

Környezetvédelmi és mezőgazdasági biotechnológia

Tárgykód: BMEVEMBM406

Tantárgy előadói:

Dr. Bakos Vince
Dr. Molnár Mónika
Dr. Szarka András
Dr. Tardy Gábor

Menetrend:

09.11	Szarka A.	Fontosabb ipari szennyezők hatása a növényekre. Abiotikus stressz a növényélettanban, növényi biotechnológiában. Transzgenikus növények.
09.18	Molnár M.	Talajok és vizek kármentesítése biotechnológiai módszerekkel.
10.09	Tardy G.	Biodegradáció, a szennyezések hatása a vízi ökoszisztémákra. A biológiai szennyvíztisztítás alapjai.
10.16	Tardy G.	
10.30	Bakos V.	Mikroszennyezők minősítése, biodegradálhatósága, életrciklusa, toxicitása.
11.06	Bakos V.	
12.04	ZH+EA	

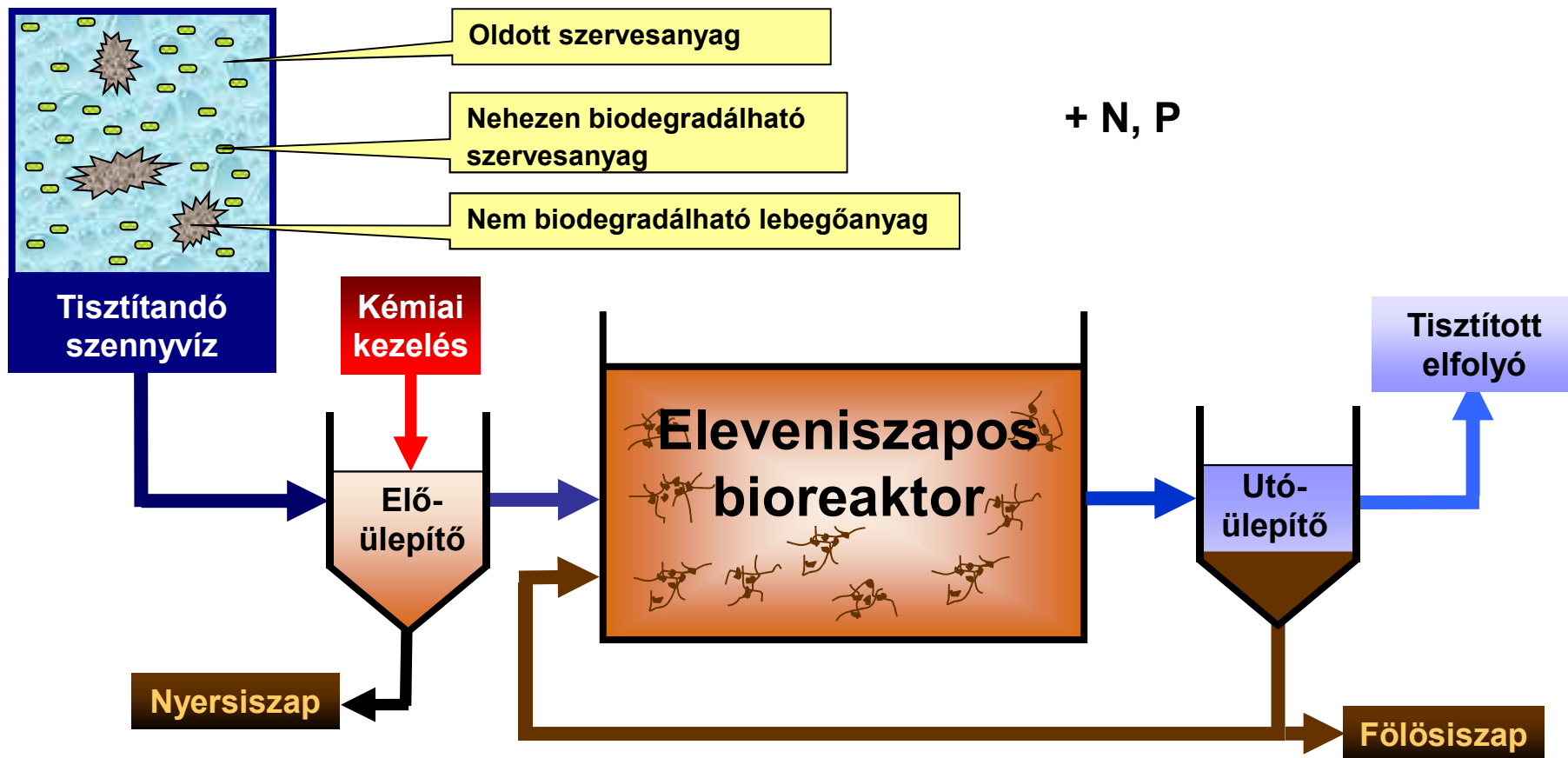
Számonkérés:

Megajánlott jegy:

- Vizsga ZH november 20.	70%
- Téma prezentáció	30%

EA. Anyagok: <http://oktatas.ch.bme.hu/oktatas/konyvek/abet/KMGBiotech/>

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás világszerte a leggyakoribb



Befolyó szennyvízminőségi paraméterek

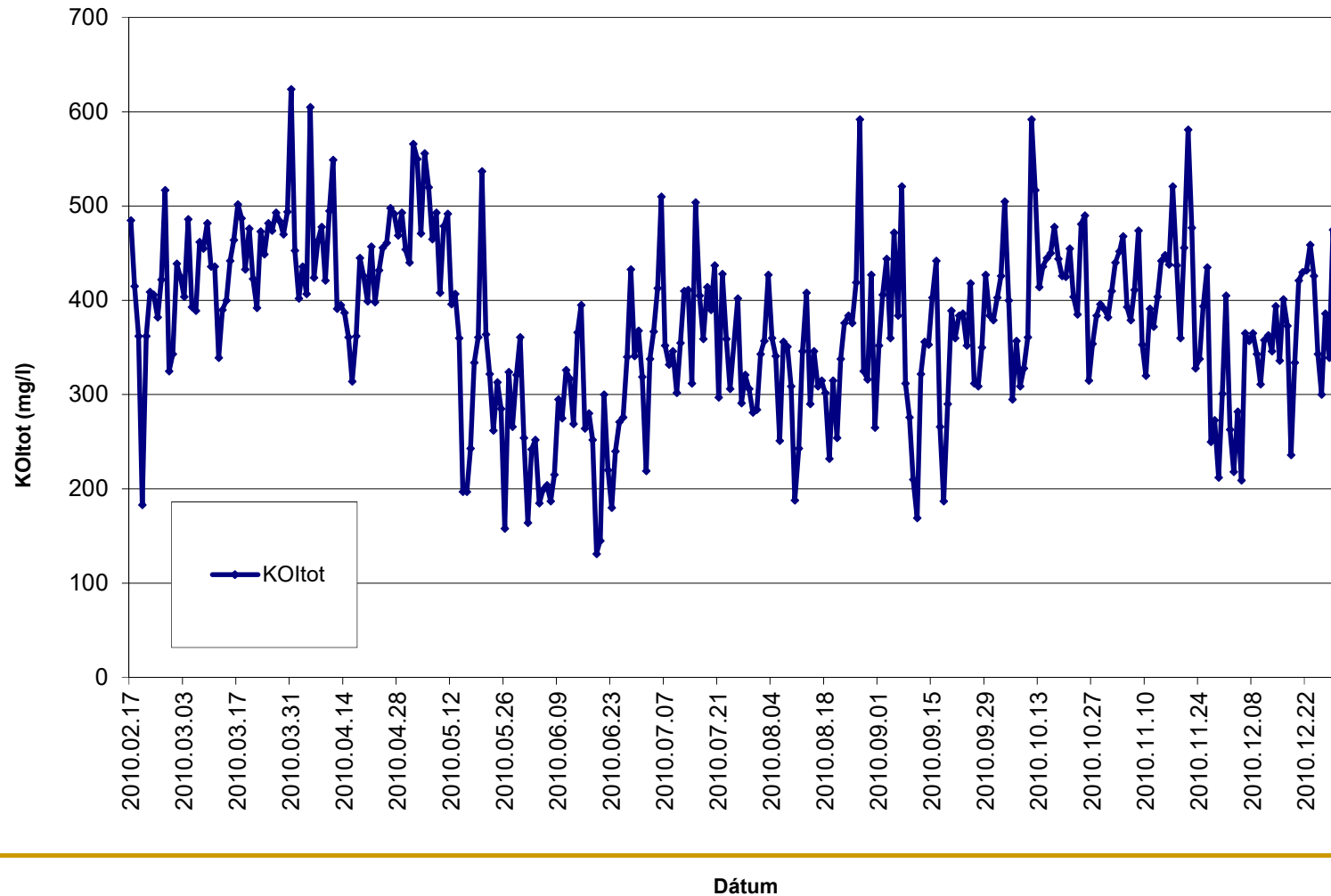
	Paraméter	min	max	átlag	Tartósság	
					80 %	90 %
Koncentráció [mg/l]	KOI tot.	131	624	372	452	487
	KOI oldott.	58	248	158	207	214
	BOI ₅	75	390	222	284	297
	TSS	46	532	218	266	294
	TSS volat.	35,4	86,7	70,8	-	-
	NH ₄ -N	8,4	43,4	28,4	36,9	39,3
	TKN	15,1	61,2	39,2	49,3	53
	TN	17,3	61,8	39,8	-	-
TP	2,1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

KOI és BOI fogalma

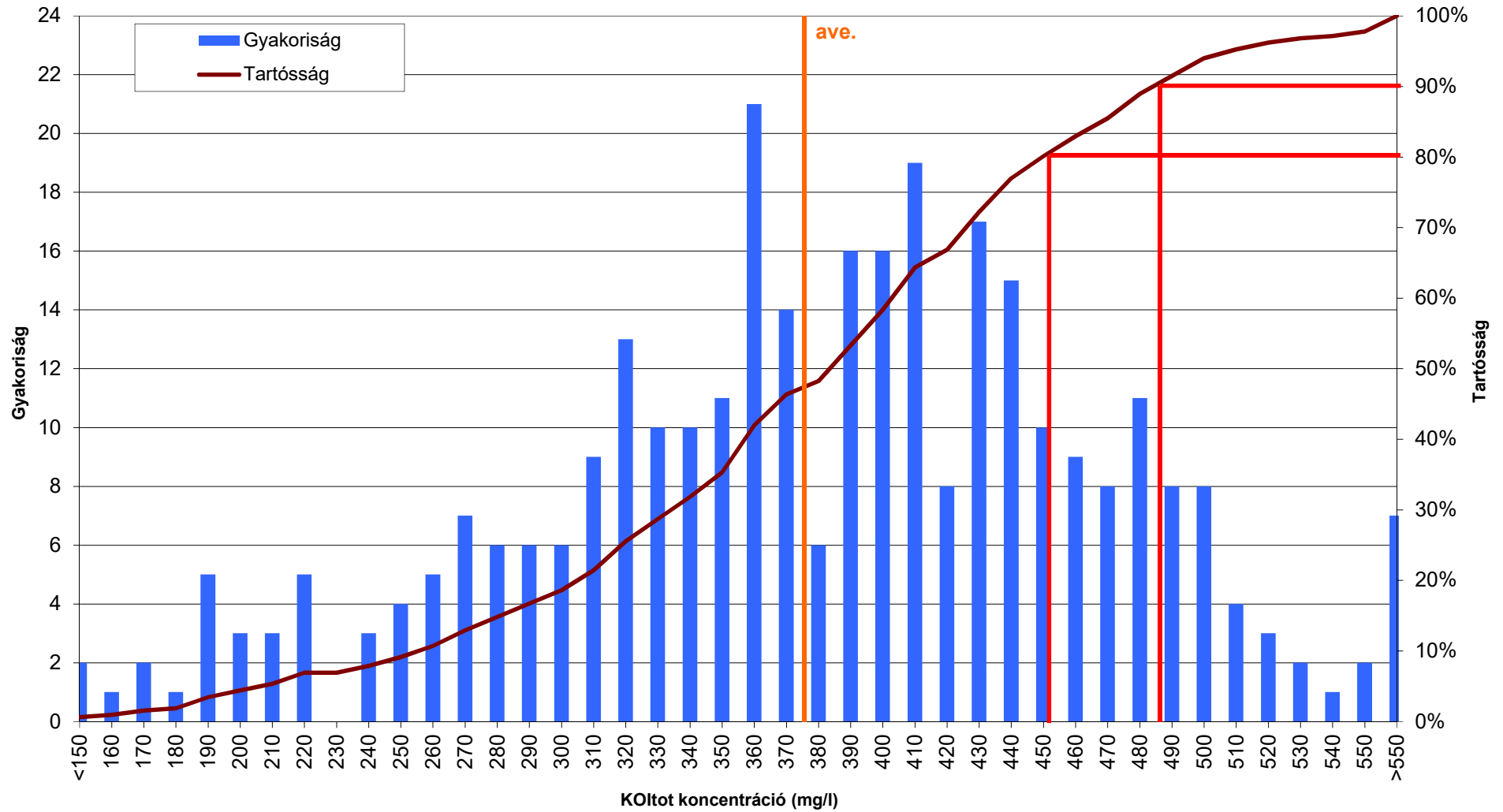
Kémiai oxigénigény (KOI, mg/l): A vízben levő anyagok redukálóképessége, amely megadja azt az oxigén mennyiséget, amely a minta szervesanyag tartalmának teljes kémiai oxidációjához szükséges. A mérés maga oxidálóanyagokkal (pl. kálium-permanganát, kromát) történik. Az elfogyasztott oxigént a víz térfogategységre vonatkoztatják. A KOI egyenesen arányos a víz teljes szervesanyag tartalmával.

Biokémiai Oxigénigény (BOI, mg/l): A szennyvízben levő szerves anyagok baktériumok okozta aerob oxidációjához szükséges oldott oxigén mennyisége, amely alkalmasan választott időtartamra, meghatározott vízhőmérsékletre vonatkozik. Jellemzően alkalmazott BOI paraméterek a 20 °C-on végzett 1, 5, 20 napos bontás során mért (BOI_1 , BOI_5 , BOI_{20}) értékek. Leggyakrabban a BOI_5 -öt alkalmazzák. A BOI érték a szennyvízben jelenlévő biodegradálható szervesanyag mennyiségével arányos.

Egy szennyvíztisztító telep befolyó KOI értékeinek időbeli alakulása



Befolyó KOI hisztogram

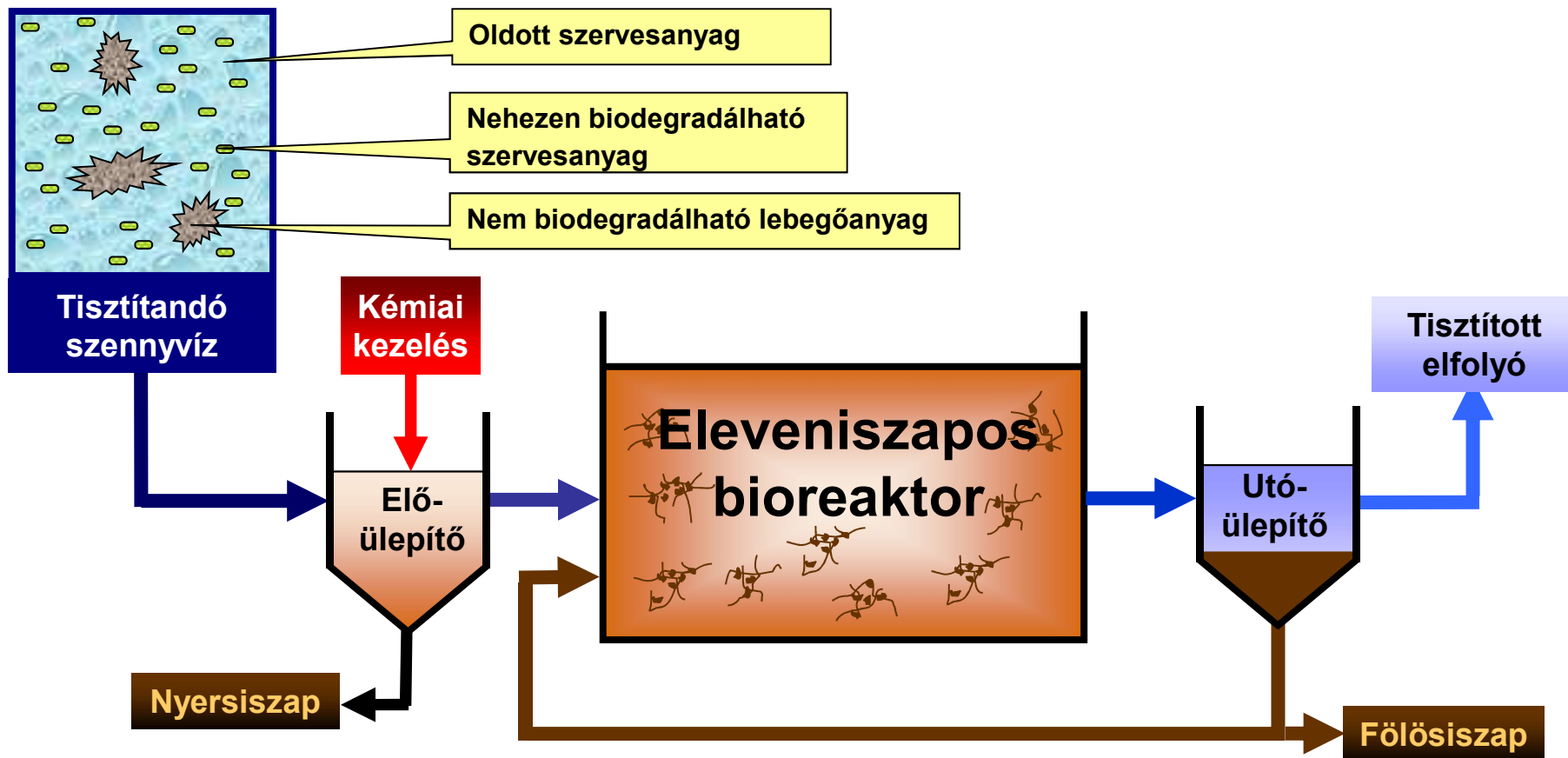


28/2004 (XII.25) KvVM rendelet

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 védettségi 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

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás világszerte a leggyakoribb



Előülepítő



Eleveniszapos bioreaktorok

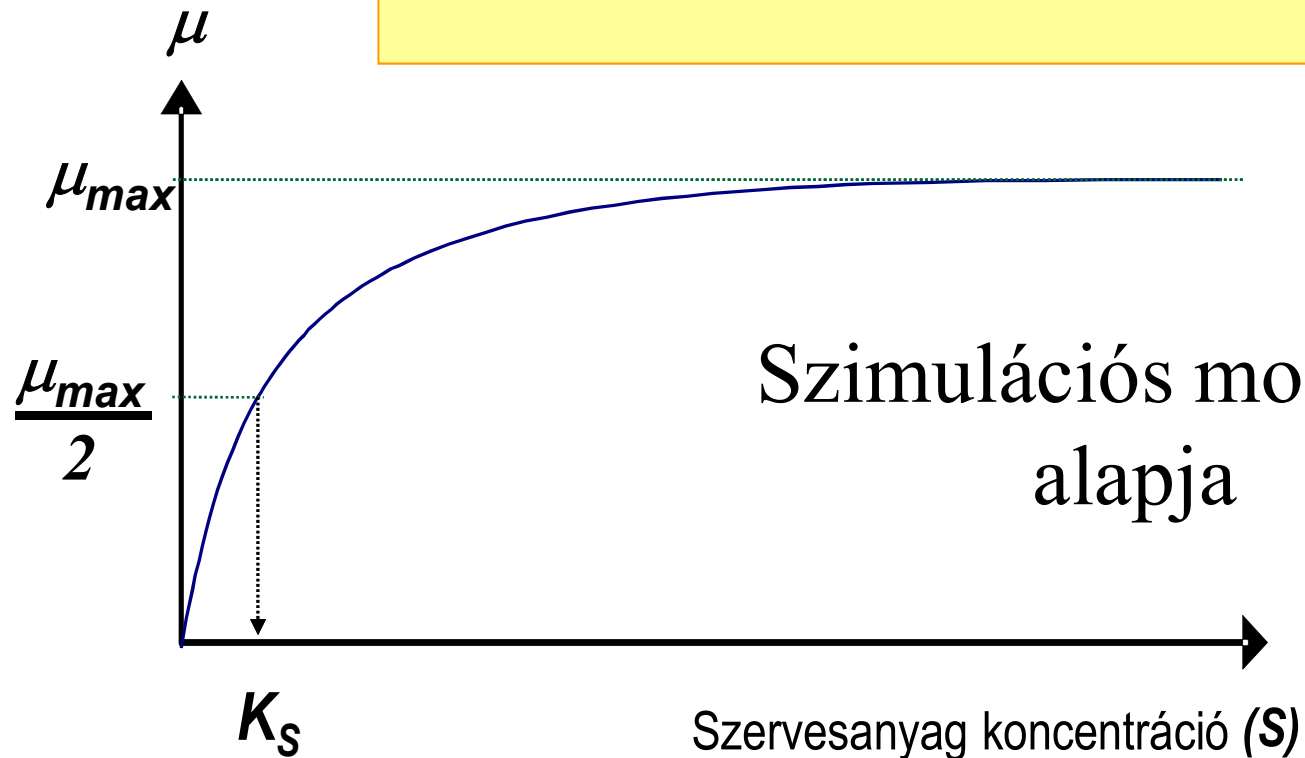


Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep



Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

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



Monod kinetika a nem toxikus anyagokra

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

ahol : x – mikroorganizmusok koncentrációja [g/l]

μ – fajlagos 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 koefficiens [mg/l]

A HRT és SRT kapcsolata

$$HRT = \tau = \frac{V}{Q} = \frac{1}{D}$$

Reaktorban lévő
Iszapmennyiség (kg)

$$SRT = \Theta = \frac{V \cdot X}{Q_f \cdot X_f + Q \cdot X_L}$$

Elvett iszap mennyisége (kg/d)

Elfolyó lebegőanyag mennyisége (kg/d)

Az SRT értéke állandósult állapotban

$$\text{Elvétel} = V \frac{dX}{dt} = V \cdot \mu \cdot X$$

$$\text{SRT} = \Theta = \frac{V \cdot X}{V \cdot \mu \cdot X} = \frac{1}{\mu}$$

A tisztítandó szennyvíz nitrogén tartalma

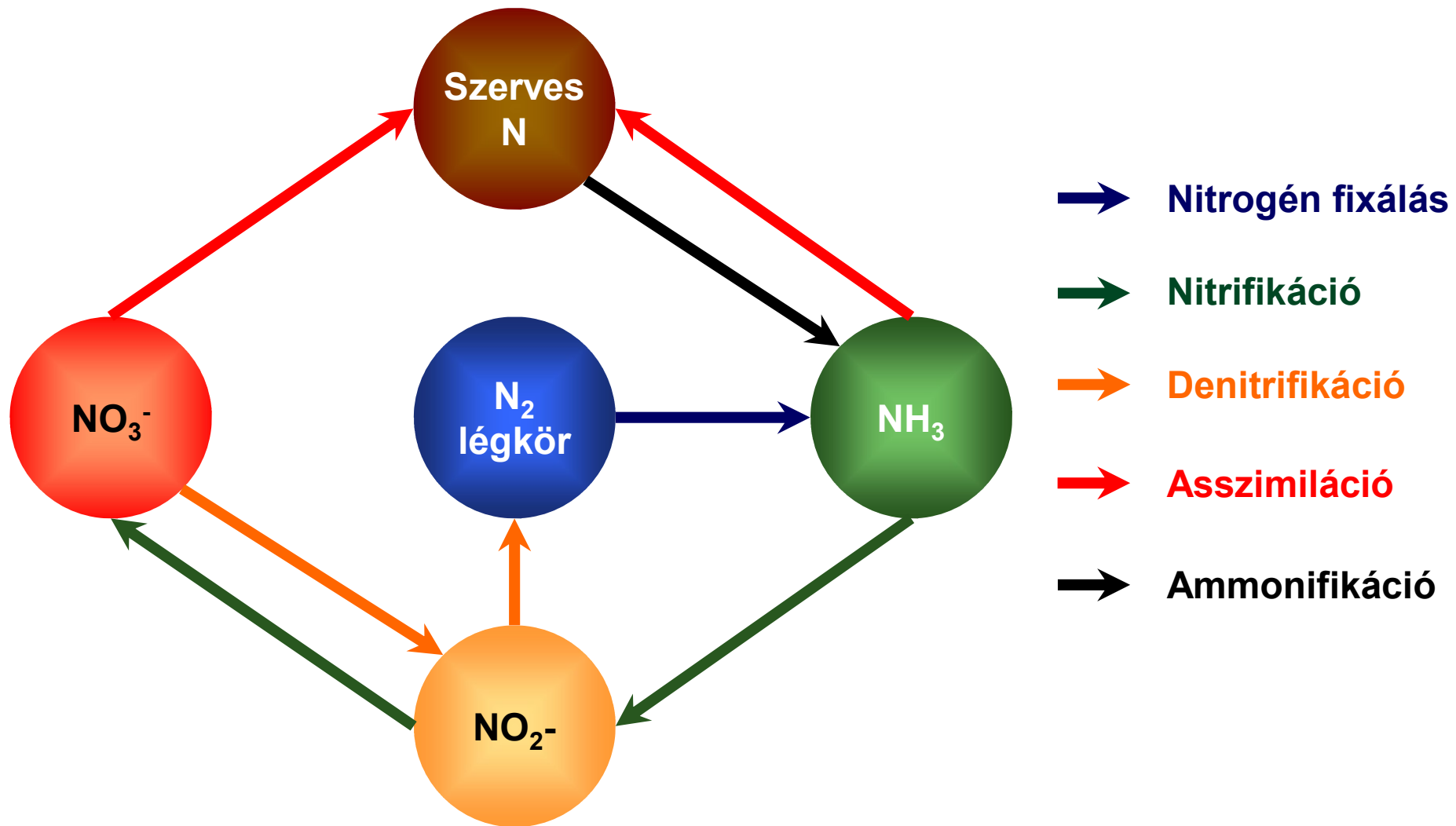
$$\text{TN} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{szerves N} = \text{TKN}$$

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

A nitrogén ciklus



A biológiai nitrogéneltávolítás lépései

Ammonifikáció:

szerves N → ammónia-N

Nitrifikáció:

ammónia-N → nitrát-N

Denitrifikáció:

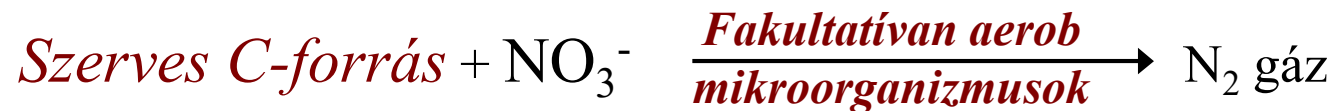
nitrát-N → nitrogén gáz

Nitrifikáció és denitrifikáció

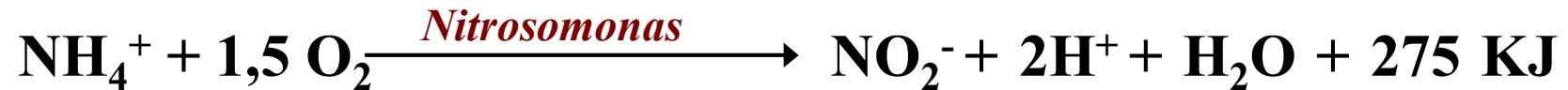
Nitrifikáció



Denitrifikáció



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)

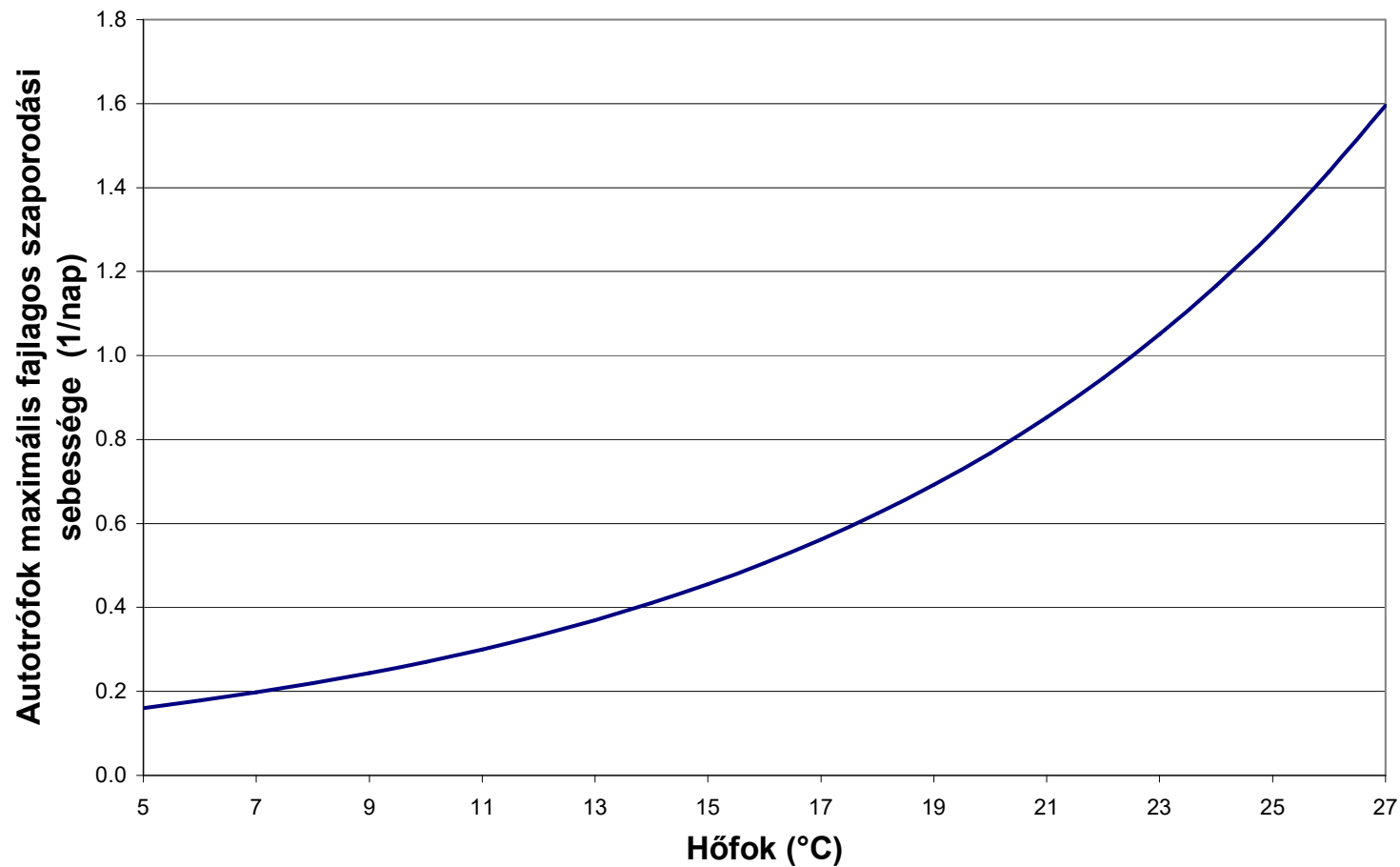
μ_A = nitrifikáló mikroorganizmusok maximális fajlagos növekedési sebessége (1/d)

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

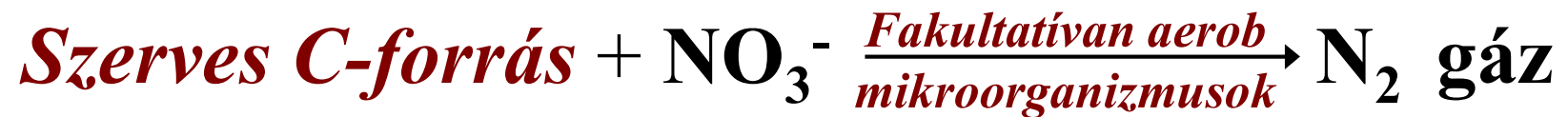
K_{NH} = ammónia-N-re vonatkoztatott féltelítési állandó (mg/l)

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

Nitrifikálók szaporodási sebességének hőfokfüggése

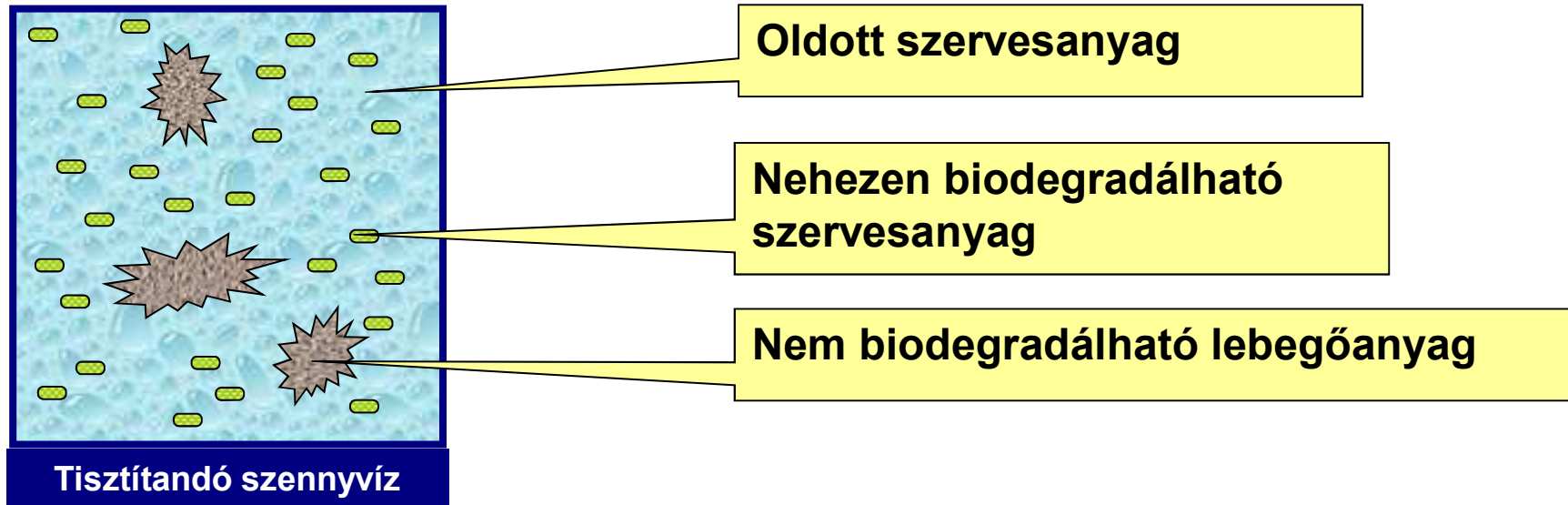


Denitrifikáció

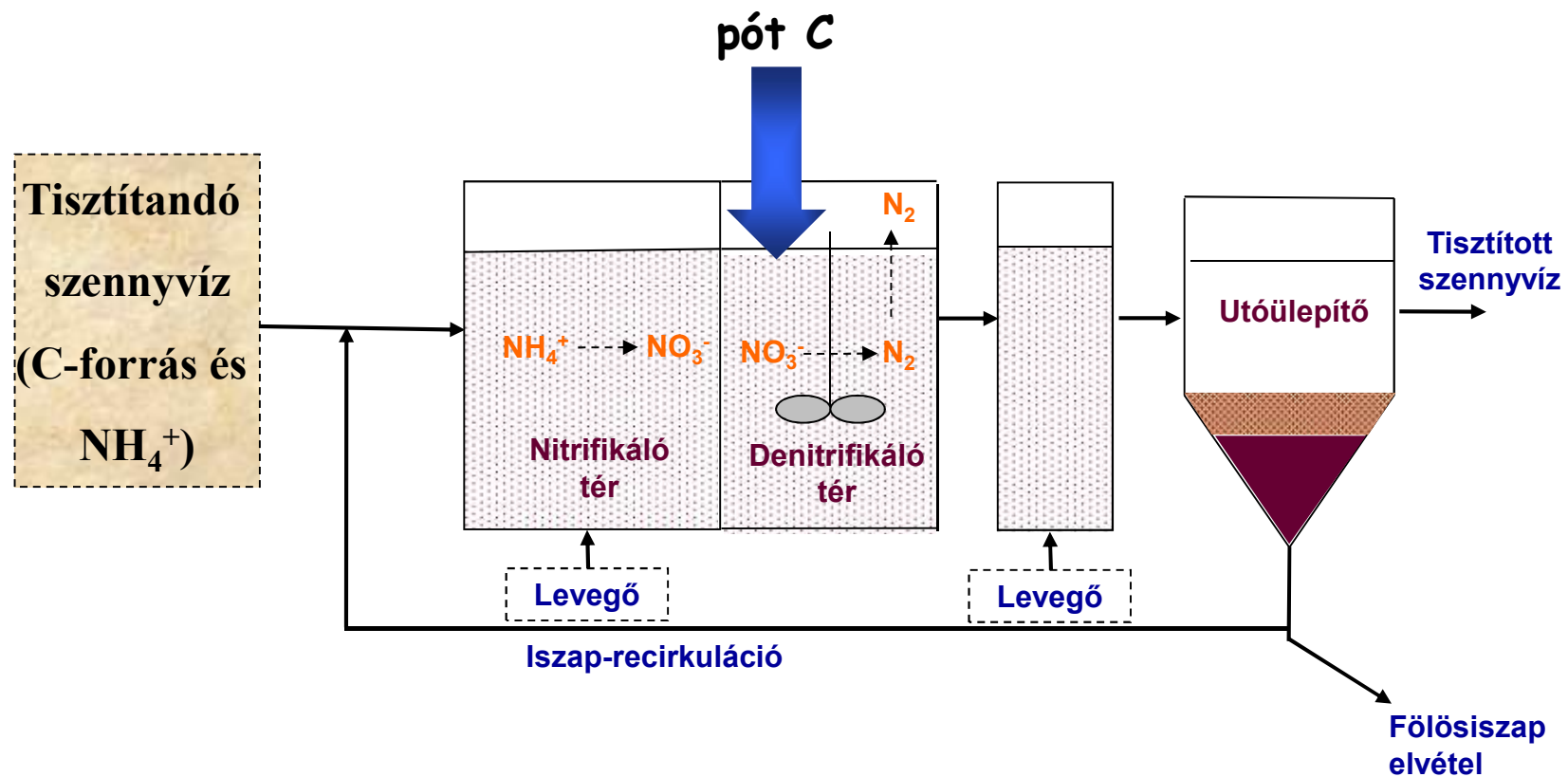


- Oxigén távollétében
 - Denitrifikálható szénforrás igény
-

Denitrifikáció: megfelelő C-forrás igény

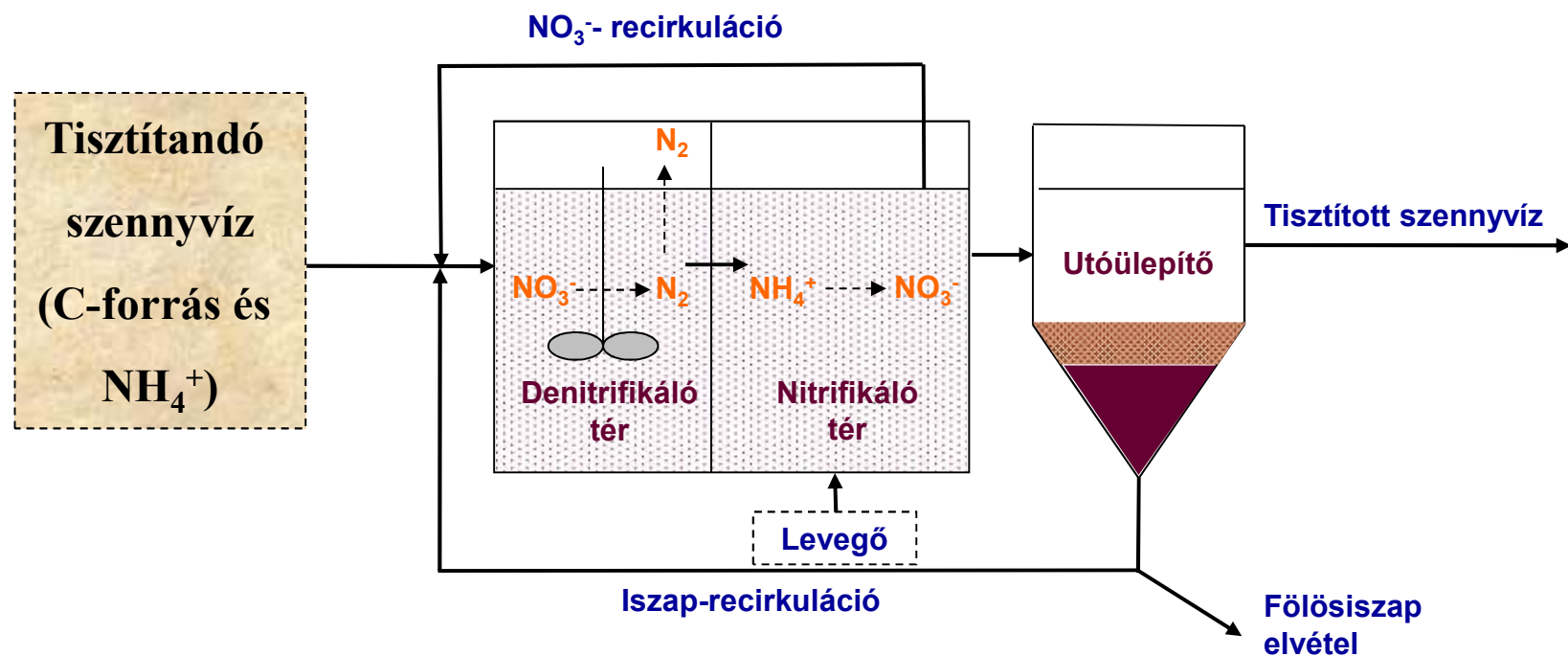


Biológiai nitrogéneltávolítás utódenitrifikációval

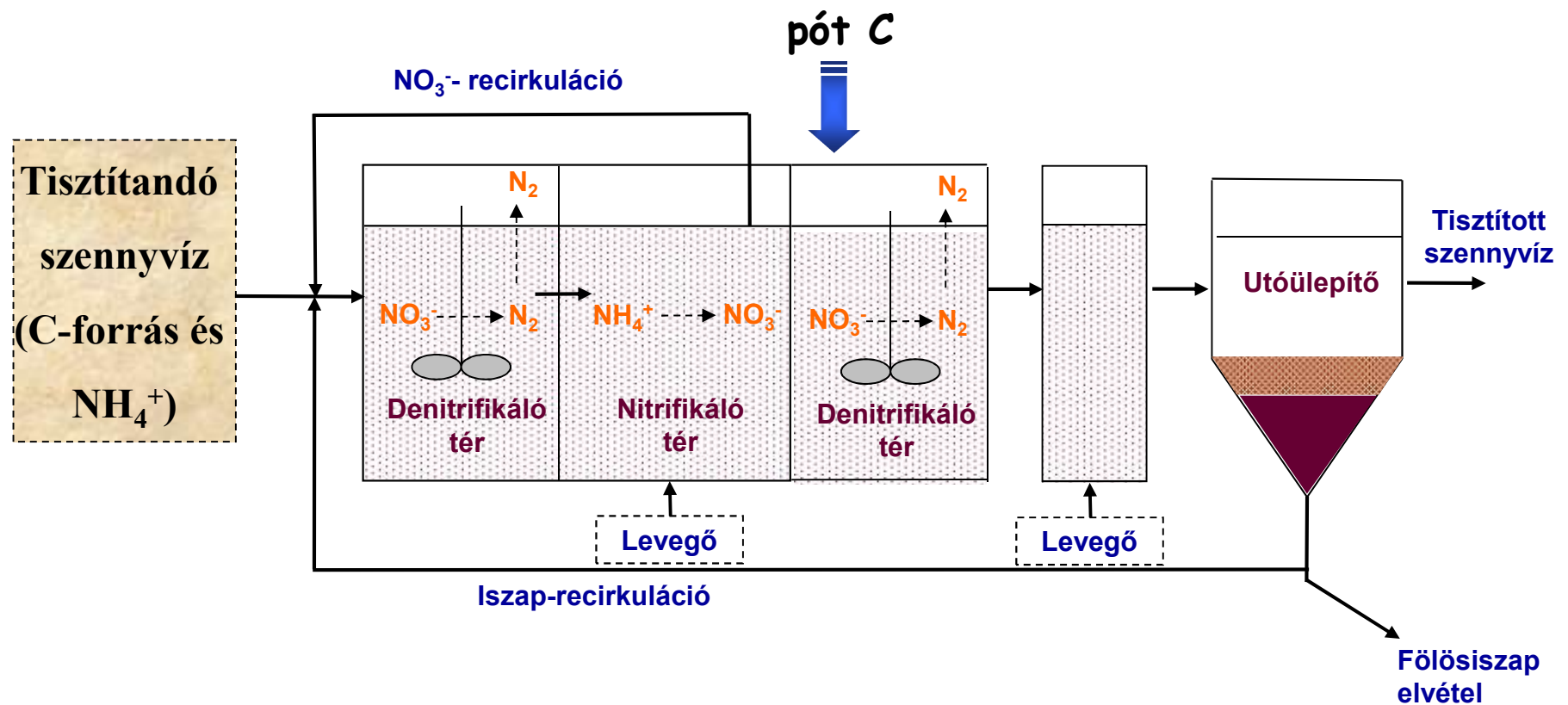


Utódenitrifikációnál pótszénforrás adagolása szükséges

Biológiai nitrogéntávoztás elődenitrifikációval

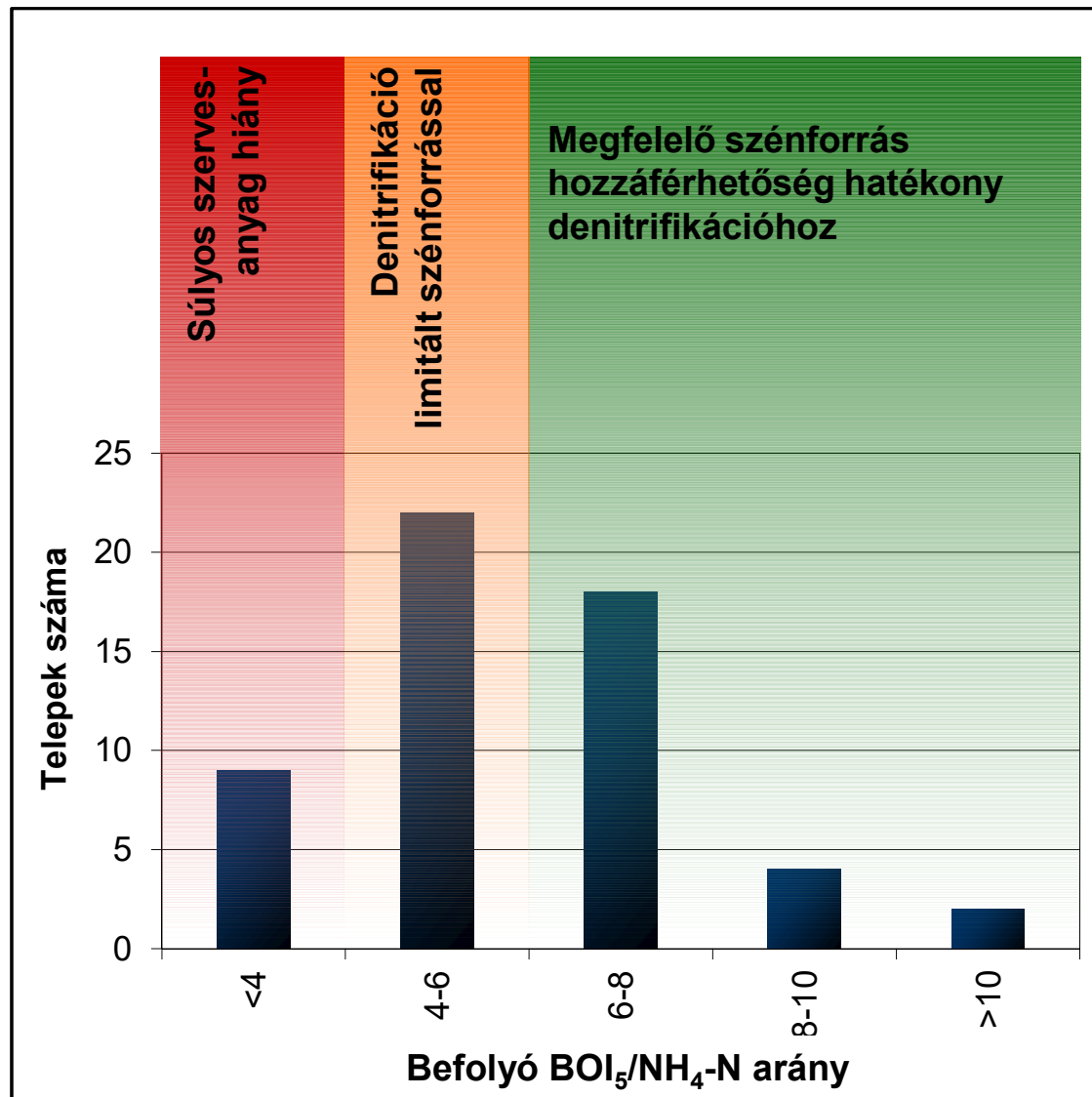


Biológiai nitrogéneltávolítás kombinált elő- utódenitrifikációval



Utódenitrifikációnál pótszénforrás adagolása szükséges

Magyarországi szennyvíztisztító telepek befolyó $\text{BOI}_5/\text{NH}_4\text{-N}$ érték szerinti megoszlása – denitrifikációs kapacitás



A befolyó szennyvíz minőségek

44%-a rendelkezik megfelelő mennyiségű szénforrással

40%-a szénforrás limitált denitrifikációt tesz lehetővé

16%-a súlyos szervesanyag hiányt mutat

Eszeniszapos rendszerek matematikai modellezése

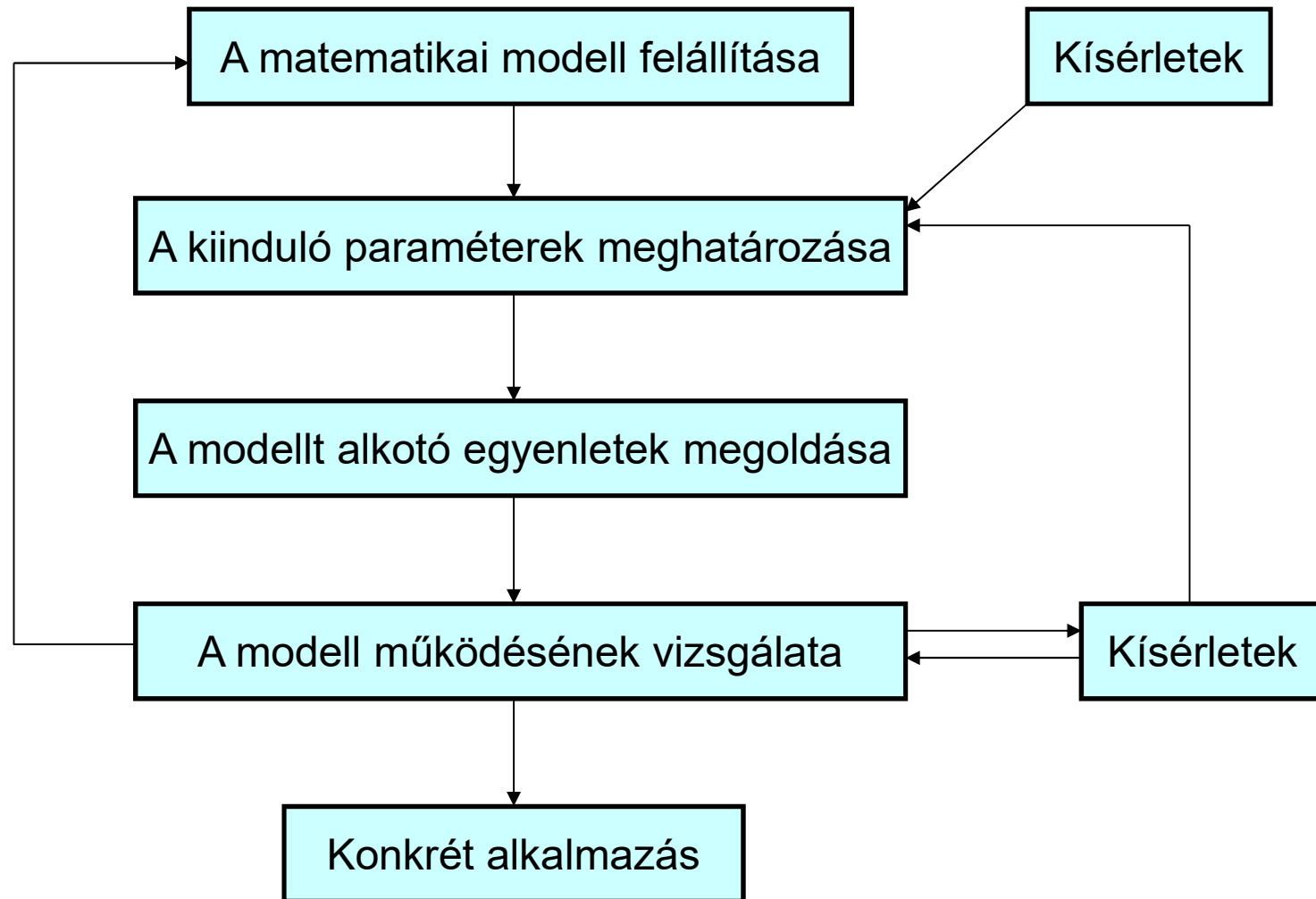
Mi a modell?

- a valóság (egyszerősített) matematikai leírása

A modellezés célja:

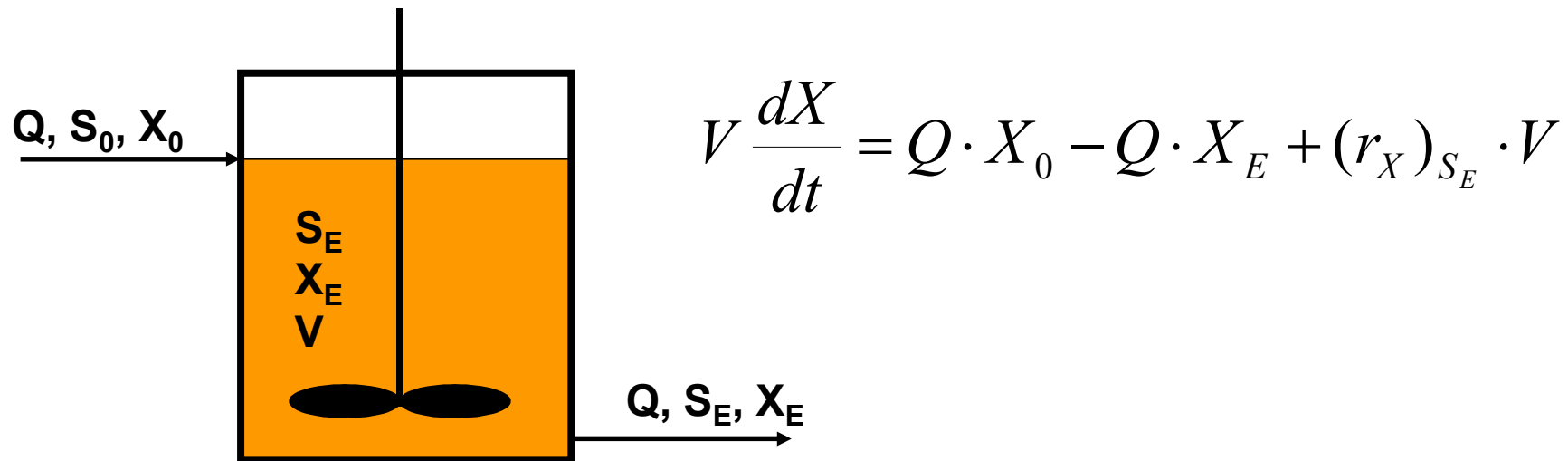
- az eszeniszapos rendszerben lejátszóó meghatározó folyamatok leírása
 - a folyamatok ismeretében a technológia tervezés és üzemeltetés elősegítése
-

A modellezés folyamata



A modellezés alapja

- kémiai és biokémiai folyamatokat leíró matematikai modellezés esetén az anyagmérleg egyenlet ill. az anyagmegmaradás törvénye



Az ASM1 matematikai modell

- Activated Sludge Model No1
- IAWPRC task group, 1985
(Henze M., **Grady C.P.L.**, Gujer W., Marais G.V.R., Matsuo T.)
- 1987 A modell végső kidolgozása
(**Grady C.P.L.**, **S. Bidstrup - SSSP**)

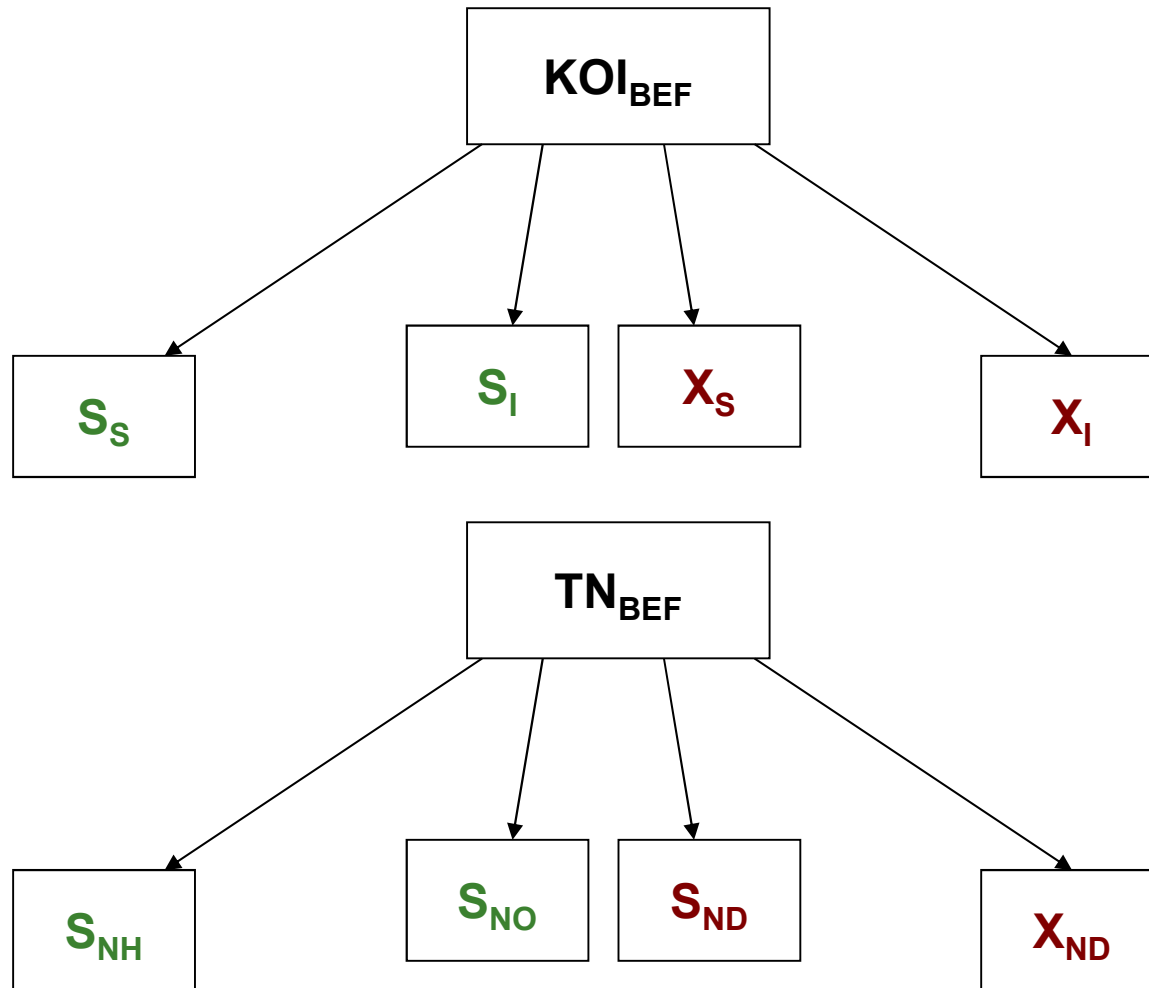
A modell tartalma:

- 8 kémiai/biokémiai folyamat
 - 13 komponens
 - 5 sztöchiometriai paraméter
 - 15 kinetikai paraméter
-

A modell paraméterek

Az ASM 1 modellben használt komponensek szimbólumainak definíciója			
Komponens szám	Szimbólum	Definíció	
KOI	1	S_S	Oldott könnyen biodegradálható szervesanyag, mg l ⁻¹ KOI
	2	S_I	Oldott, inert szervesanyag, mg l ⁻¹ KOI
	3	X_S	Nehezen biodegradálható szervesanyag, mg l ⁻¹ KOI
	4	X_I	Inert szervesanyag, mg l ⁻¹ KOI
TN	5	S_{NH}	Ammónia nitrogén, mg l ⁻¹ N
	6	S_{ND}	Oldott, biodegradálható szerves nitrogén, mg l ⁻¹ N
	7	X_{ND}	Nehezen biodegradálható szerves nitrogén, mg l ⁻¹ N
	8	S_{NO}	Nitrát nitrogén, mg l ⁻¹ N
9	$X_{B,H}$	Aktív heterotróf biomassa, mg l ⁻¹ KOI	
10	$X_{B,A}$	Aktív autotróf biomassa, mg l ⁻¹ KOI	
11	X_D	Biomassa stabilizációból származó sejtörmelék, mg l ⁻¹ KOI	
12	S_O	Oldott oxigén, mg l ⁻¹ KOI	
13	S_{ALK}	Alkalinitás, mol l ⁻¹	

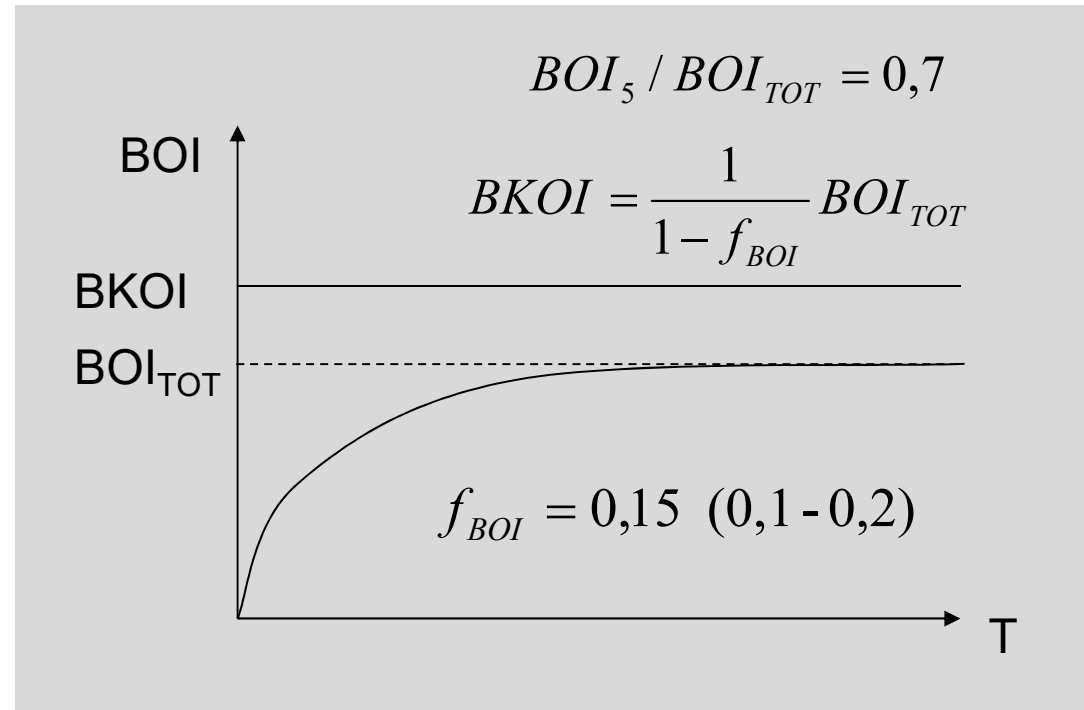
A befolyó paraméterek meghatározása



KOI frakcionálás (STOWA)

- S_I = a tisztított szennyvíz oldott KOI értéke
- $S_f = S_S + S_I = 0,1 \mu\text{m}$ pórusátmérőjű szűrőn szűrt v. $\text{Zn}(\text{OH})_2$ -vel flokkulált minta KOI értéke (S_f)
- $X_S + S_S = \text{BKOI}$

- $S_S = S_f - S_I$
- $X_S = \text{BKOI} - S_S$
- $X_I = \text{KOI}_{\text{BEF}} - S_S - S_I - X_S$



KOI frakcionálás + lebegőanyag

BEFOLYÓ $Q=25000 \text{ m}^3/\text{d}$

- $\text{KOI}=550 \text{ mg/l}$
- $\text{KOI}_{\text{szűrt}}=180 \text{ mg/l}$
- $\text{BOI}_5=275 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{-N}=38 \text{ mg/l}$
- $\text{NO}_{3,2}\text{-N}=0 \text{ mg/l}$
- $\text{TKN}=45 \text{ mg/l}$

- $\text{KOI}_{\text{elf}}=25 \text{ mg/l}$

- $S_I = 25 \text{ mg/l}$
 - $S_S = 180 - 25 = 155 \text{ mg/l}$
 - $\text{BKOI} = 275 / 0,7 * 1 / (1 - 0,15) = 462 \text{ mg/l}$
 - $X_S = 462 - 155 = 307 \text{ mg/l}$
 - $X_I = 550 - 25 - 155 - 307 = 63 \text{ mg/l}$
-

TN frakcionálás

- $\text{TKN} = \text{TN} - \text{NO}_2\text{N} - \text{NO}_3\text{N}$
- $\text{TIN} = \text{NH}_4\text{N} + \text{NO}_2\text{N} + \text{NO}_3\text{N}$
- $S_{\text{ND}} + X_{\text{ND}} = \text{TKN} - \text{NH}_4\text{N}$
- $S_{\text{ND}}/X_{\text{ND}} = S_{\text{S}}/X_{\text{S}}$

A hazai gyakorlatban nem igazolódott

TN frakcionálás

BEFOLYÓ $Q=25000 \text{ m}^3/\text{d}$

- $\text{KOI}=550 \text{ mg/l}$
- $\text{KOI}_{\text{szűrt}}=180 \text{ mg/l}$
- $\text{BOI}_5=275 \text{ mg/l}$
- $\text{KOI}_{\text{elf}}=25 \text{ mg/l}$
- $\text{NH}_4\text{-N}=38 \text{ mg/l}$
- $\text{NO}_{3,2}\text{-N}=0 \text{ mg/l}$
- $\text{TKN}=45 \text{ mg/l}$

- $S_{\text{ND}} + X_{\text{ND}} = 45 - 38 = 7 \text{ mg/l}$
 - $S_{\text{ND}} = 2 \text{ mg/l}$
 - $X_{\text{ND}} = 5 \text{ mg/l}$
-

Modellezett folyamatok

A megfelelő differenciálegyenlet-rendszer segítségével modellezhető folyamatok (ASM1)	
	Folyamat megnevezése
1	heterotrof mikroorganizmusok aerob növekedése
2	heterotrof mikroorganizmusok anoxikus növekedése (denitrifikáció)
3	autotrof mikroorganizmusok aerob növekedése (nitrifikáció)
4	heterotrof mikroorganizmusok sejtpusztulása (szétesés)
5	autotrof mikroorganizmusok sejtpusztulása (szétesés)
6	oldható, szerves nitrogén ammonifikációja (ammóniává alakulás)
7	nehezen biodegradálható szervesanyag hidrolízise
8	nehezen biodegradálható szervesanyaghoz kötött szerves nitrogén hidrolízise

A mátrix-formula

- Mikroorganizmusok növekedése és pusztulása

Komponens	X	S	Sebességi egyenlet
Növekedés	1	-1/Y	$r_1 = \mu \frac{S}{K_S + S} X$
Pusztulás	-1		$r_2 = b \cdot X$

$$\frac{dX}{dt} = \mu \frac{S}{K_S + S} X - bX \quad \frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y} \mu \frac{S}{K_S + S} X$$

Kinetikai és sztöchiometriai paraméterek

Jelölés	Definíció	Mértékegység
Sztöchiometriai koefficiensek		
Y_H	Heterotrof biomassza hozam	mg KOI/ mg KOI
f_p	Nehezen biodegradálható biomassza frakció	mg KOI/ mg KOI
i_{XB}	Biomassza nitrogén tartalma	mg N/ mg KOI
i_{XD}	Biomassza nitrogén tartalma lízist követően	mg N/ mg KOI
Y_A	Autotrof biomassza hozam	mg KOI/ mg N
Kinetikai paraméterek		
μ_H	Maximális fajlagos növekedési sebesség, heterotrof biomasszára	h^{-1}
K_S	Szubsztrát féltelítési állandó heterotrof biomasszára	mg KOI /l
K_{OH}	Oxigén féltelítési állandó heterotrof biomasszára	mg O_2 /l
K_{NO}	Nitrát féltelítési állandó heterotrof biomasszára	mg N/l
b_H	Heterotrof mikroorganizmusok pusztulási koefficiense	h^{-1}
η_g	μ_H korrekciós faktora anoxikus környezet esetén	dimenzió nélküli
η_h	Hidrolízis korrekciós faktora anoxikus környezet esetén	dimenzió nélküli
k_a	Ammonifikációs arány	l/(mg KOI*h)
k_h	Maximális fajlagos hidrolízis arány	mg KOI/ (mg KOI*h)
K_X	Nehezen biodegradálható szubsztrát hidrolízisének féltelítési állandója	mg KOI/ mg KOI
μ_A	Maximális fajlagos növekedési sebesség, autotrof biomasszára	h^{-1}
K_{NH}	Ammónia féltelítési állandó autotrof biomasszára	mg N/l
K_{OA}	Oxigén féltelítési állandó autotrof biomasszára	mg O_2 /l
b_A	Autotrof mikroorganizmusok pusztulási koefficiense	h^{-1}

A heterotrófok (H) növekedése

- Aerob növekedés

$$r_1 = \mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O} \right) X_{BH}$$

Oldott oxigén konc.

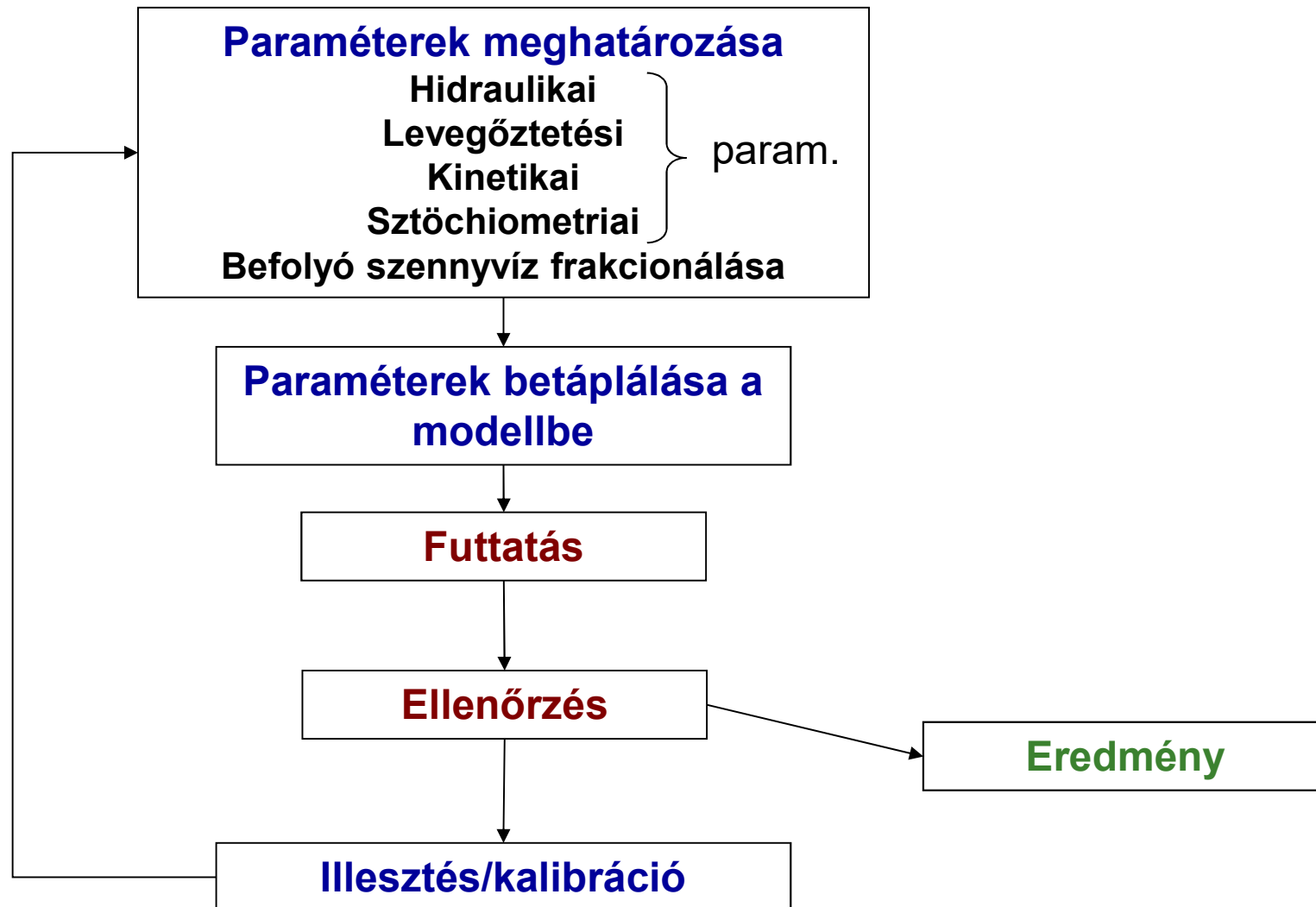
Oldott ox.-re vonatkoztatott féltelítési állandó

- Anoxikus növekedés

$$r_2 = \mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left(\frac{K_{OH}}{K_{OH} + S_O} \right) \left(\frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \eta_g X_{BH}$$

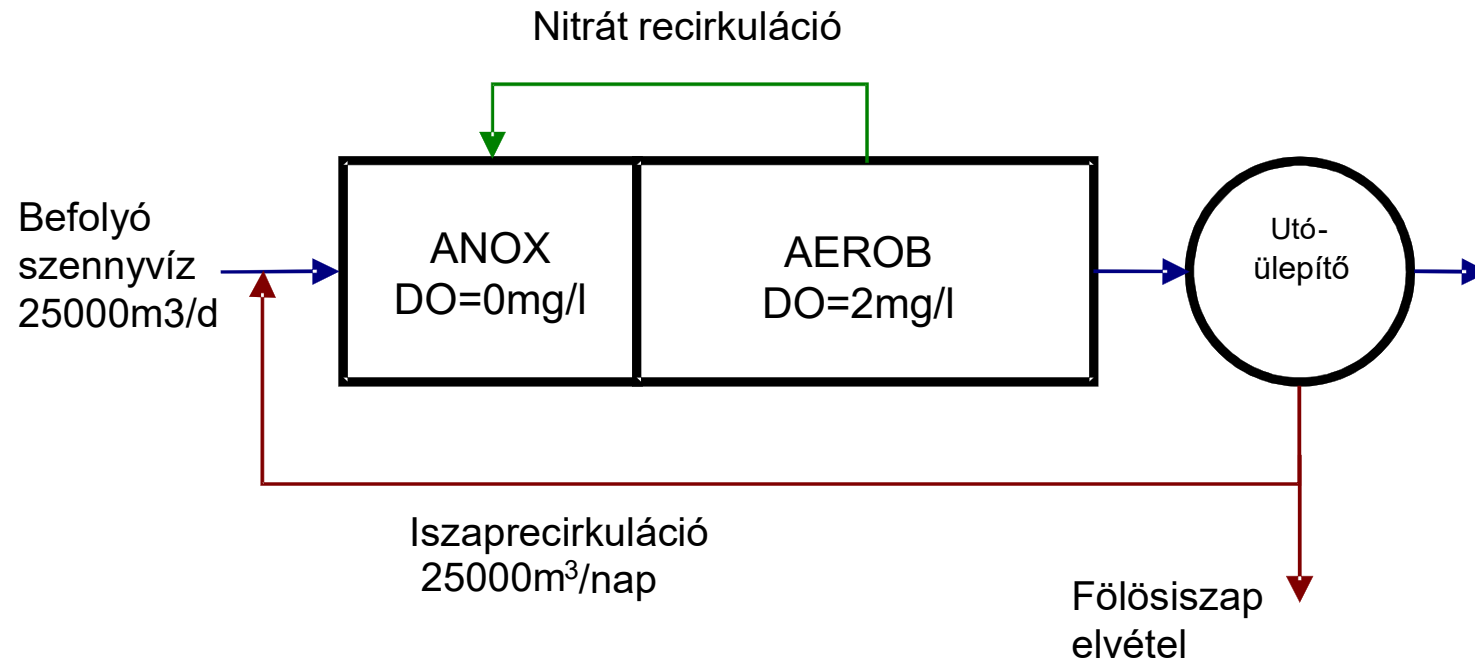
Nitrát/nitrit koncentráció

A modellezés menete



Elődenitrifikációs rendszer tervezése és modellezése

- **Hidraulikai tartózkodási idő ~ 0,5 d**
- **Anox. reaktor átfolyás tartózkodási idő min. fél óra**



Elődenitrifikációs rendszer tervezése és modellezése

- **Hidraulikai tartózkodási idő ~ 0,5 d**

$$\tau = V/Q \rightarrow V = Q * \tau = 25000 \text{ m}^3/\text{d} * 0,5 \text{ d} = 12500 \text{ m}^3$$

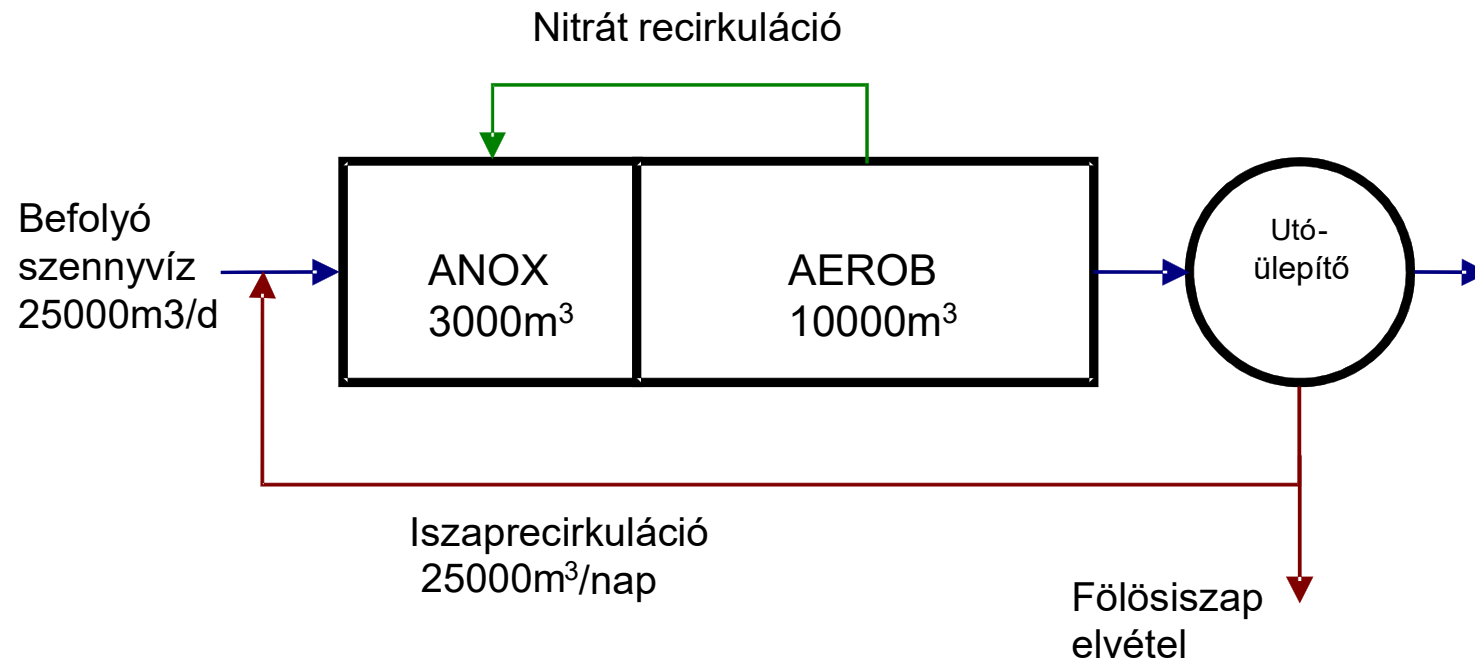
- **Anox. reaktor befolyó szubsztrát tartózkodási idő min. 0,5 óra**

$$\tau = V/Q \rightarrow V = (Q_{\text{bef}} + Q_{\text{RAS}} + Q_{\text{Nrec}}) * \tau$$

$$Q_{\text{Nrec}} \text{ maximum } 75\ 000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$V = (25000 + 25000 + 75000) \text{ m}^3/\text{d} * (0,5 \text{ h} / 24 \text{ h} / \text{d}) = 2604 \text{ m}^3$$

Elődenitrifikációs rendszer tervezése és modellezése



Nitrifikáció szempontjából fontos iszap tartózkodási idő számítása:

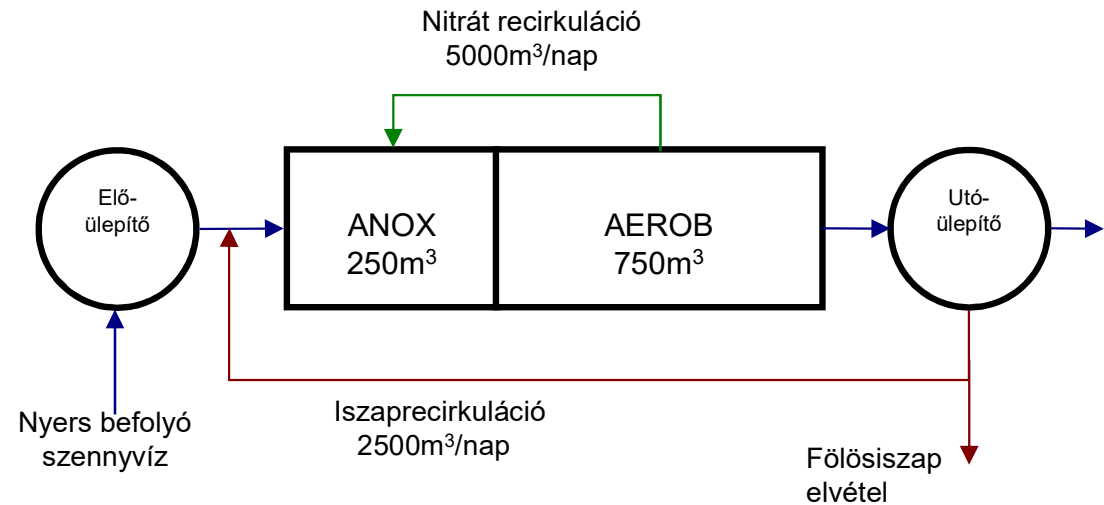
$$\text{SRT}_{\text{aerob}} = \text{SRT} * V_{\text{ae}} / V_{\text{tot}} \quad \rightarrow \quad \text{SRT}_{\text{ae}} > 1 / \mu_{\text{A}}$$

Fontosabb megállapítások

- **Ha alacsony az iszap tartózkodási idő** → csökkenteni kell az iszapelvételt (ettől az iszapkoncentráció is nő a bioreaktorokban).
 - **Ha az anoxikus reaktorban van könnyen biodegradálható szubsztrát (elsősorban acetát) és nincs nitrát v. nitrit** → a hatékonyabb denitrifikáció érdekében növelni lehet a recirkulációk értékeit (Q_{RAS} , Q_{NREC})
 - **Ha az anoxikus reaktorban nincs könnyen biodegradálható szubsztrát és van nitrát v. nitrit** → nincs megfelelő mennyiségű szénforrás a hatékony denitrifikációhoz, adott esetben a recirkuláció csökkenthető, szükséges esetben pótszénforrás adagolandó
-

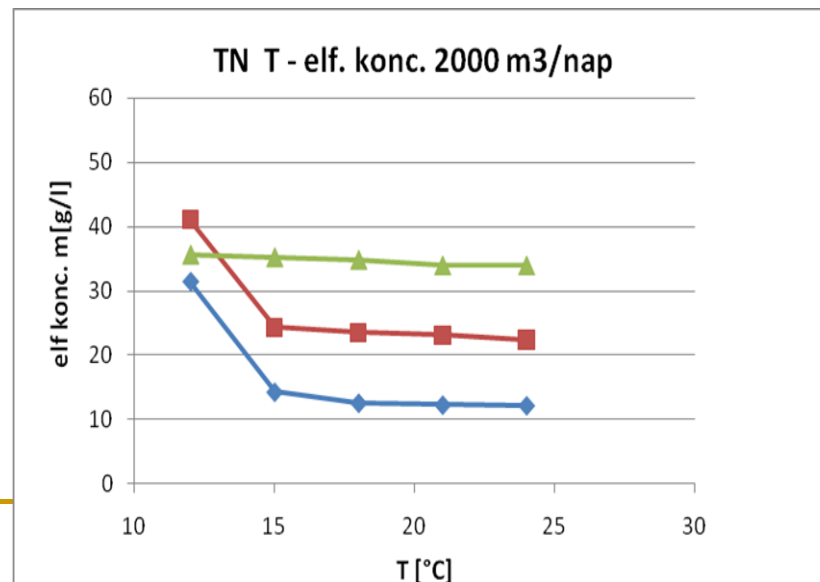
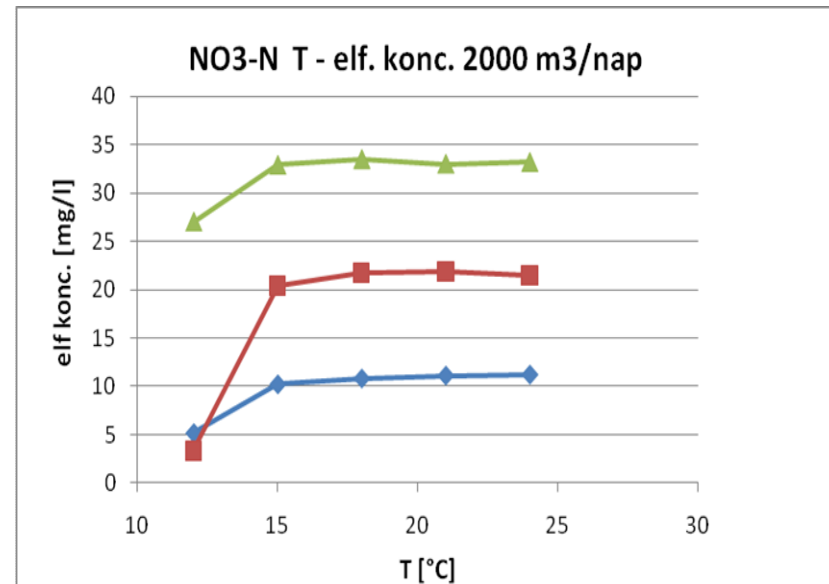
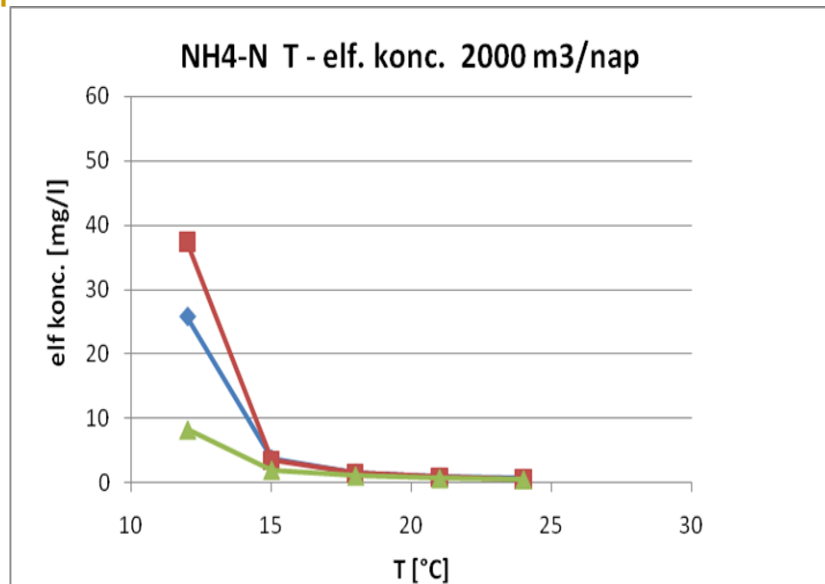
ASM1 modell esettanulmány elődenitrifikációs rendszerre

	Szennyvíz minőségek		
	I	II	III
tKOI (mgKOI/l)	600	550	450
Si (mgKOI/l)	40.0	40.0	40.0
Ss (mgKOI/l)	340.0	160.0	110.0
Xs (mgKOI/l)	130.6	243.4	209.3
Xi (mgKOI/l)	89.4	106.6	90.7
NH4N (mgN/l)	60.0	60.0	60.0
NO3N (mgN/l)	0.0	0.0	0.0
Snd (mgN/l)	5.1	2.8	2.4
Xnd (mgN/l)	4.9	7.2	7.6



- Befolyó mennyiség: 2000 m³/d
- Maximális eleveniszap koncentráció: 4200 mgKOI/l
- DO_{anox}= 0 mg/l DO_{aerob}= 2 mg/l

A modellezés eredményei



A modell kalibrációja/illesztése

