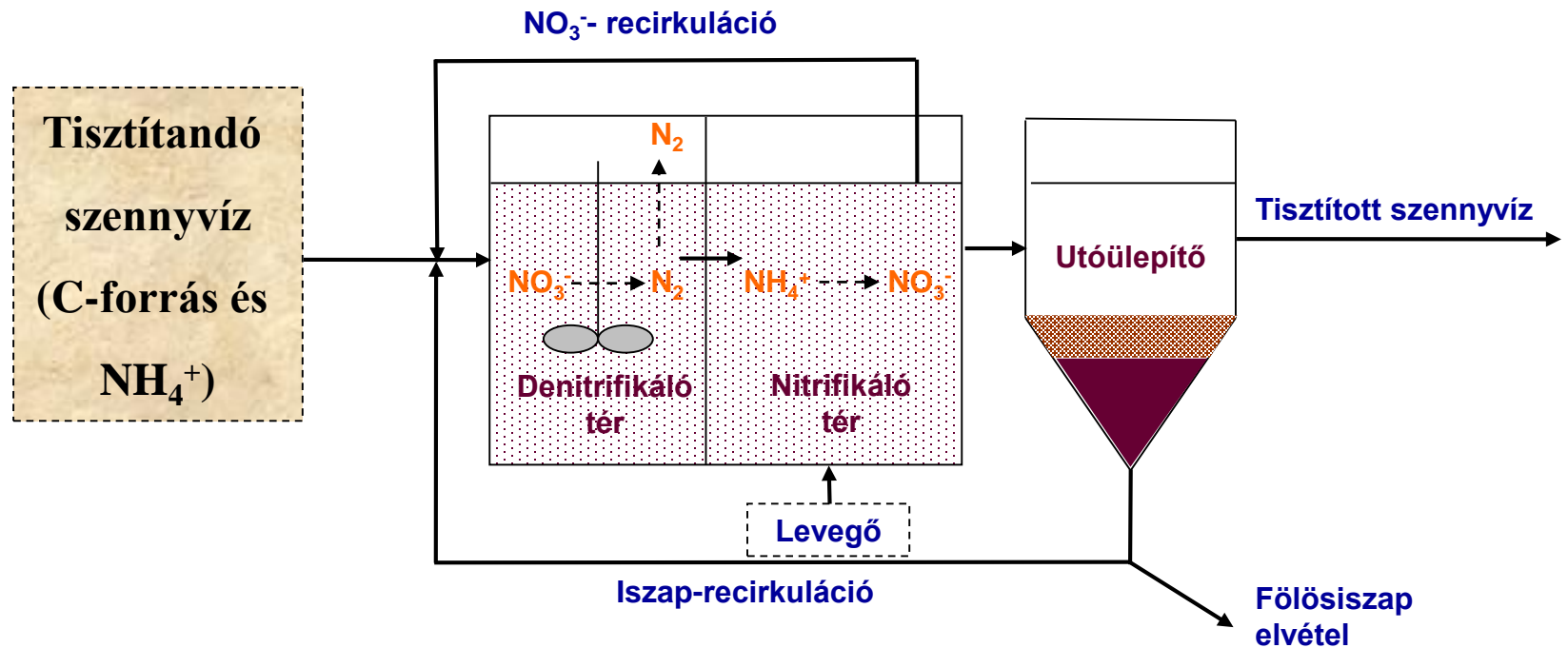
Fajlagos növekedési sebesség [T^{-1}]:

$$\mu_{DEN} = \mu_{\max,H} \eta_g \frac{S_S}{K_S + S_S} \frac{S_{NO3}}{K_{NO3} + S_{NO3}} \frac{K_{NO2,2}^I}{K_{NO2,2}^I + S_{NO2}} \frac{K_{O2,2}^I}{K_{O2,2}^I + S_{O2}} X_{DEN}$$

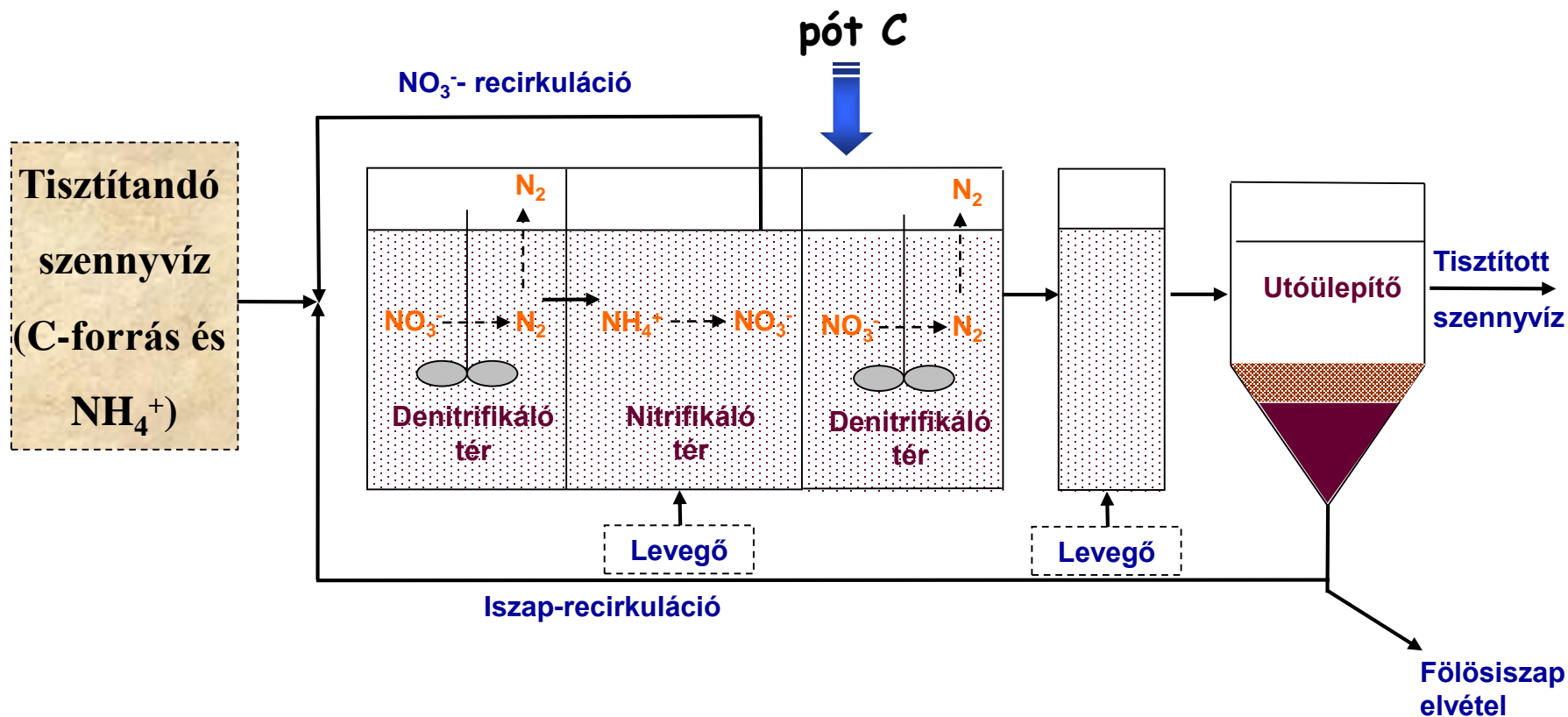
||

Oxigén inhibíciós koefficiens: $0,2 \text{ mg l}^{-1}$

Biológiai nitrogéneltávolítás elődenitrifikációval



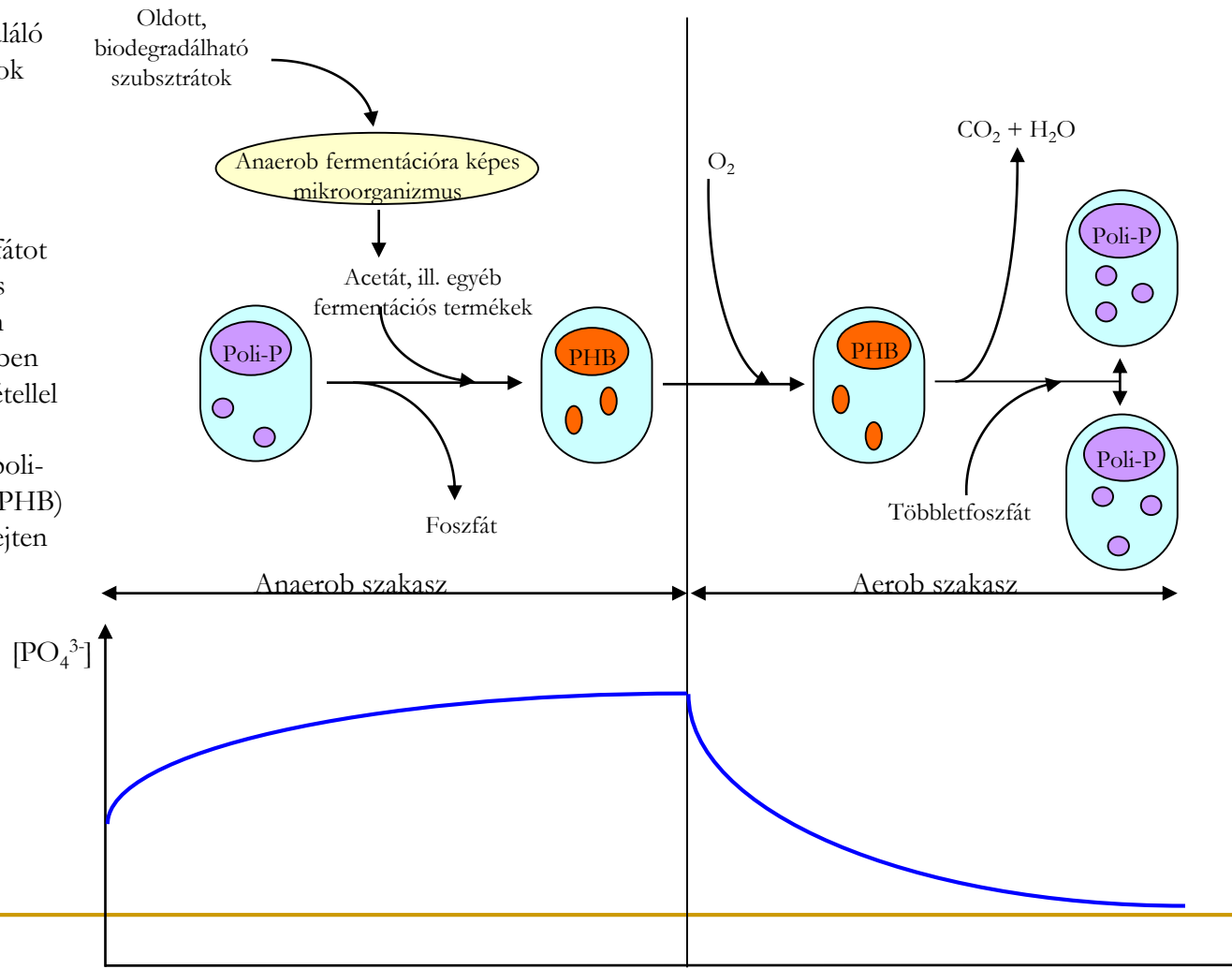
Biológiai nitrogéneltávolítás kombinált elő- utódenitrifikációval



Utódenitrifikációnál pótszénforrás adagolása szükséges

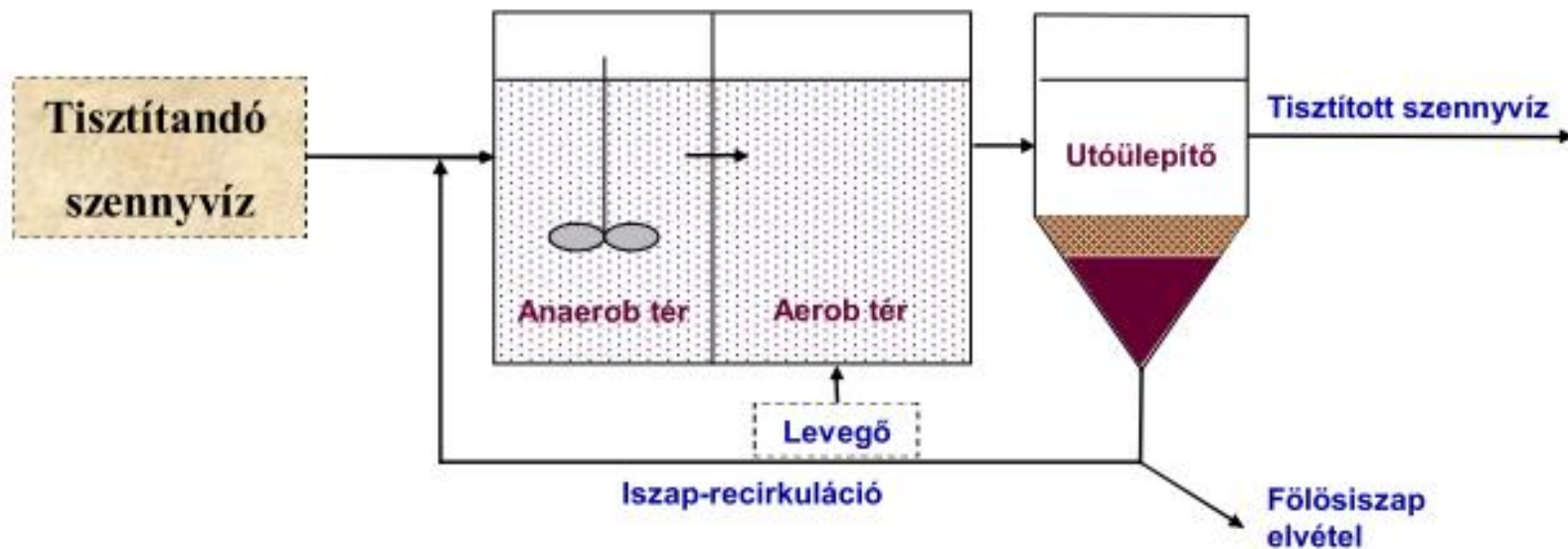
A biológiai többletfoszfor eltávolítás mechanizmusa és az ortofoszfát koncentráció-profil alakulásav

A foszfor akkumuláló mikroorganizmusok (PAO) anaerob környezetben a szervezetükben felhalmozott poli-foszfátokból foszfátot szabadítanak fel és kinyomják a sejten kívüli térbe. Eközben szervesanyag felvétellel poli-hidroxi-alkanoátokat (pl. poli-hidroxi-butíratot, PHB) halmoznak fel a sejten belül.



A PAO-k aerob környezetben növekednek és szaporodnak (energiát szabadítanak fel) a szervezetükben elraktározott PHB-ből. Mindeközben foszfátot felvéve környezetükből, poli-foszfátokként beépítik azt a szervezetükbe. Az anaerob foszfor visszanyomás, és az aerob foszfor eltávolítás nettó kihozatala összességében csökkenő elfolyó foszfát koncentráció lesz a víz fázisban.

A/O vagy Phoredox eljárás



UCT eljárás

