



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

Vegyipari és Biomérnöki Műveletek

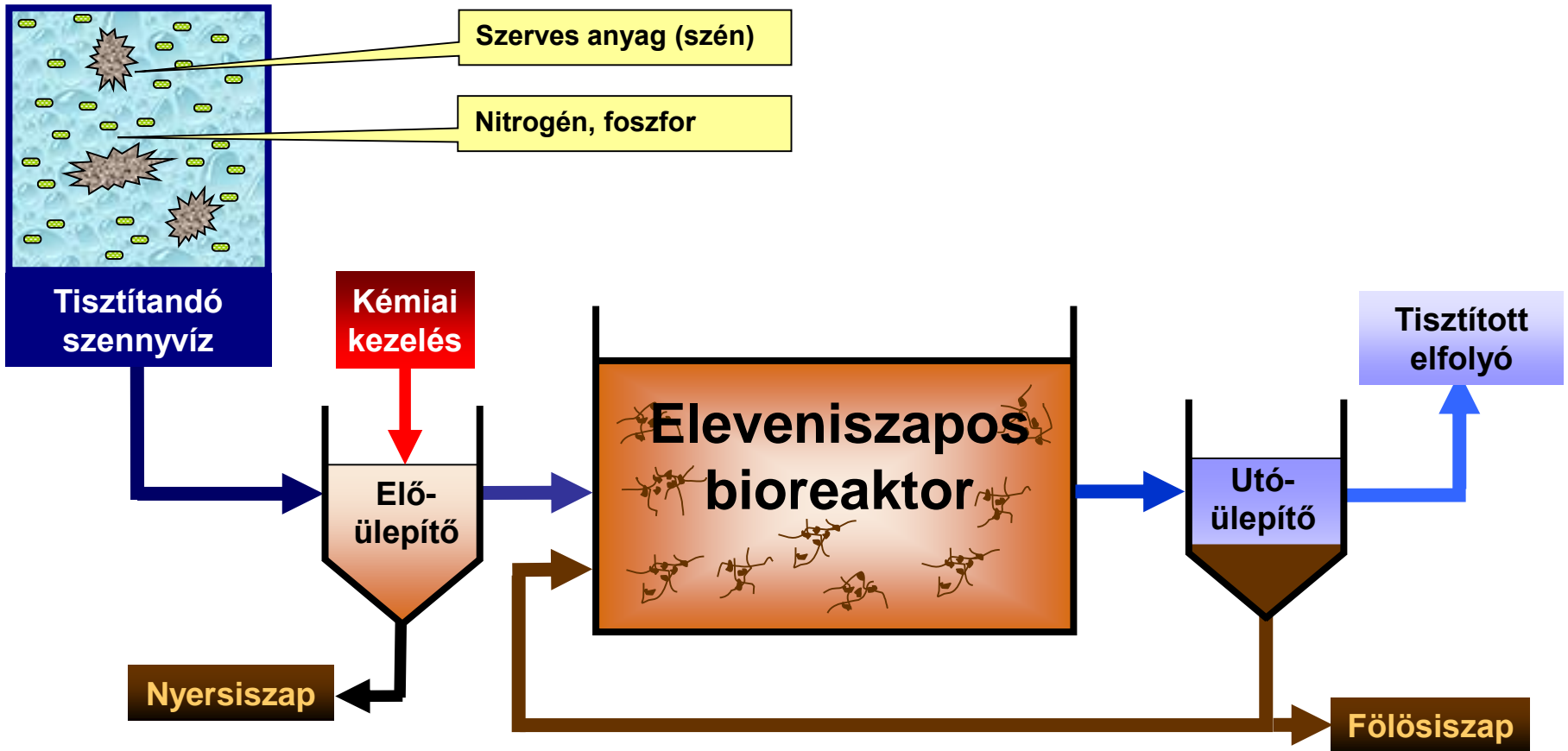
Szennyvíztisztítási biotechnológia

<http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/abet/vebimanager/>

Dr. Bakos Vince, Dr. Tardy Gábor Márk

Az előadás anyagban Dr. Jobbágy Andrea által összeállított tananyagok is megjelennek

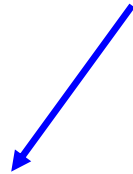
Az eleveniszapos szennyvíztisztítás



*I. A biológiai bonthatóság
fogalma és környezetvédelmi
jelentősége*

Mi a szennyvíz?

- Wastewater - hulladék víz
- Abwasser - kilépő víz



Kommunális



Ipari



A szennyvizek két alaptípusa

Kommunális

- Szervesanyag tartalom – főleg biológiailag bontható
- N-tartalom: főleg $\text{NH}_4\text{-N}$
- P-tartalom: $\text{PO}_4\text{-P}$ és szerves P



Ipari

- Szervesanyag tartalom – függ az ipartól...
- N-tartalom – függ az ipartól...
- P-tartalom – függ az ipartól...



Biodegradáció fogalma mértéke

- **Biodegradáció:** egy szerves vegyület biológiai átalakítása egy másik vegyületté a lebontás (dekompozíció) irányában
 - **Mineralizáció:** eredménye CO_2 , H_2O , szervesetlen anyagok (pl.: ammónia) és elszaporodott biomassza (oldott szerves szén nem marad)
 - **Elfogadható bonthatóság:** az anyag elveszíti környezetre káros hatását (pl.: habzás, mérgező tulajdonság)
 - **Primer / részleges / teljes bonthatóság**
-

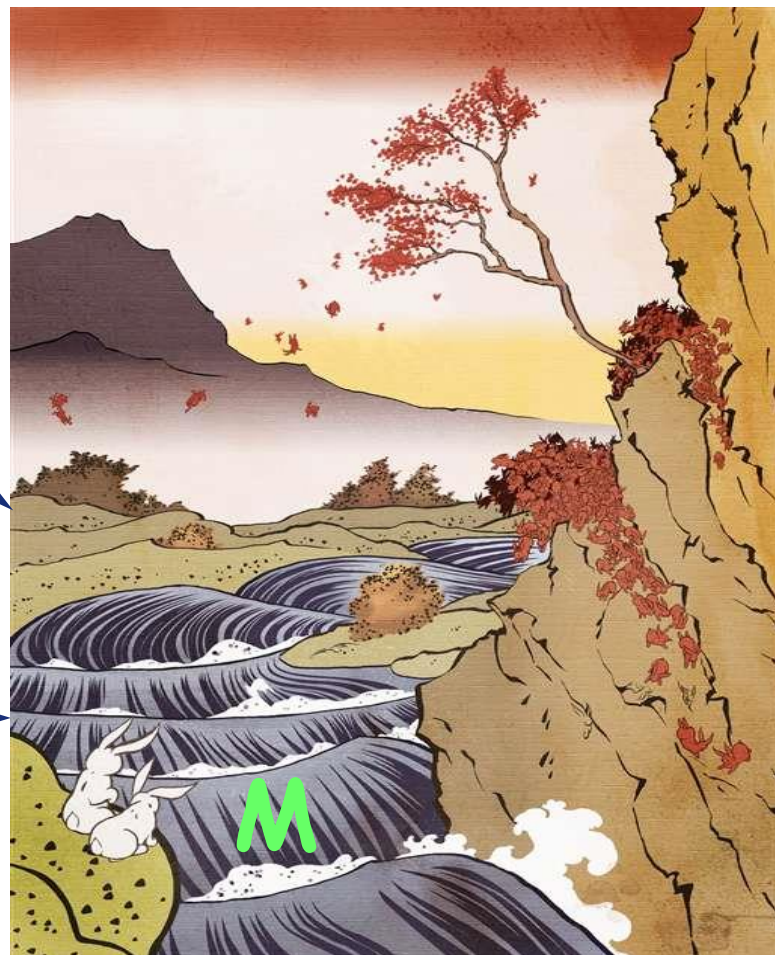
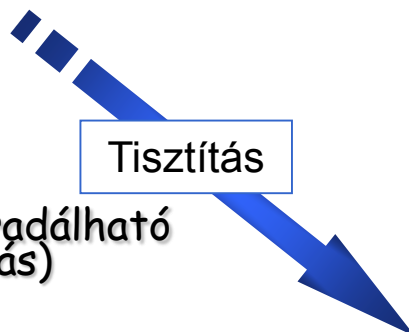
Szennyvíz és hatása a befogadóban



Kommunális **Jól** biodegradálható szervesanyagok (O_2 fogyasztás)



Ipari **Jól** vagy **rosszul** biodegradálható szervesanyagok (**felhalmozódik**)



Befogadó

Biodegradálható: mikroorganizmusok által bontható

Eutrofizáció / Vízvirágzás





II. A biodegradációt befolyásoló tényezők

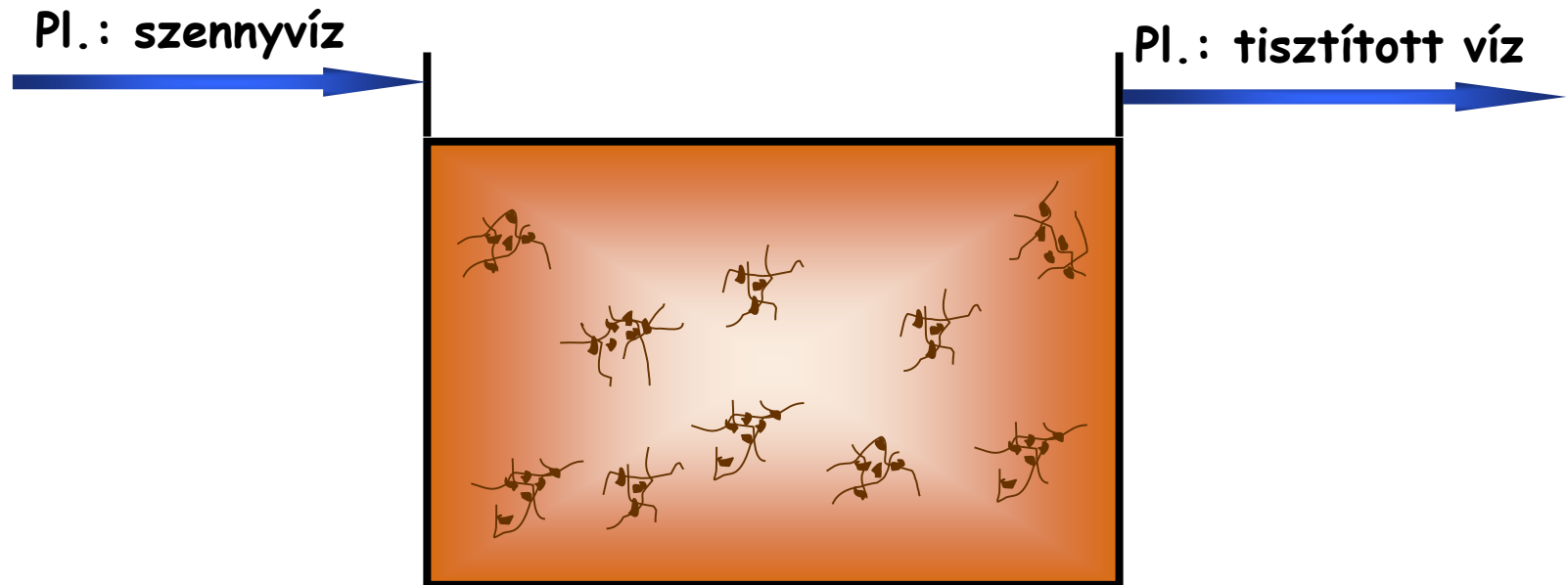
Főbb befolyásoló tényezők

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

Írányított biodegradáció:

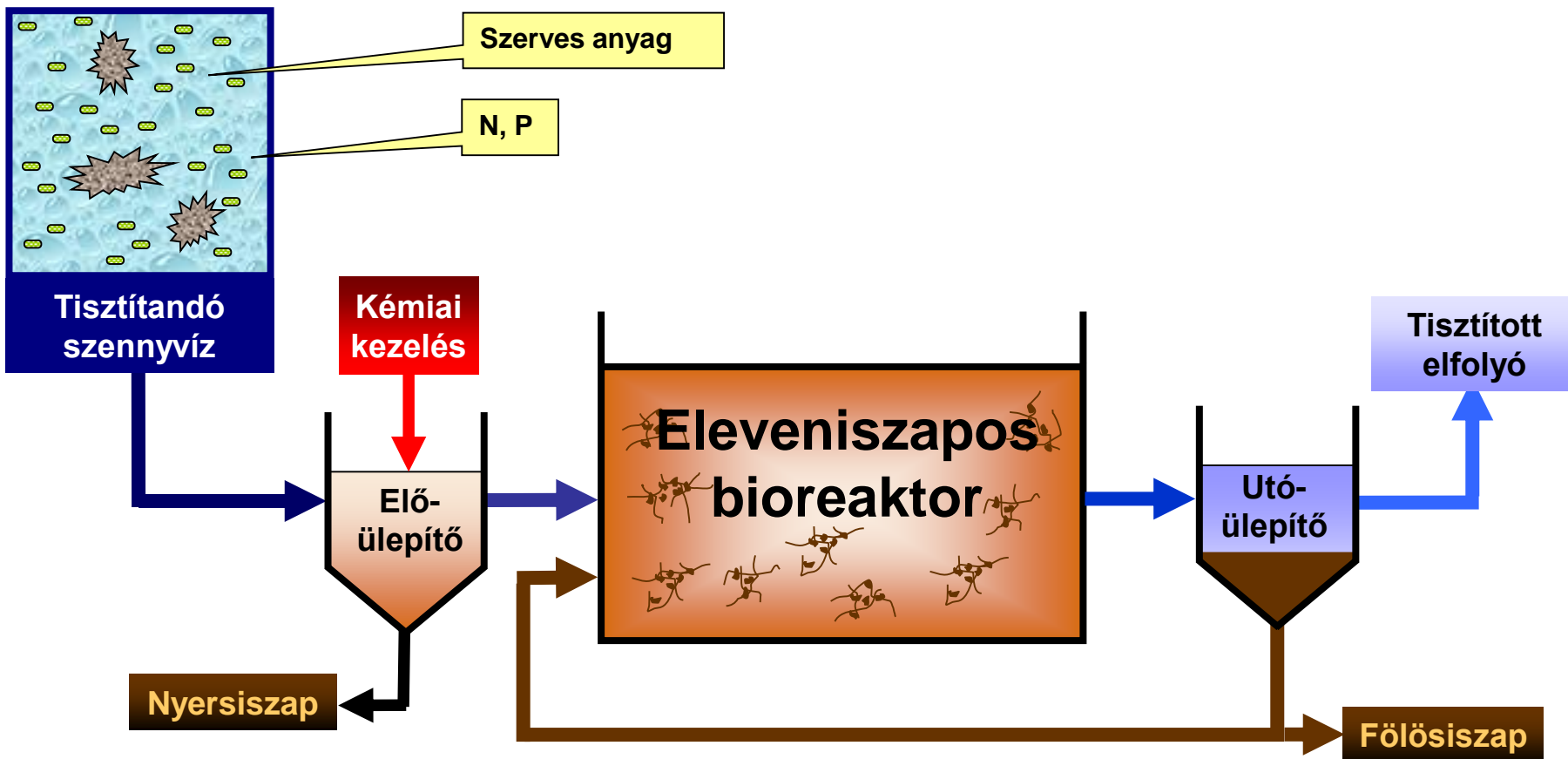
- Mikroorganizmusok szuszpendálva: eleveniszap

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



*III. A szennyvíz minősége és az
elfolyó tisztított vízre vonatkozó
követelmények*

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás



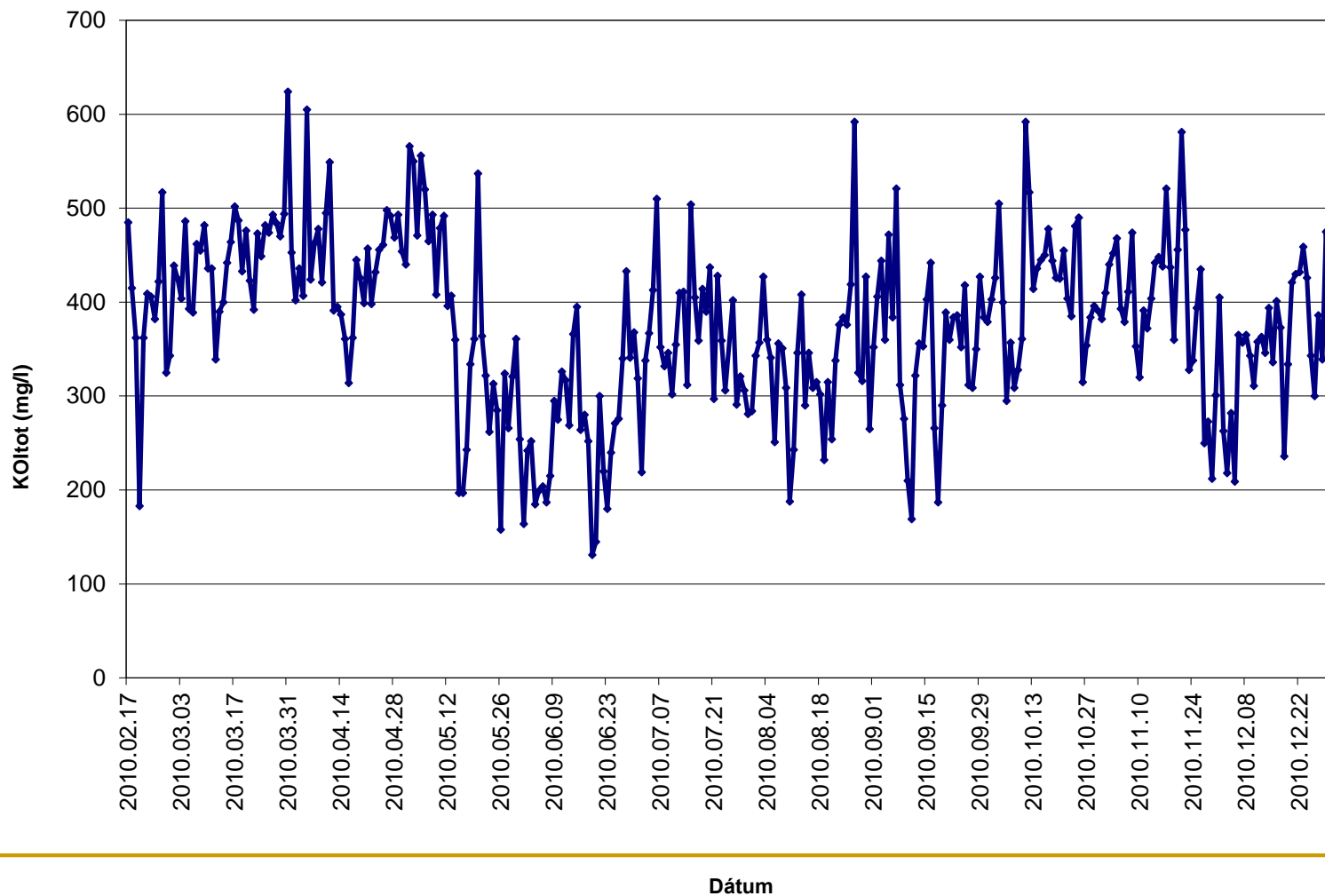
Befolyó szennyvízminőségi paraméterek

Paraméter	min	max	átlag	Tartósság	
				80 %	90 %
KOI tot.	131	624	372	452	487
KOI oldott.	58	248	158	207	214
BOI₅	75	390	222	284	297
TSS	46	532	218	266	294
TSS volat.	35,4	86,7	70,8	-	-
NH₄-N	8,4	43,4	28,4	36,9	39,3
TKN	15,1	61,2	39,2	49,3	53
TN	17,3	61,8	39,8	-	-
TP	2,1	7,9	5	6,1	6,4

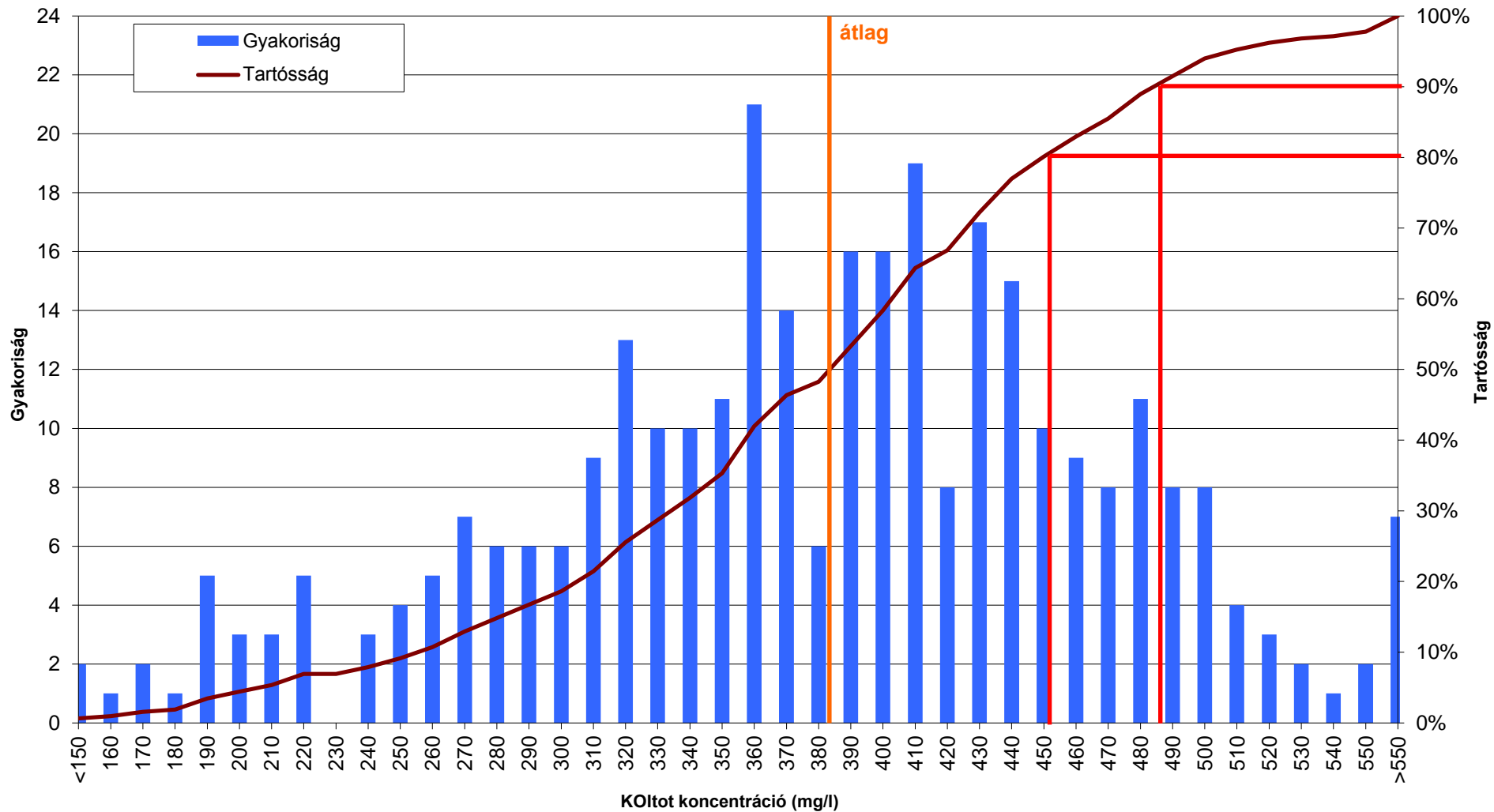
A szervesanyag tartalomra jellemző paraméterek

- **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** (oxidálószer) 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 levő szerves anyagok baktériumok által, adott idő alatt, adott hőmérsékleten történő aerob oxidációjához szükséges oxigén mennyisége [mg O₂/l szennyvíz]
 - Meghatározás (respirometriás módszerrel): A műszer regisztrálja a mérőedények gázterének a mintában biodegradációt végző biomassza O₂ fogyasztása miatti nyomás változását. (A keletkező CO₂-ot NaOH pasztillával nyeletjük el).

Egy szennyvíztisztító telep befolyó KOI értékeinek időbeli alakulása



Befolyó KOI hisztogram



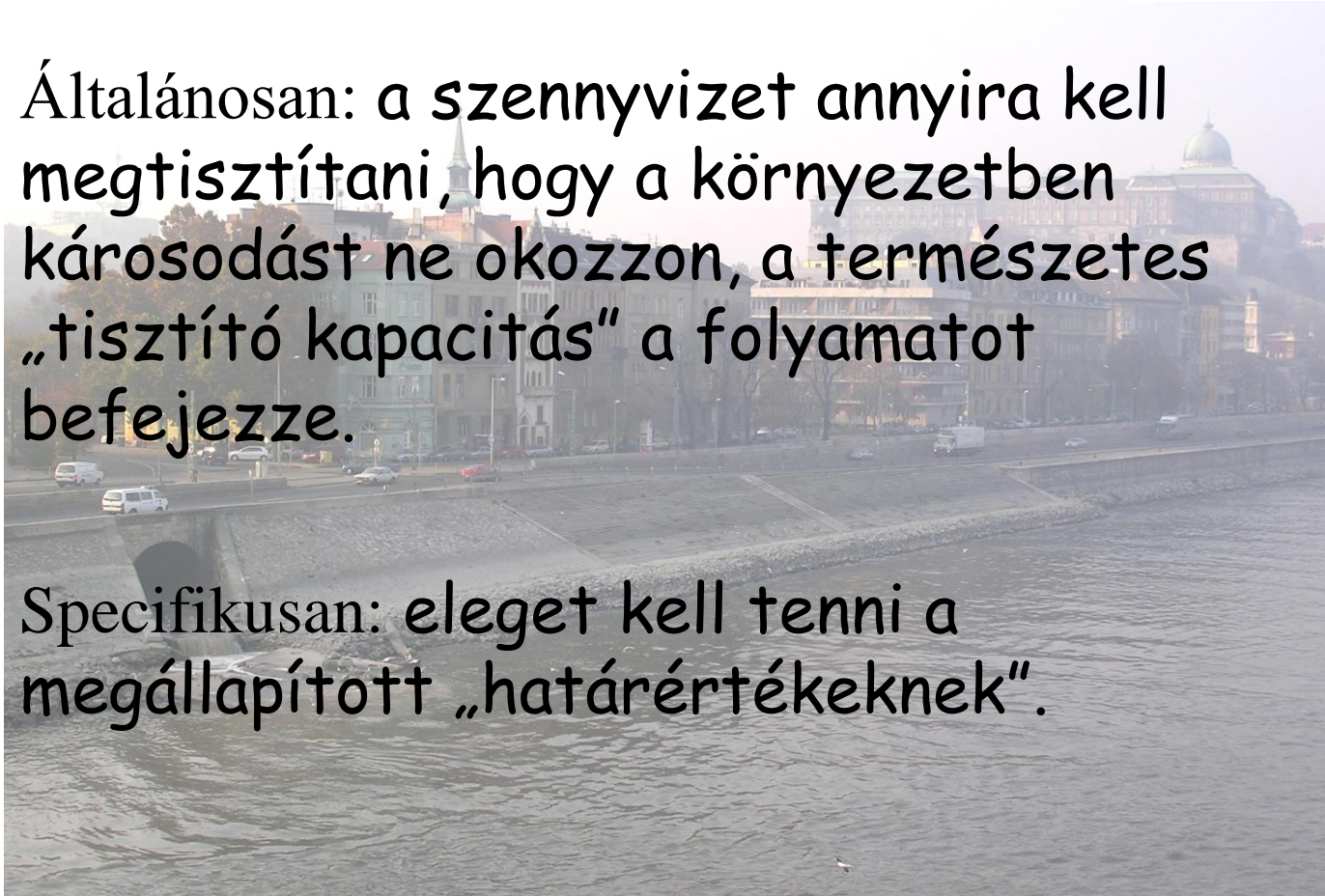
28/2004 (XII.25) KvVM rendelet

A szennyvizek befogadóba való közvetlen bevezetésére vonatkozó, vízminőségvédelmi területi kategóriák szerint meghatározott kibocsátási határértékek

Kategória →	I. Balaton és vízgyűjtője közvetlen befogadói	II. Egyéb védett területek befogadói	III. Időszakos vízfolyás befogadó	IV. Általános védetségű kategória befogadói
Paraméter ↓				
KOI (mg l ⁻¹)	50	100	75	150
BOI ₅ (mg l ⁻¹)	15	30	25	50
NH ₄ -N (mg l ⁻¹)	2	10	5	20
TIN (mg l ⁻¹)	15	30	20	50
TN (mg l ⁻¹)	20	35	25	55
TP (mg l ⁻¹)	0.7	5	5	10
TSS (mg l ⁻¹)	35	50	50	200

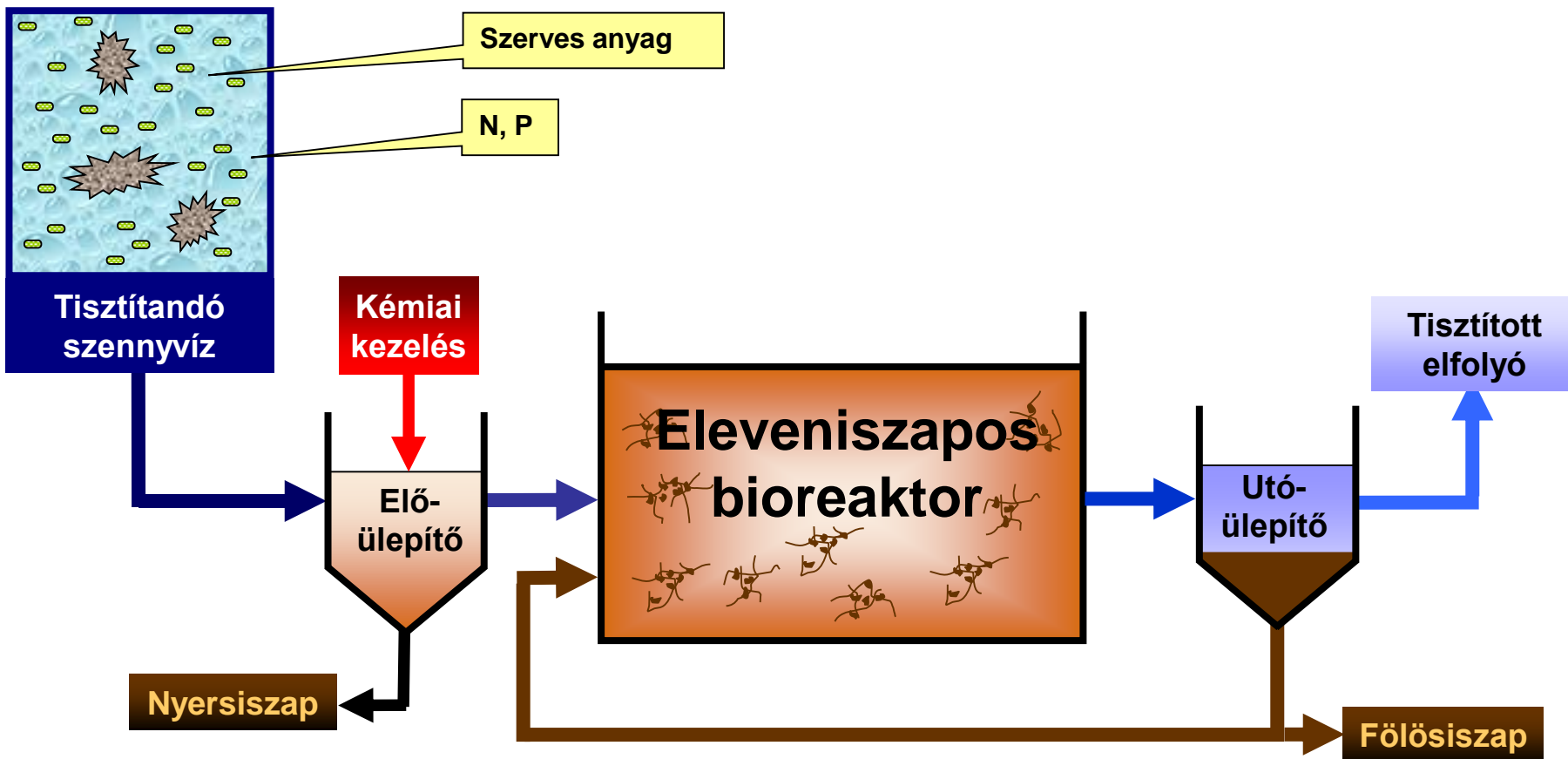
A tisztított szennyvízzel szemben támasztott követelmény

- 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”.



*IV. Az eleveniszapos
szennyvíztisztítási technológia*

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás



Rács



Homokfogó



Előülepítő (Dorr-típus)



Előülepítő (Dorr-típus)

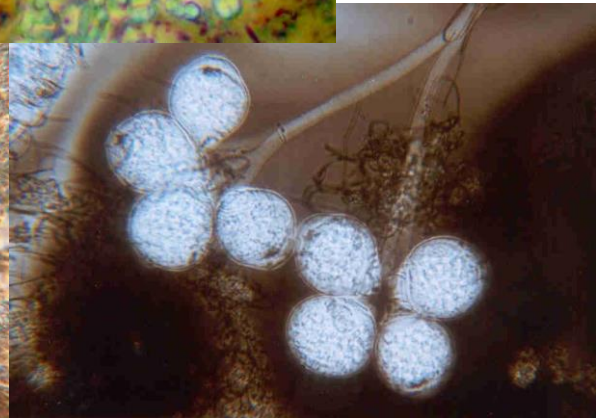
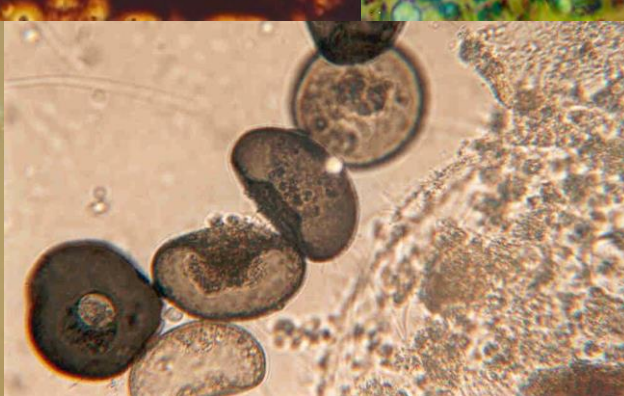
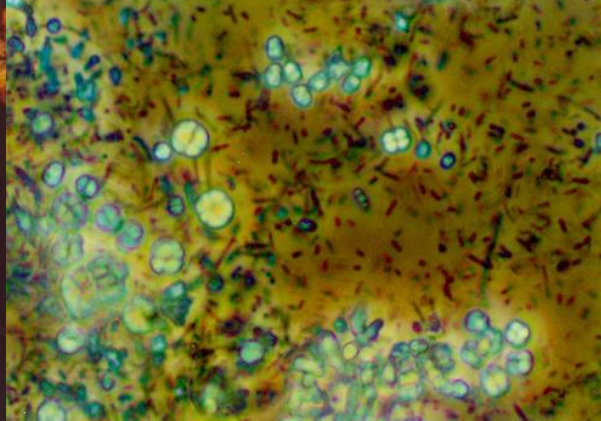
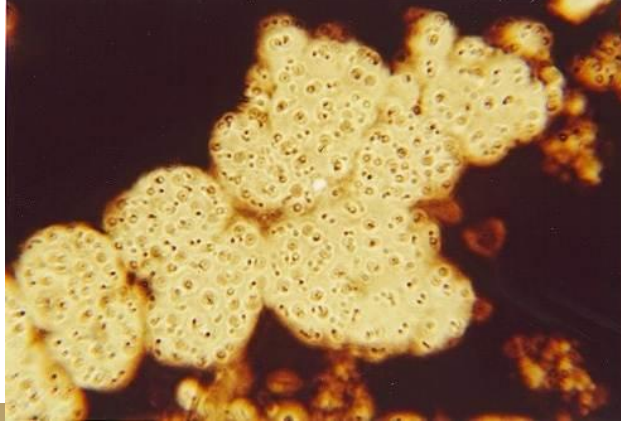
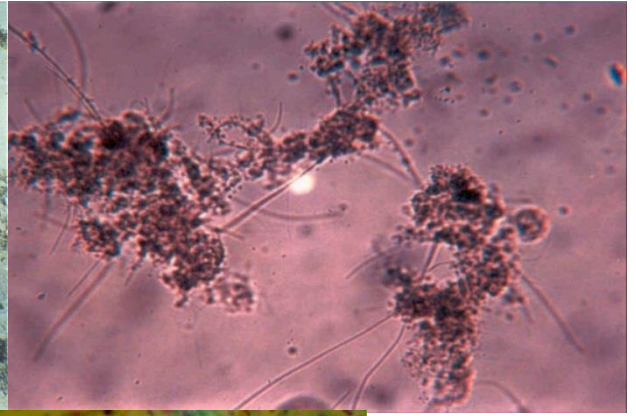
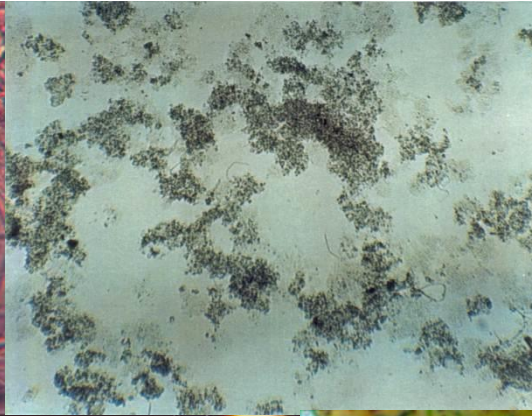
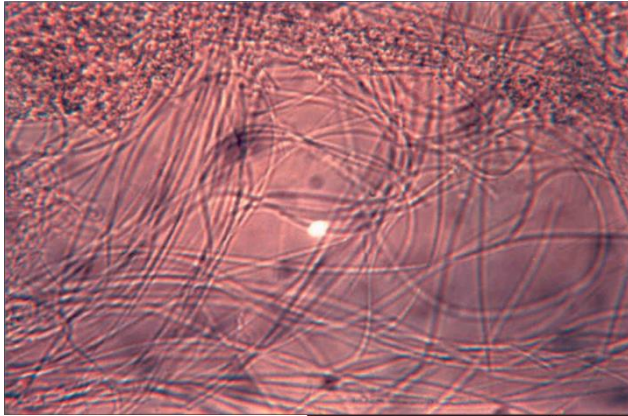


Biológiai fokozat

(eleveniszapos medencék)



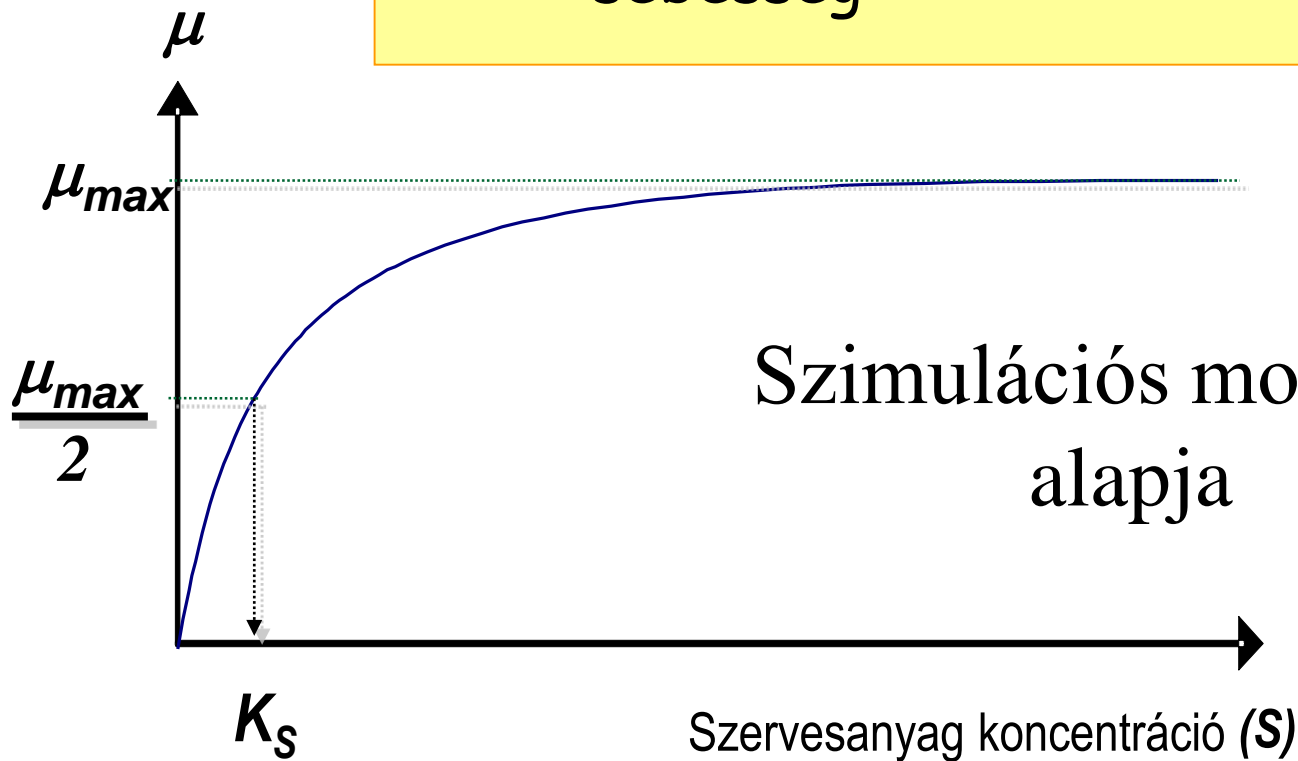
Eleveniszap mikroszkópos képe



Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

Fajlagos növekedési
sebesség:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_S + S}$$



Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X$$

ahol : x – mikroorganizmusok koncentrációja [g/l]

μ – fajlagos növekedési sebesség [d⁻¹]

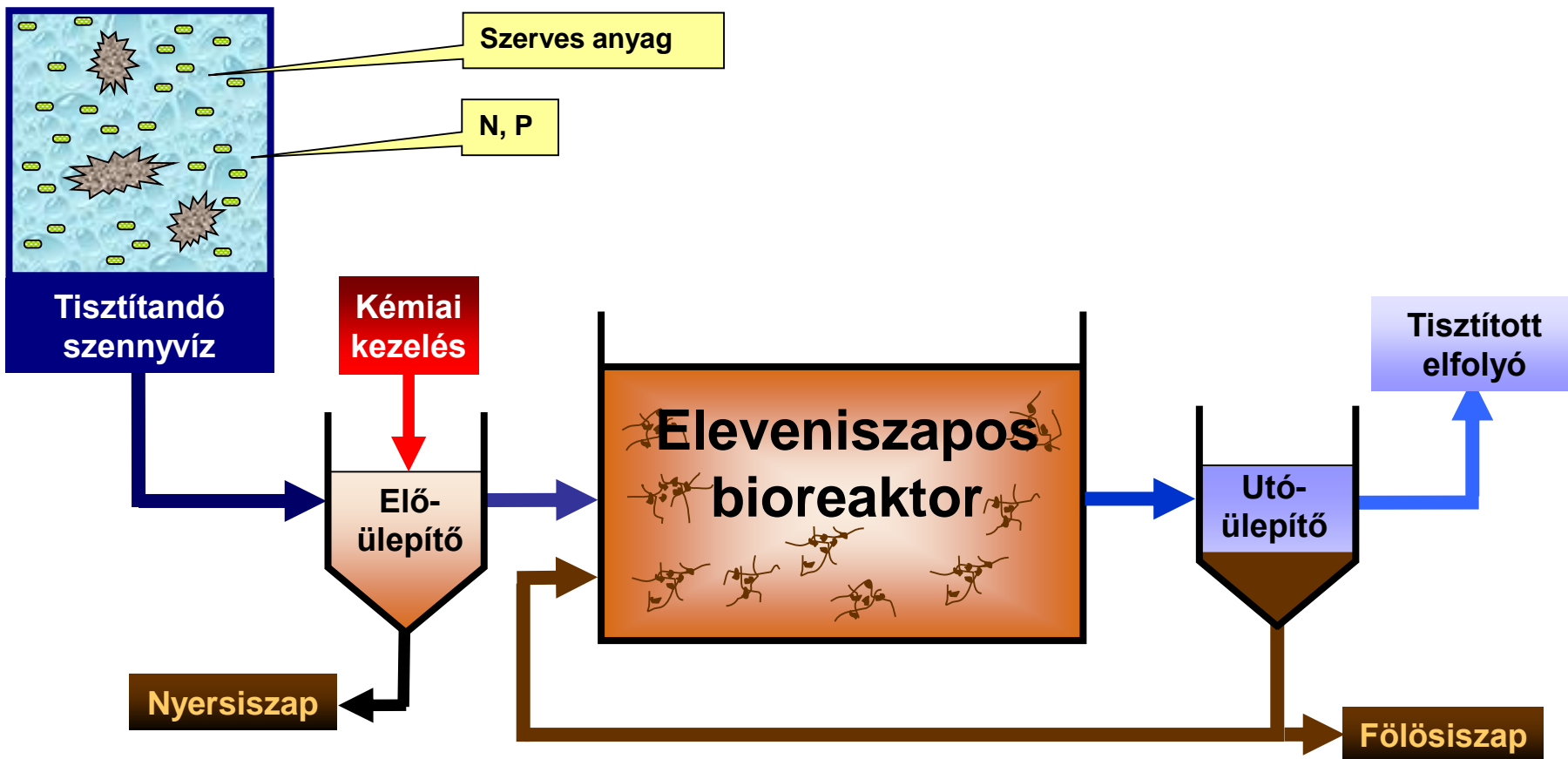
Fajlagos növekedési sebesség:
$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_S + S}$$

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

S – szubsztrát koncentráció [mg/l]

K_S – féltelítési koefficiens [mg/l]

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás



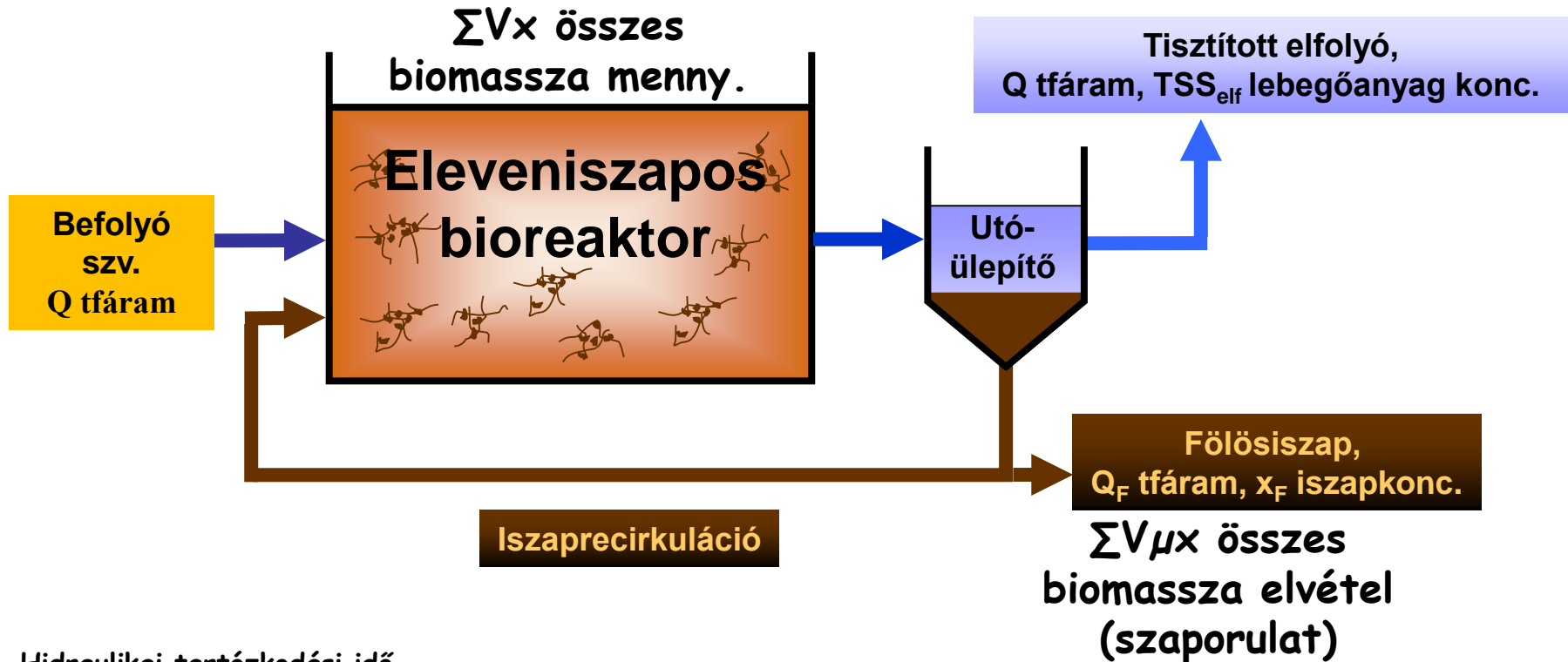
Utóülepítő (Dorr-típus)



Tisztított szennyvíz



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)

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

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

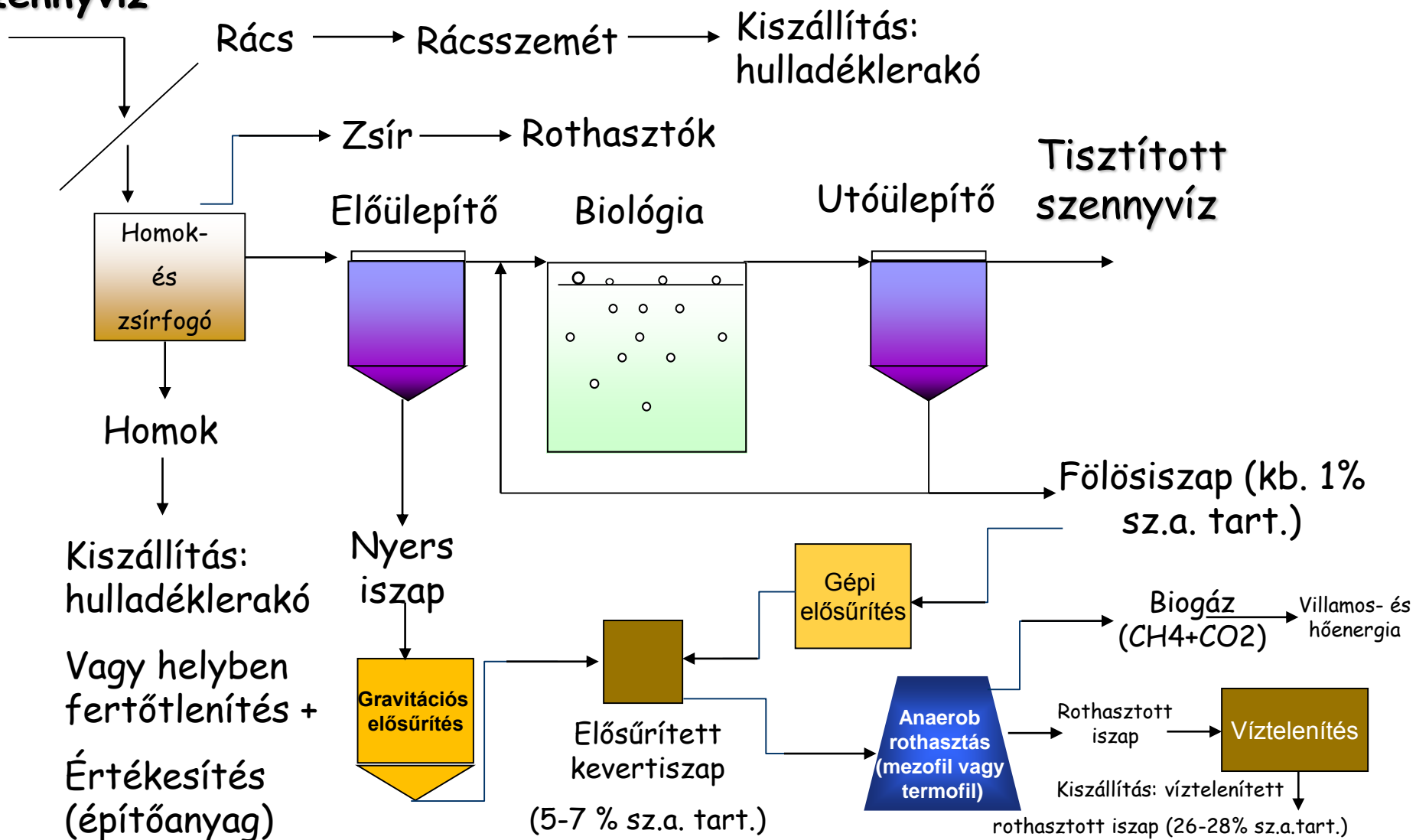
Azaz szükséges feltétel:

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

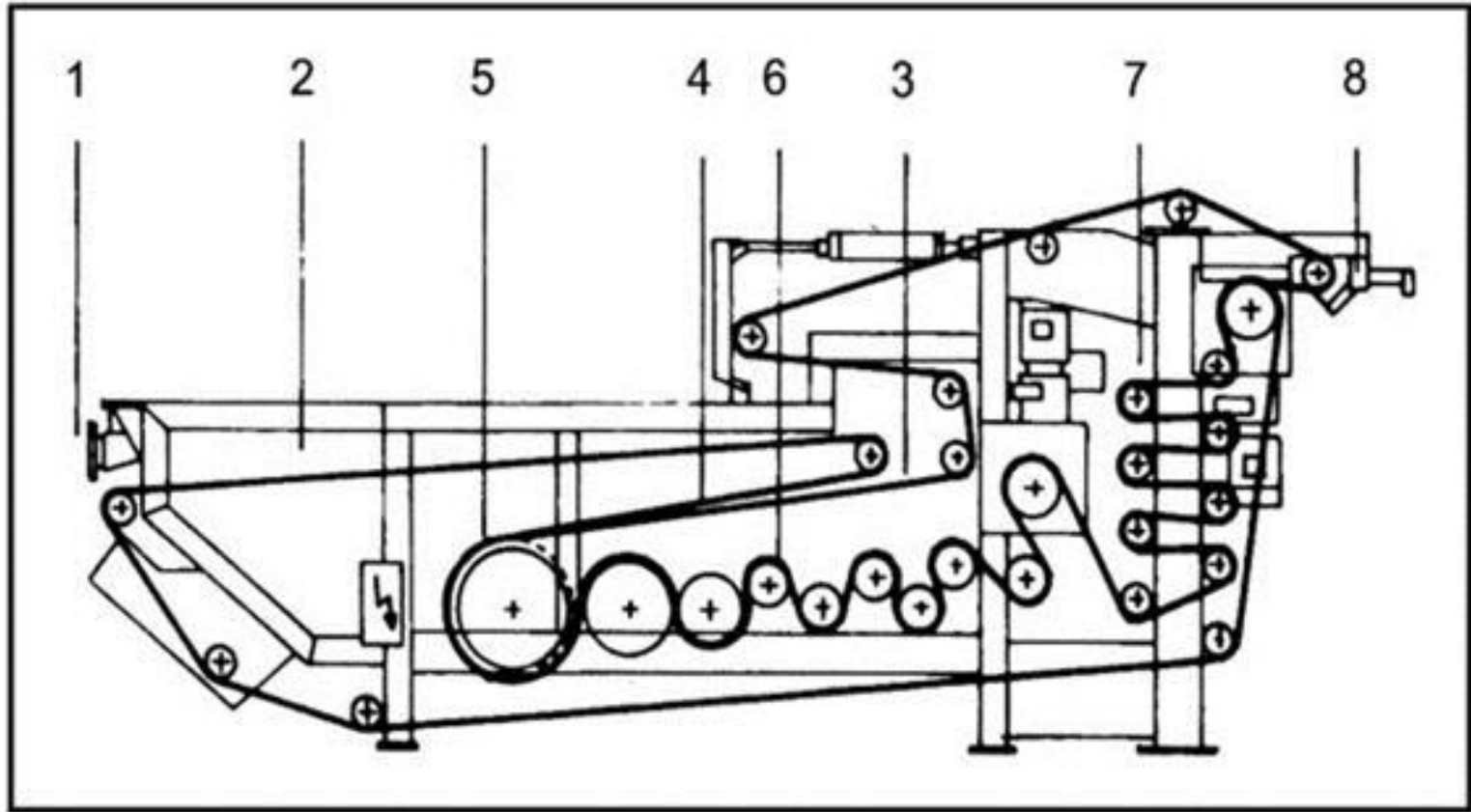
μ_A : autotróf fajlagos növ. sebesség (a számomra szükséges leglassabban növekedő mikrobaéhoz kell igazítani).

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás folyamata (víztisztítási és szennyvíziszap kezelési vonal)

**Nyers
szennyvíz**



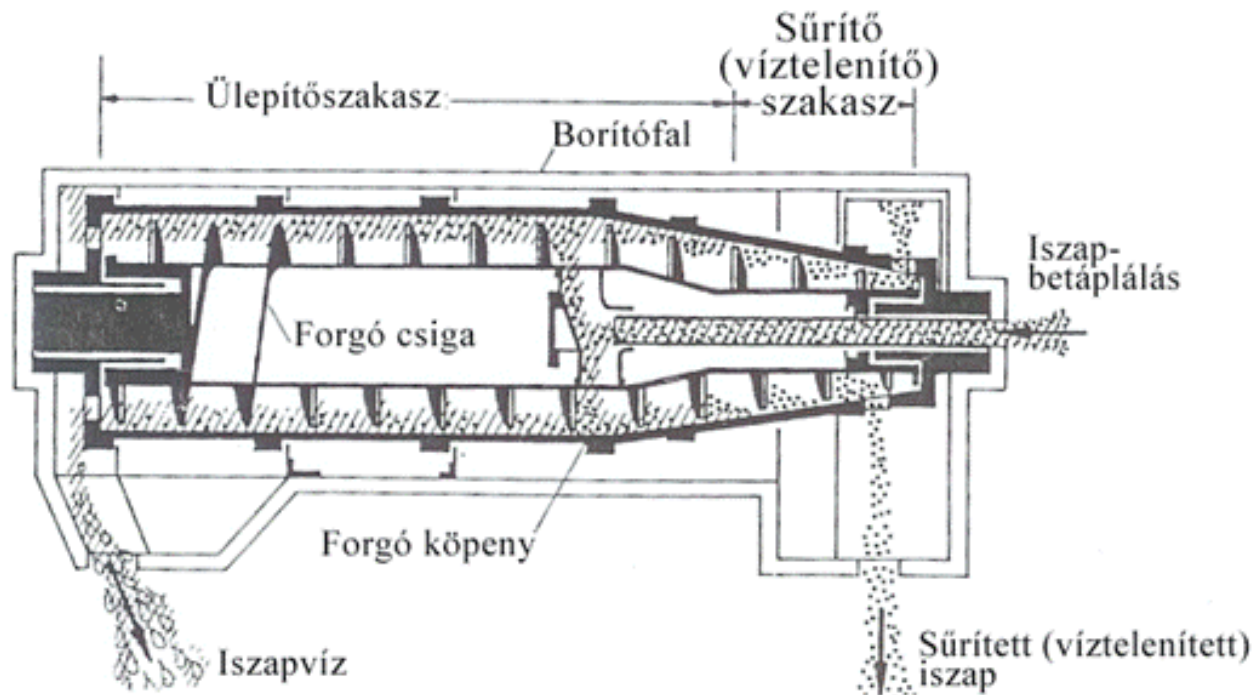
Szalagszűrő prés



Szalagszűrő prés



Dekanter centrifuga



Dekanter centrifuga



Anaerob rothasztó



Gáztároló

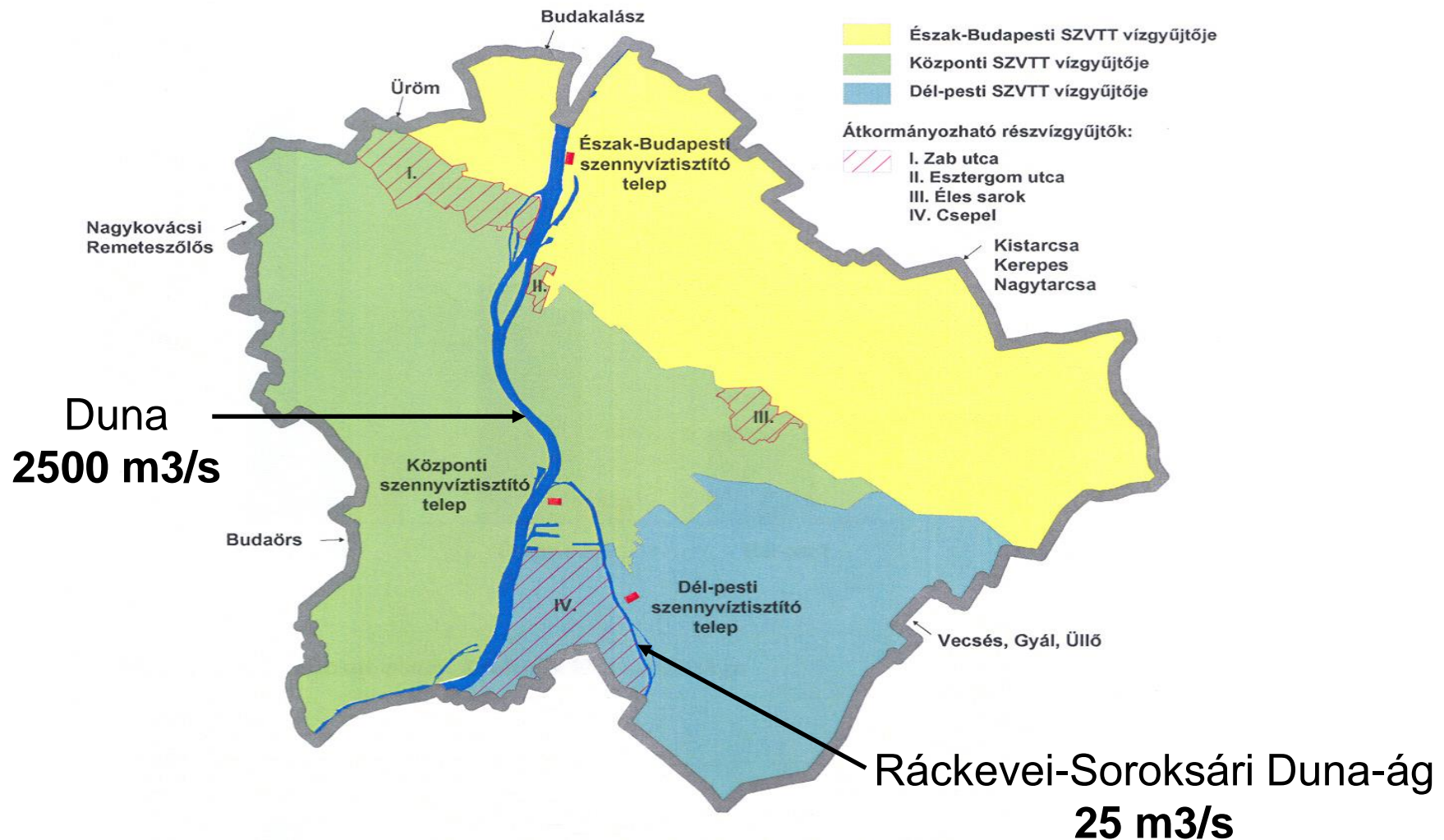


Gázmotor



V. Budapest szennyvíz elvezetése és tisztítása

Budapest szennyvíztisztító telepei



Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep



Befolyó szennyvíz mennyisége: ~60 000 m³/d (1966)

Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep



Befolyó szennyvíz mennyisége: ~150 000 m³/d (1986)

Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep



Befolyó szennyvíz mennyisége: ~250 000 – 300 000 m³/d (2010)

*VI. Biológiai
nitrogén eltávolítás*

A biológiai nitrogéneltávolítás lépései

Ammonifikáció:

szerves N \longrightarrow ammónia-N

Nitrifikáció:

ammónia-N \longrightarrow nitrát-N

Denitrifikáció:

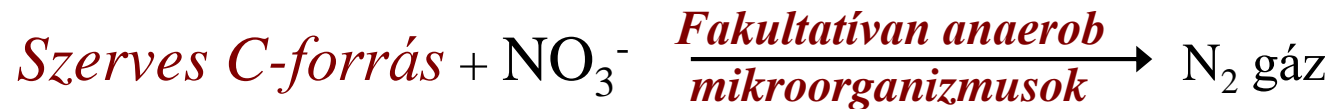
nitrát-N \longrightarrow nitrogén gáz

Nitrifikáció és denitrifikáció

Nitrifikáció



Denitrifikáció



A tisztítandó szennyvíz nitrogén tartalma

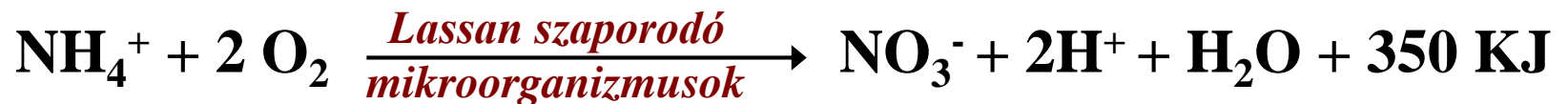
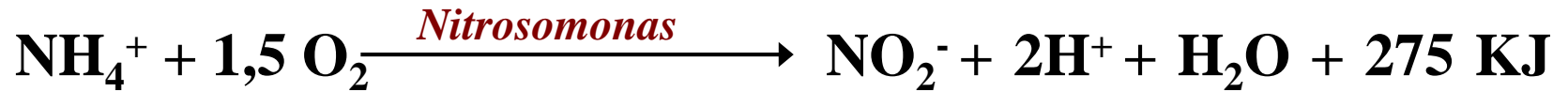
$$\text{TN} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{szerves N} = \text{TKN}$$

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

$$\frac{\text{szerves N}}{\text{TN}} \sim 10\text{-}30 \%$$

szennyvízfüggő, csatornafüggő, hőfokfüggő

Nitrifikáció



- Nagy oxigén igény
- Kis μ érték 

Nagy rendszerbeli
tartózkodási idő igény

Az autotófok (A) növekedése

$$\mu_{A-val} = \mu_A \left(\frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OA} + S_O} \right)$$

μ_{A-val} = nitrifikáló mikroorganizmusok valós fajlagos növekedési sebessége (1/d)

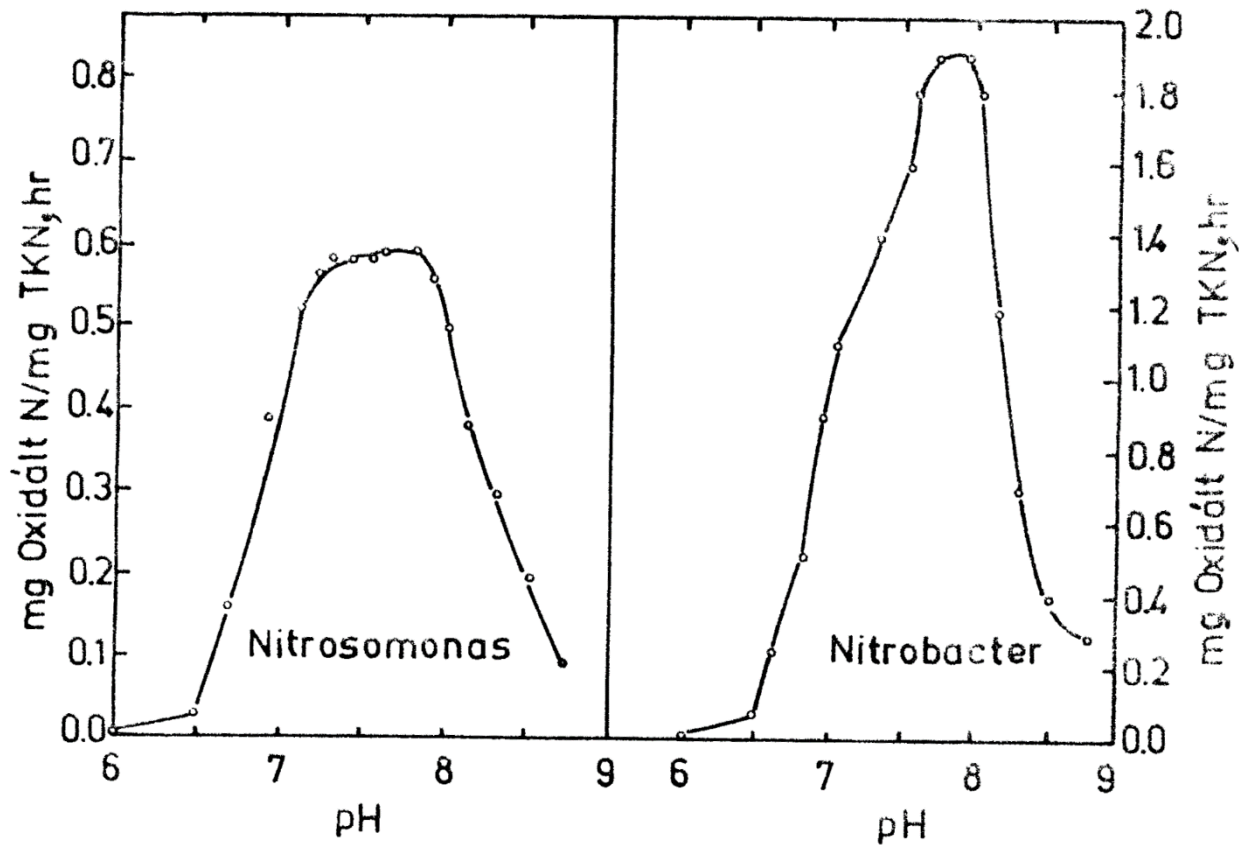
μ_A = nitrifikáló mikroorganizmusok maximális fajlagos növekedési sebessége (1/d)

S_{NH} = ammónia-N koncentráció (mg/l)

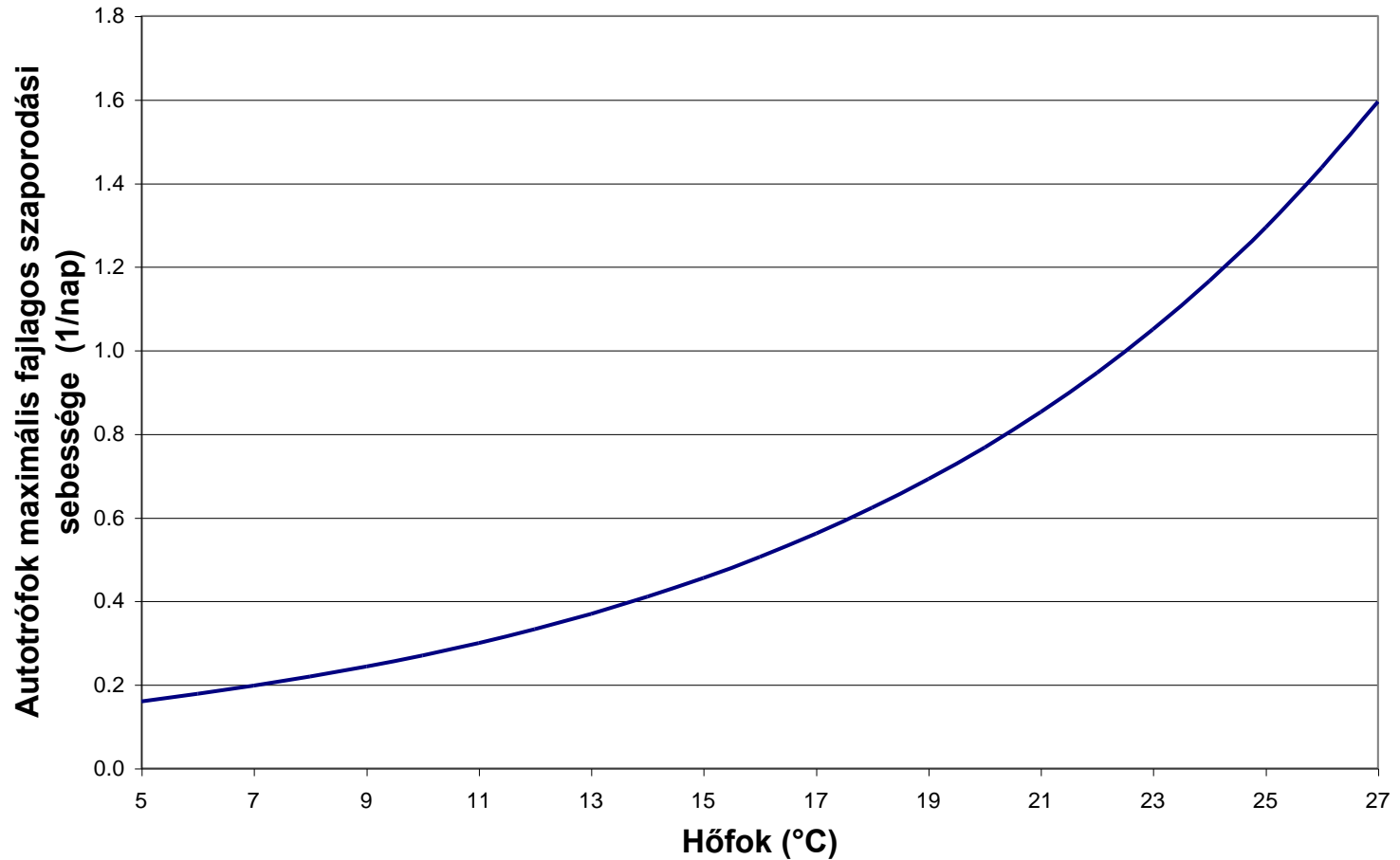
K_{NH} = ammónia-N-re vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)

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

A nitrifikációs hatékonyság pH függése



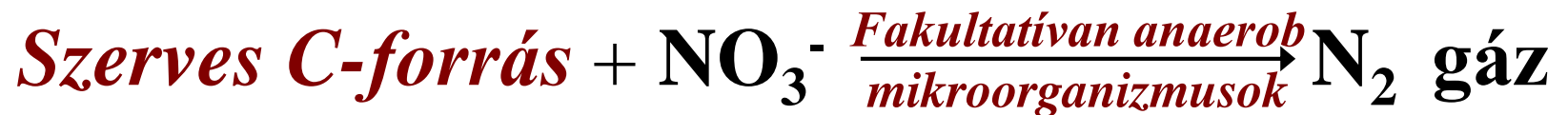
Nitrifikálók szaporodási sebességének hőfokfüggése



Nitrifikációt gátló anyagok

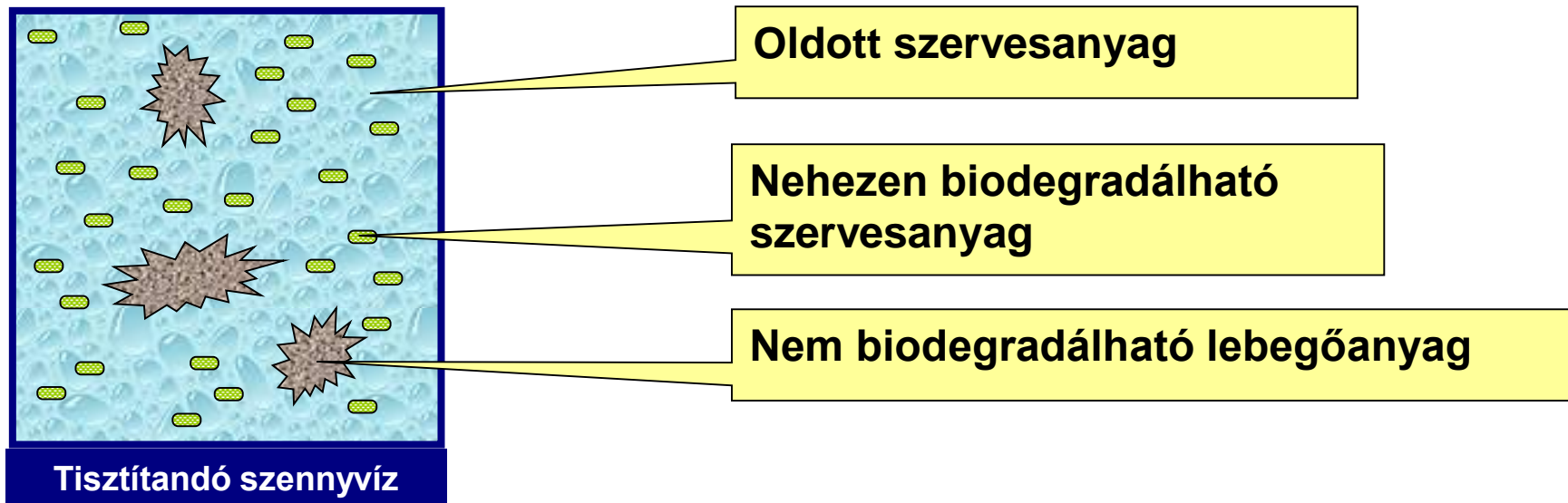
Gátló vegyületek (pl.)	75%-os inhibíciót eredményező koncentráció (ppm)
Allil-alkohol	19,5
Allil-izotiocianát	1,9
Benzotiazol-diszulfid	38
Szén-diszulfid	35
Kloroform	18
o-Krezol	12,8
2,4 Dinitrofenol	460
Ditio-oxamid	1,1
Etanol	2400
Metil-izotio-cianát	0,8
Fenol	5,6
Na-metil-ditio-karbamát	0,9

Denitrifikáció

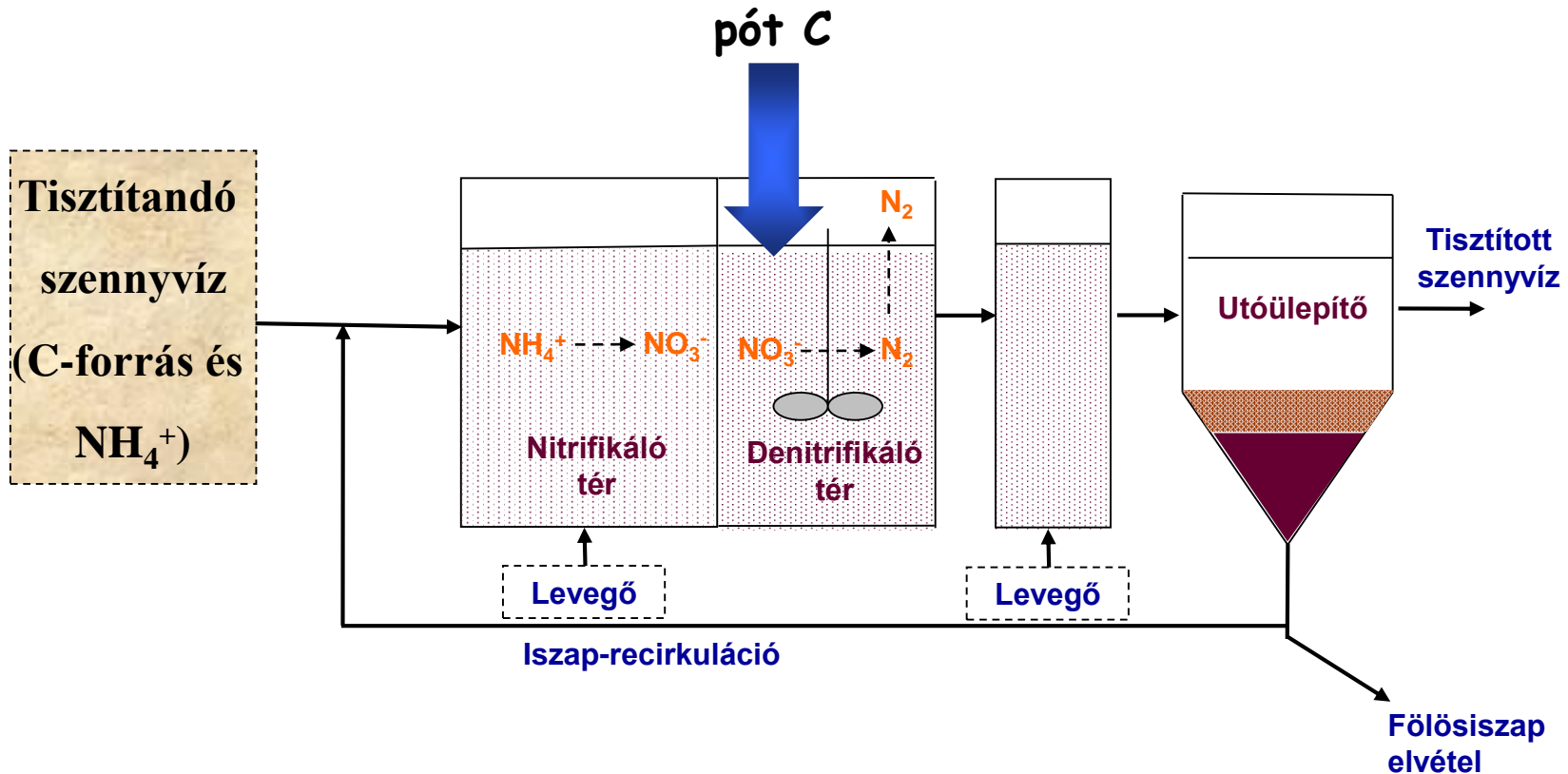


- Oxigén távollétében
- Denitrifikálható szénforrás igény

Denitrifikáció: megfelelő C-forrás igény

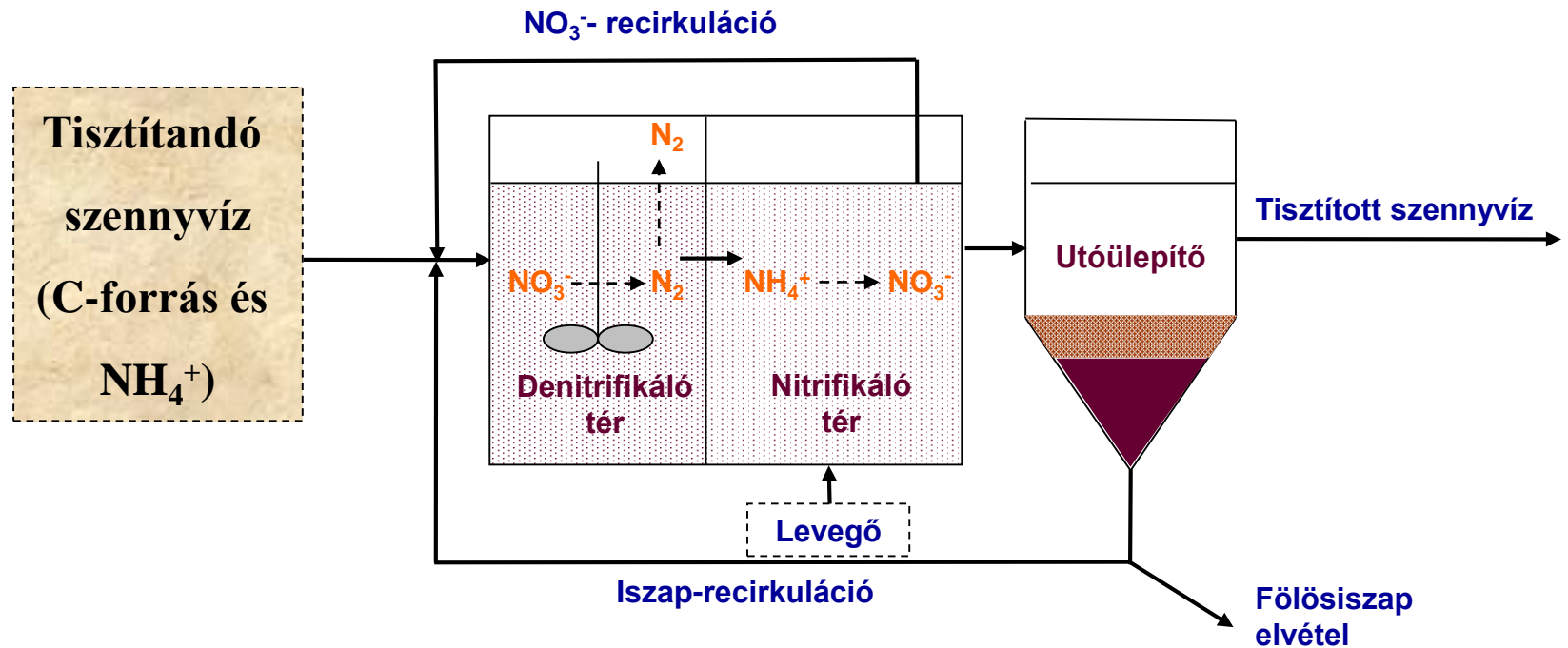


Biológiai nitrogéneltávolítás utódenitrifikációval

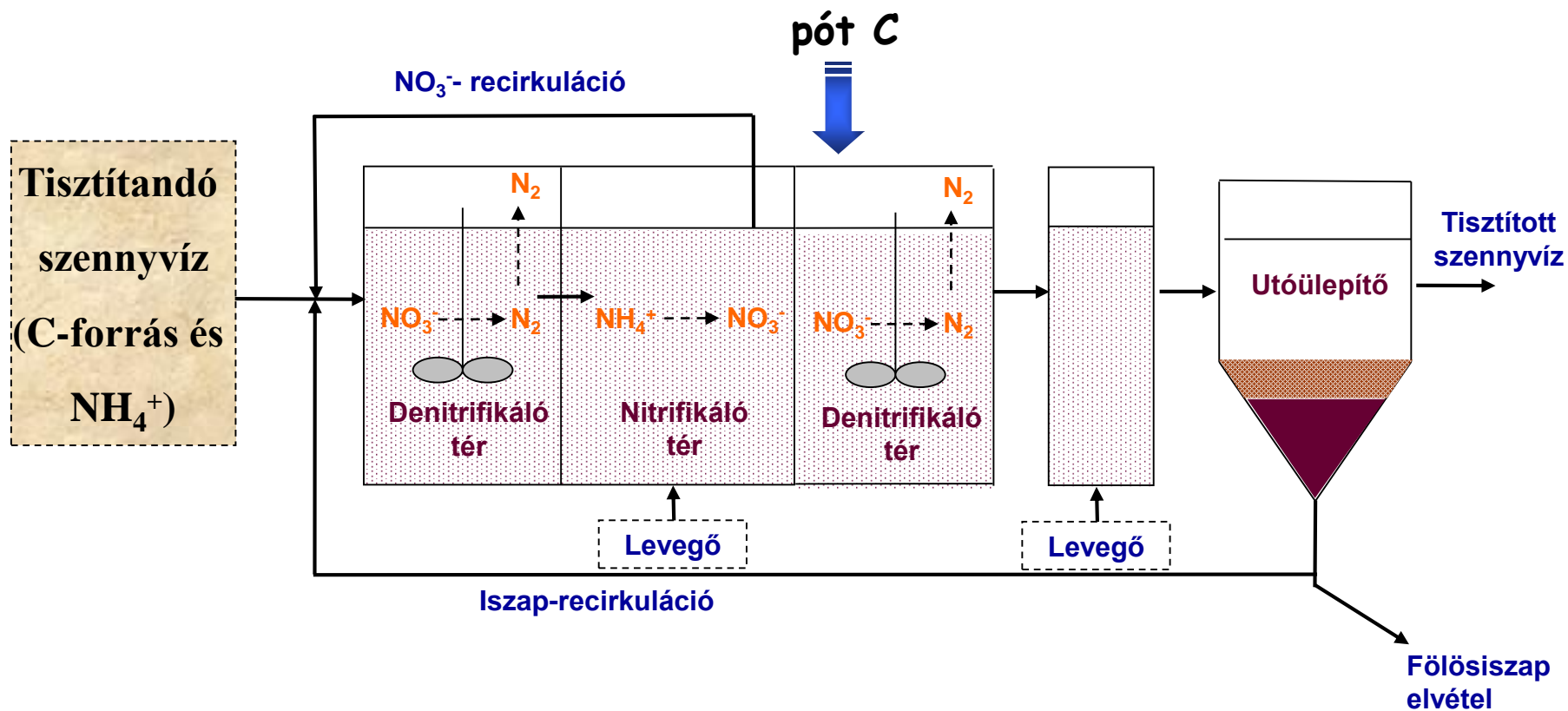


Utódenitrifikációnál pótszénforrás adagolása szükséges

Biológiai nitrogéneltávolítás elődenitrifikációval



Biológiai nitrogéneltávolítás kombinált elő- utódenitrifikációval



Utódenitrifikációnál pótszénforrás adagolása szükséges

Szennyvíztisztítási biotechnológia – ellenőrző kérdéssor

1. Definiálja a biodegradáció és a mineralizáció fogalmait!
 2. Definiálja az eutrofizáció fogalmát!
 3. Soroljon fel legalább 4 fontos szennyvízminőségi paramétert!
 4. Definiálja a kémiai oxigén igény és a biokémiai oxigén igény fogalmát! Mindkét esetben adja meg a mértékegységet!
 5. Rajzolja fel az eleveniszapos szennyvíztisztítási technológia alapvető sémáját! Nevezze meg a főbb technológiai egységeket!
 6. Hogyan függ a biomassza növekedési sebessége a nem toxikus biodegradálható szervesanyagok koncentrációjától? (Monod kinetika) Ábrázolja diagramon, írja fel az egyenletet és definiálja az egyes paramétereket!
 7. Definiálja a HRT (hidraulikai tartózkodási idő) és az SRT (iszap tartózkodási idő) fogalmát!
 8. Folytonos üzemű eleveniszapos technológia állandósult állapotában hogy viszonyul az iszap tartózkodási idő az eleveniszap biomassza átlagos fajlagos növekedési sebességéhez?
 9. Nevezze meg és jelölje be a vaktérképen Budapest három nagy szennyvíztisztító telepét!
 10. Írja le röviden a biológiai nitrogén eltávolítás folyamatait!
-

Szennyvíztisztítási biotechnológia – ellenőrző kérdéssor

11. Írja le röviden a nitrifikáció folyamatát!
 12. Sorolja fel a nitrifikáció főbb befolyásoló tényezőit!
 13. Milyen összefüggésből következik, hogy a nitrifikálók rendszerben tartásához nagy iszapkor szükséges?
 14. Írja le a denitrifikáció folyamatát!
 15. Sorolja fel a hatékony denitrifikáció biztosításához szükséges körülményeket!
 16. Sorolja fel a denitrifikáció jó hatékonyságát visszavető főbb tényezőket!
 17. Rajzolja fel az elő-denitrifikáló eleveniszapos rendszer technológiai sémáját!
 18. Definiálja az aerob, anoxikus és anaerob környezetet!
 19. Mit jelent az, hogy a denitrifikálók fakultatívan anaerob mikroorganizmusok? Ennek mi az előnye a mikroorganizmusok, és mi a hátránya a denitrifikáció hatékonysága szempontjából?
 20. Mit jelent az, hogy a nitrifikáló mikroorganizmusok autotrófok? Ennek mi az előnye a mikroorganizmusok, és mi a hátránya a nitrifikáció hatékonysága szempontjából?
-