Aerob szennyvíztisztítási folyamatok modellezése

Domokos Endre – Kovács Károly
domokose@almos.vein.hu , kovacsk@purator.hu

Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, 8201, Vp, Pf. 158
PURATOR Hungaria Kft., 1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 7.

Az elfolyó víz minőségének javítására irányuló erőfeszítések oda vezettek, hogy a szennyvíztisztítók felépítése és üzemeltetési soha nem látott bonyolultságot ért el. Éppen ezért, a mai telepek és üzemeletetésük megtervezéséhez elengedhetetlen a dinamikus modellezés használata. Az összes ma használatos modell determinisztikus, mely alól csak néhány fekete doboz elvű irányítási modell alkot kivételt. A modellek fő célja, hogy minél pontosabb leírását adják a szennyvíztisztítókban zajló folyamatoknak. Ennek ellenére, a modellek soha nem írhatják le teljesen a valóságot, mivel a biológiai folyamatok sokszínűségét a mai ismereteink szerint nem lehet pontosan meghatározni. (Egyébként ha a modellezés pontossága eléri a teljes pontosságot, akkor az már nem modell, hanem maga a valóság.)

Azokkal a modellekkel kapcsolatban, melyekkel ma dolgozunk azt tapasztaltuk, hogy elégséges pontosságúak a kitűzött feladatok megoldására. A legnagyobb gond a modellekkel, hogy nem képesek követni a génmanipulációkkal létrehozott mikroorganizmusok okozta nagymértékű változásokat, így például a duzzadásra és felhabzásra való hajlamot. Éppen ezért, ezeket a folyamatokat jelenleg egyik modell sem kísérli meg leírni. Az alábbiakban a ma használatos modellekről olvashatunk egy áttekintést. (További ismeretek e témáról a Rehm et al., Wiley Biotechnology sorozat, 11/a kötet 13. fejezet, 1991.)

A modellezés célja

A modelleket többek között az alábbi célokra használhatjuk egy szennyvíztisztító teleppel kapcsolatban:

- Tervezés
- Irányítás
- Optimalizálás
- Oktatás
- Kutatások

A modell szerkezetét nagymértékben befolyásolja a tervezett használat, így például a tervezéshez és a szabályozáshoz használt modell nem azonos. Figyelembe kell venni, hogy egy modell soha nem fog többet tudni, mint az alkotói és számos tényező befolyásolja a tulajdonságaikat. A legfontosabb tulajdonságuk az, hogy hogyan kezelik az alapvető folyamatokat. A szennyvíz jellemezésének módja mind a valós tervezés, mind a modellezés esetén nagyon fontos. Ha a szennyvíz jellemzése nem megfelelő, az mind a valóságban az üzemeltetés esetén, mind a modellezésben súlyos problémákhoz vezethet.

Az eleveniszapos modell elemei

Az eleveniszapos modellek elemei több csoportba sorolhatóak:

- Szállítási folyamatok
- Komponensek
- Biológiai és kémiai folyamatok
- Hidraulika

Ezek adják a keretét a szükséges összetevőknek és adatoknak. Minél részletesebben akarjuk modellezni a valóságot annál több adatra, és ismeretre van szükség a szennyvíztisztítóról, így modellünk pontosságát befolyásolja a rendelkezésre álló adatok mennyisége és eredendő minősége is.

Szállítási folyamatok és a tisztító-telep szerkezete

A szállítási folyamatok közé értjük a víz és iszap mozgását a tisztítóban. A szennyvíztisztító áramlási rendszerét minden modellben pontosan meg kell határozni. Sajnos sokszor elengedhetetlen az áramlási séma egyszerűsítése a nagyon bonyolult felépítés vagy az alkalmazott modell illetve annak megvalósításának korlátai miatt. Az egyszerűsítés sokszor kedvező hatású a modellezés folyamán, így még akkor is érdemes elvégezni, ha egyébként nem lenne rá szükség. Például a párhuzamos műtárgyakat – ha egyébként minden paraméterükben megegyeznek – lehet egy (kétszeres méretű) műtárggyal modellezni. Azt viszont mindig szem előtt kell tartani, hogy minél nagyobb az egyszerűsítés mértéke, a modellel kapott eredmények annál kevésbé megbízható eredményt adnak. A szennyvíz és az iszap áramlási viszonyait mindig pontosan ismerni kellene, de azt sokszor még az üzemeltetők sem ismerik pontosan.

Levegőztetés

A levegőztetés állapotát minden műtárgyban gondosan le kell írni, akár tényleges értékkel – oldott oxigén (DO) koncentrációval –, akár levegőztetési koefficienssel (K_La). Valamint ismerni kell a levegőztetés szabályozásának vagy vezérlésének legalább percnyi pontosságú menetét. Figyelni kell azokra a műtárgyakra is, melyek bár nem rendelkeznek önálló levegőztető kapacitással, de a telep felépítése miatt – pl. túllevegőztetett szennyvíz kerül bele – mégis levegőztetett medenceként funkcionálnak. Nem szabad elfelejteni a felszínen keresztüli oxigénbeoldódást sem, ami egy denitrifikáló medencében jelentős változásokat okozhat. A DO ismerete nem elégséges a pontos nitrifikáció-denitrifikáció számításához, így a professzionális modellek minden esetben a K_La értéket használnak.

Összetevők

Ezek azon oldott és lebegő összetevők, melyek a szennyezést okozzák a vízben. Az, hogy melyek ezek az összetevők modellenként változik. Ha például a nitrifikáció működésének a modellezése a cél, akkor elég egy foszfor alapú összetevő figyelembevétele, míg ha a biológiai többletfoszfor eltávolítás modellezése a cél, legalább két összetevőt – a biomassza foszfortartalma (X_{PP}), ortofoszfát (S_{PO4}) – kell használni.

Folyamatok

Ebbe tartozik az összes biológiai és kémiai folyamat modellezése. Ezek határozzák meg, hogy a modell mennyire fedi a valóságot. Sok esetben egész egyszerű modellek is meglepően pontosan írják le a valóságot, míg más esetekben a legbonyolultabb modelljeink sem tudnak megfelelő eredményt hozni. Például egy egyszerű foszfor eltávolítási modell, mint amilyen az ASM2-es modellben is alkalmazásra kerül, teljes mértékben leírja a biológiai többletfoszfor eltávolítás hatékonyságát, míg például az úgynevezett szimultán denitrifikáció folyamatának modellezése máig megoldatlan probléma. Azaz az egyszerűsíthetőség mértéke valamint az alkalmazott modell részletessége független a folyamat fizikai kivitelezhetőségének bonyolultságától.

Hidraulikai séma

A különböző műtárgyak hidraulikáját is modellezni kell. A jelenlegi megoldások mindegyike mint tökéletesen kevert műtárgyat kezeli a reaktorokat, így némelyiket csak mint műtárgyak sorozatát tudjuk modellezni. A gyakorlati tapasztalatok szerint ennél bonyolultabb hidraulika-modellre csak ritkán van szükség.

A modell megjelenése

Az összetett kapcsolatrendszert az összetevők és a folyamatok közt leginkább mátrixban lehet megjeleníteni. A legegyszerűbb modell, mely a szerves anyag eltávolítását modellezi az eleveniszapos szennyvíztisztítóban az 1. Táblázatban látható mátrix formában. Mint látható, ez a fölírási mód gyors és egyszerű áttekinthetőséget biztosít mind a folyamatok, mind az összetevők részéről.

Összetevők Folyamatok	S_{O_2}	S_S	X_H	Folyamatot leíró egyenlet
Aerob növekedés	$-\frac{1}{Y_H}+1$	$-\frac{1}{Y_H}$	+1	$\mu_{m,H}\frac{S_s}{K_s+S_s}X_H$
Pusztulás		+1	-1	$b_H X_H$

1. Táblázat Egy egyszerű mátrix a szerves anyag eltávolításhoz

Tömeg egyensúlyok

A mátrix soraiból kapjuk meg a folyamatok tömegegyenleteit. Az első táblázat második sora mutatja például a heterotróf biomassza pusztulási egyenletét (az X_H oszlopban lévő -1-es sztöchiometriai tag jelzi, hogy itt csökkenésről van szó), illetve a nehezen bontható tápanyag növekedési egyenletét (az S_s oszlopban lévő +1-es sztöchiometriai tag jelzi, hogy itt növekedésről van szó).

Mérlegek

A jobb szélső oszlopban találhatjuk a folyamatok mérleg-egyenleteit. A sztöchiometriai egyenletét például az X_H-nak úgy kapjuk, hogy a folyamat egyenletét a sztöchiometriai tag(ok)al beszorozzuk. Így jutunk például a következő egyenlethez:

$$r_{XH} = -1 * b_H X_H \quad (1)$$

Összetevők

A mátrix oszlopai mutatják, hogy melyik összetevőkre melyik egyenletek hatnak. Így például a második oszlopból (S_S) kiderül, hogy a nehezen bontható tápanyagra a koncentrációváltozás szempontjából az aerob növekedés negatívan, míg a pusztulás pozitívan hat.

Eleveniszapos modellek (ASM 1-3)

Az eleveniszapos modellek az IAWQ No 1-es (melynek ismertebb neve ASM1) modellen alapulnak (Heinze és társai, 1987). Az alapmodell, csak nagyon egyszerű számítások elvégzésére volt alkalmas, de egyenletei kisebb módosításokkal ma is megtalálhatóak az összes modellben.

1-es számú eleveniszapos modell (ASM1)

A modell a nitrifikáció és a denitrifikáció folyamatait írja le az eleveniszapos szennyvíztisztítóban. Tíz éves használat után megállapítható, hogy jól megállapított szennyvízjellemzőkkel és a tisztító megfelelő leírásával a modell kiváló pontossággal írja le az egyszerűbb – biológiai többlet-foszforeltávolítást nem végző – telepek működését. Szem előtt kell tartani azt is, hogy az ASM1 akárcsak a többi továbbfejlesztett modell, elsősorban kommunális szennyvíztisztító telepek modellezésére alkalmas. Ahhoz, hogy ipari tisztítókat modellezzünk vele, legtöbbször nem elég az összetevők helyes beállítása, sokszor a modell egyenleteit is módosítani kell, ami nagy odafigyelést és hosszas kalibrálást igényel.

Az ASM1 a szennyvíztisztítóknak a következő jellemzőit tudja modellezni:

- Oxigénigény a reaktoronként
- Ammónia és nitrát-koncentráció a reaktorokban és az elfolyókban
- KOI koncentráció a reaktorokban és az elfolyókban
- MLSS a reaktorokban
- Tartózkodási idő
- Iszaptermelés

Mint minden modellnél az ASM1 modellnél is, a fenti eredmények megbízhatóságát nagymértékben befolyásolja a betáplált (mért) adatok pontossága. A melléklet 1. és 3. táblázatban láthatjuk a teljes modellt, az összes egyenletével és összetevőjével. Az 1. ábrán pedig a modell folyamatinak összefüggéseinek összefoglalása látható.

2-es számú eleveniszapos modell (ASM2)

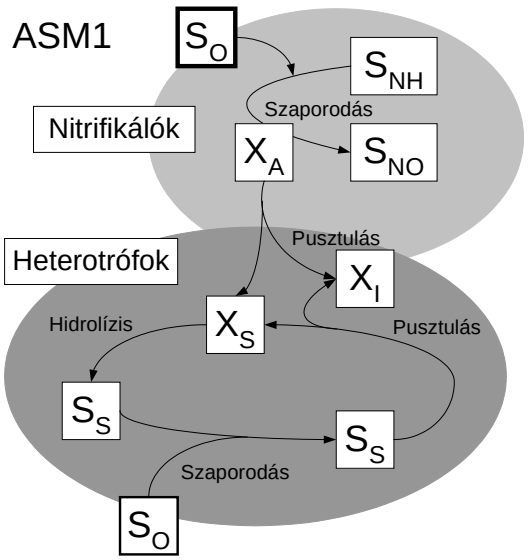
Ez a modell az ASM1 modell biológiai többletfoszfor-eltávolítással kiegészített variánsa (Henze és társai, 1995), mely így sokkal összetettebb lett. Ahhoz, hogy a PAOk (phosphate accumulating organisms azaz foszfor-felhalmozó organizmus) életműködését megfelelően leírhassuk szükség volt új összetevők bevezetésére. A minél pontosabb leíráshoz a következő szerves tápanyagok bevezetésére volt szükség (részletesen lásd. a melléklet 9. és 10. táblázata):

- ecetsavhoz hasonlóan viselkedő anyagok, S_A
- fermentálható tápanyag, S_F
- nehezen bontható tápanyag, X_S

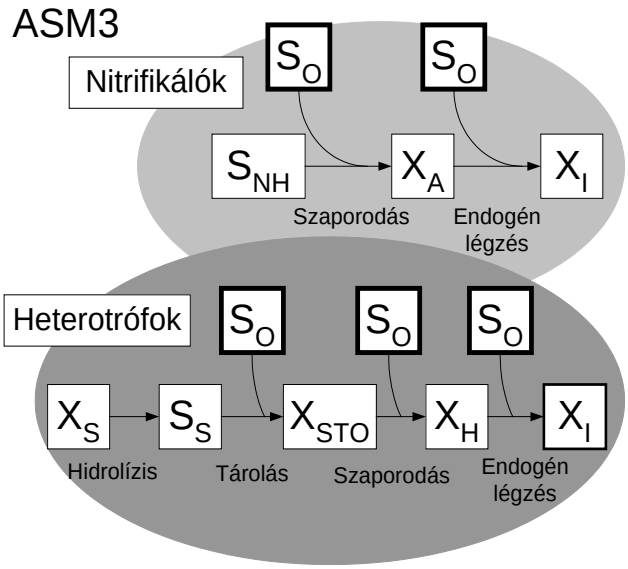
Az ASM 2-es modell feltételezi, hogy a növekedés ütemét a tápanyagok közül csak az S_A befolyásolja, melyet a hidrolizált és fermentált tápanyagokból kapunk.

3 és 2d számú eleveniszapos modellek (ASM3 és ASM2d)

A modellek egy alternatív lehetőséget kínálnak a heterotróf organizmusok leírására. Ezek az élőlények átmenetileg képesek polimer vegyületként – például polihidroxi-alkanoátként (PHA) vagy glykogénként (GLY) – szerves anyagot tárolni. Ezen tárolt anyagok képesek átsegíteni őket bizonyos tápanyaghiányos állapotokon. Az ASM 3-as és 2d-s modell tartalmazza mindazokat az egyenleteket, melyek szükségesek mindezen folyamatok leírására (lásd 2. ábra). Jól látszik, hogy a fenti folyamatokhoz mindig jelentős oxigén felhasználás tartozik.



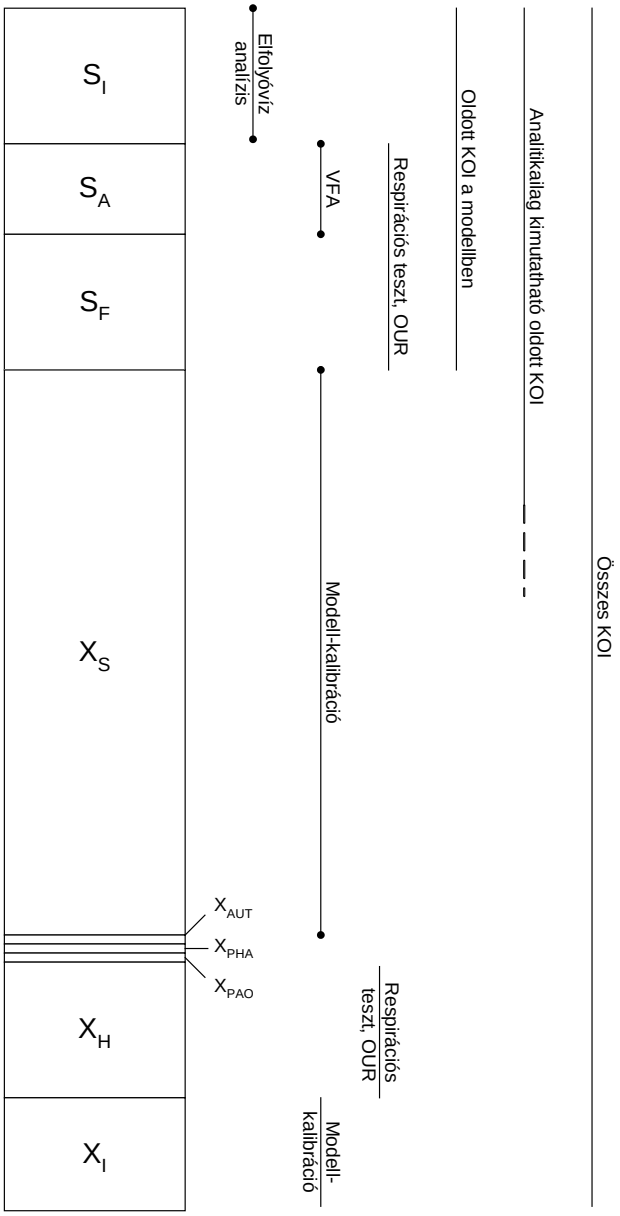
1. ábra Az ASM1 modell felépítése



2. ábra Az ASM3 modell felépítése

Szennyvíz jellemzése

A modellek egyik legfontosabb eleme a szennyvíz jellemzése. Minél részletesebbek az ismereteink a szennyvízről annál pontosabbak lesznek a számításaink. A 3. ábrán láthatjuk hogy mely összetevők milyen arányban találhatók egy átlagos szennyvízben, s azokat milyen módszerrel tudjuk meghatározni. Mint az ábrán láthatjuk a modellben figyelembe vett oldott anyag (amit nagy S-el jelölünk) nem egyenértékű az analitikailag meghatározható oldott anyaggal. Ennek oka, hogy a lebegő szerves anyag egy része gyorsabban bomlik, mint az analitikai mérések ideje.



3**. ábra** A szennyvíz összetétele modellezési szempontból vizsgálva.

A 2. Táblázat számszerűen is ismerteti a várható szennyvízösszetevők arányát egy átlagos kommunális szennyvíz esetén. A szennyvíz jellemzőinek meghatározását egyszerűsíteni lehet, ha bizonyos könnyen mérhető (BOI, KOI, oldott anyag, stb.) összetevőkből számítjuk ki a többit. (Roeleveld és Kruit, 1998)

Befolyó:
$KOI_{összes}=S_S+S_I+X_S+X_I$
$KOI_{oldott}= S_S+S_I$ (0,1 µm-es szűrővel)
$KOI_{lebegő}= X_S+X_I$
$1,5\ BOI_5 =S_S+X_S$
$BOI_{20}/0,85 =S_S+X_S$

A nitrogéntartalom egyszerűsített számolása a következő:

$TN=f_{NX}X_S+ f_{NS}S_S+S_{NH4}$

ahol f_{NX} és f_{NS} a nitrogén aránya az adott összetevőben ($gNg^{-1}KOI$). Jellegzetes értékük 0,03 $gNg^{-1}KOI$.

Jelölés	Összetevő	Tipikus értéke	Mértékegysége
Oldhatóak			
S_F	Fermentálható szerves anyag	20-250	$gKOIm^{-3}$
S_A	Acetátok és egyéb fermentált anyagok	10-60	$gKOIm^{-3}$
S_{NH4}	Ammónium	10-100	gNm^{-3}
S_{NO3}	Nitrát+nitrit	0-1	gNm^{-3}
S_{PO4}	Ortofoszfát	2-20	gPm^{-3}
S_I	Inert szerves anyag	20-100	$gKOIm^{-3}$
Lebegők			
X_I	Inert szerves anyag	30-150	$gKOIm^{-3}$
X_S	Nehezen bontható szerves anyag	80-600	$gKOIm^{-3}$
X_H	Heterotróf biomassza	20-120	$gKOIm^{-3}$
X_{PAO}	Foszfor-akkumuláló biomassza	0-1	$gKOIm^{-3}$
X_{PP}	PAO-ban tárolt polifoszfát	0-0,5	gPm^{-3}
X_{PHA}	PAO-ban tárolt szerves polimerek	0-1	$gKOIm^{-3}$
X_{AUT}	Nitrifikáló biomassza	0-1	$gKOIm^{-3}$

2. Táblázat A modellezés során leggyakrabban használt változók és irodalmi értékeik

A modell kalibrálása

Minden modell kalibrálása igen bonyolult feladat. A folyamat sikere nagymértékben függ attól, hogy a felhasználó mennyire ismeri a modell belső felépítését és működését. Ha kézzel kalibrálunk, akkor mindenképpen, valamilyen világos, egyszerű stratégiát kell követni a paraméterek ellenőrzése során. Legalább ilyen fontos tudni, hogy a különböző paramétereknek melyek a valós értékhatárai, mivel ezeket a határokat nem szabad átlépni, ha valósághű modellt akarunk alkotni. Az 3. Táblázat bemutatja milyen lépéseken célszerű végighaladni, ha az ASM1 modellt szeretnénk bekalibrálni.

Gyakran igen sok paramétert kell változtatni ahhoz, hogy megfelelően illeszkedő modellt kapjunk. Minél részletesebb adataink állnak rendelkezésre a kalibrációhoz, annál pontosabb lesz a munkánk, s annál nagyobb eséllyel kapunk a helyzetnek megfelelő eredményt. A legtöbb szennyvíztisztítóban egy-egy nap folyamán nincsenek határozott változások, ezért ezeken igen egyszerű megtanulni a kalibrációt.

Paraméter	Kalibráció alapja	Megjegyzés
Heterotróf növekedési arány ($\mu_{H,max}$)	OUR	Általában nem változtatjuk

Paraméter	Kalibráció alapja	Megjegyzés
Féltelítési állandó (K_S)	$KOI_{elfolyó}$	A reaktor hidraulikájának modellezésére
A nitrifikáló biomassza növekedési üteme ($\mu_{A,max}$)	$NH_{4,elfolyó}$	Ha az NH_4 koncentrációja általában alacsony, akkor változatlanul hagyjuk
Féltelítési állandó (K_{NH4})	$NH_{4,elfolyó}$	Csak alacsony NH_4 koncentrációnál
Féltelítési állandó ($K_{O,A}$)	$NH_{4,elfolyó}$	Csak ha az S_{O2} hirtelen változik
Denitrifikációs tényező (η_{NO3})	$NO_{3,\ elfolyó}$	
Féltelítési állandó (K_{NO3})	$NO_{3,\ elfolyó}$	Csak alacsony NO_3 koncentrációnál

3. Táblázat Kalibrációs lépések az ASM1-hez

Számítógépes programok

Számos kereskedelmi számítógépes programot lehet beszerezni, melyek valamely ASM modellt tartalmazzák. A x. rövid összefoglalás láthatunk a legelterjedtebb programokról.

Program	Modellek	Ismertető
ASIM	ASM 1, 2, 3	Egyszerű program, egyszerű problémákhoz
EFOR	ASM 1, 2	Elsősorban modell-kalibrációhoz használható programcsomag többféle ülepítő-modellel
GPX	ASM 1, 2	A programban több modellt is lehet párhuzamosan használni ugyanarra a feladatra
SIMBA	ASM 1, 2	Elsősorban a német nyelvterületen elterjedt MatLab-SimuLink alapú megvalósítás
Szennyvíztisztító szakértői rendszer	ASM 1, 2, 3	Fejlesztés alatt álló teljesen magyar program. Az egyetlen program, mely nem csak tudósoknak, hanem gyakorlati szakembereknek is készült

4. Táblázat Legnépszerűbb számítógépes alkalmazások

A modell használata

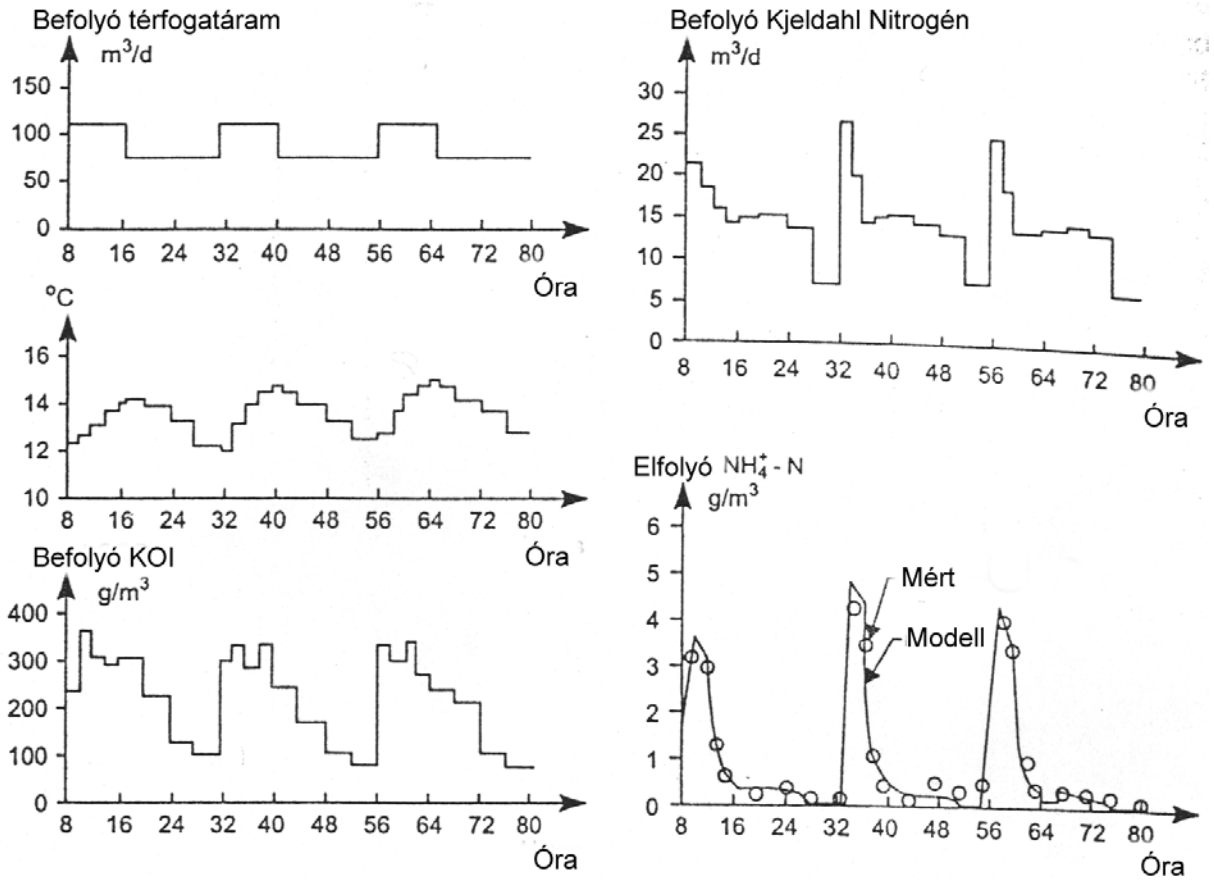
A modellt több célra is jól lehet használni. A legfontosabb terület a szennyvíztisztító szabályozása. Legtöbbször egy igen leegyszerűsített modell is nagymértékben javítja a szennyvíztisztító megértését és ez által a vezérlését. Viszont egy összetett rendszerhez, mint egy nitrifikációs-denitrifikációs, biológiai többletfoszfor-eltávolítással és külső tápanyag-hozzáadással kombinált rendszer már egy igen komolyan előkészített és pontosan kalibrált modellt igényel (Meinholt és társai, 1998).

A szennyvíztisztító optimalizálása egy másik fontos felhasználási területe a modellnek. A 3. ábra mutatja egy jól beállított modell futtatási eredményeit a valós mérési eredmények tükrében. Az ábrán az is jól látszik, hogy a szennyvíztisztítónak időnként problémái vannak a

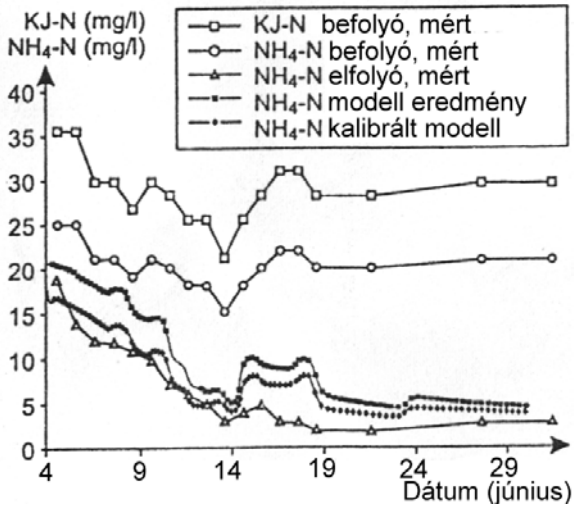
nitrifikációval, ami a kiugró ammónia csúcsokban jelentkezik. A modell segítségével ki lehet alakítani egy olyan működtetési stratégiát, mely elsimíthatja ezeket a csúcsokat.

Az 4. ábrán nyomon követhetjük egy nitrifikációs folyamat beindulásának modellezését. A számítás teljesen elvi alapokra épül, célja, hogy oktatási céllal bemutassa egy éppen beindult szennyvíztisztító próbaüzemét.

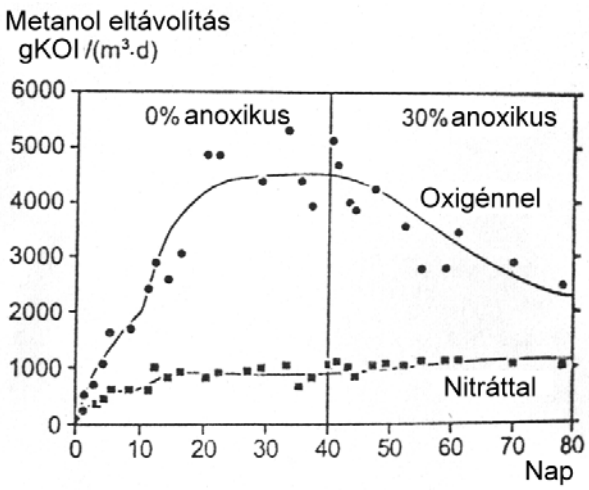
Az 5. ábrán egy metanol eltávolítási kísérlet modellezését láthatjuk, egy aerob és egy anoxikus tankból álló rendszerben. A reaktorokban két különböző típusú populáció alakult ki, melyek különböző eltávolítási hatásfokot mutattak. Aerob körülmények közt hirtelen hatásfok emelkedés tapasztalható, míg anoxikus körülmények közt sokkal lassabb, de biztosabb növekedés figyelhető meg. A kísérlet második felében – a 40. naptól – a reaktorok arányát megváltoztattuk (30% anoxikus, 70% aerob tér), melynek eredményeként az aerob rendszerben jelentős hatékonyságromlás, míg az anoxikus rendszerben továbbra is biztos növekedést tapasztalhatunk.



3. ábra Egy modellezés eredménye



4. ábra Nitrifikáció beindulásának modellezése



5. ábra Metanol-eltávolítási kísérlet

Felhasznált irodalom

Adin, A., et al. (1993a) Biological Nutrient Removal in a Single-sludge Plant. Water Sci. Technol. (G.B.), 27, 63.

Akca, L., et al. (1993) A Model for Optimum Design of Activated Sludge Plants. Water Sci. Technol. (G.B.), 27, 1461.

Bimbó L.: Szakmérnöki szakdolgozat Bácsvíz Rt. 1997

Blok, J.; and Struys, J. (1996) Measurement and Validation of Kinetic Parameter Values for Prediction of Biodegradation Rates in Sewage Treatment. Ecotoxicol. Environ. Safety, 33, 217.

Capodaglio, A. G. (1994) Evaluation of Modelling Techniques for Wastewater Treatment Plant Automation. Water Sci. Technol. (G.B.), 30 (pt 2), 149.

Çinar, Ö.; Daiger, G. T.; and Graef, S. P. (1996) Evaluation of IAWQ Activated Sludge Model N°. 2. Using Four Full Scale Wastewater Treatment Plants. Paper presented at 69th Annu. Water Environ. Fed. Tech. Exposition Conf., Dallas, Tex.

Daigger, G. T. et al. (1992) Analysis of Techniques for Evaluating and Optimizing Existing Full-Scale Wastewater Treatment Plants. Water Sci. Technol. (G.B.), 25, 103.

de Melo, J. J., and Camara, A. S. (1994) Models for the Optimization of Regional Wastewater Treatment Systems. Euro. J. Oper. Res., 73, 1.

Domokos E., Kárpáti Á., Kiss l., Zajzon I. : Az A/O rendszerek terhelésének és oxigénellátásának hatása az egyes tápanyagok eltávolítására. X. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, Siófok, 1996. szeptember 9-11. Konferencia kiadvány 67-74. p.

Domokos E., Kárpáti Á.: Dinamikus szimuláció lehetősége és hasznosítása néhány hazai szennyvíztisztító vizsgálatában. 3, Veszprémi Környezetvédelmi Konferencia, Veszprém, 1997. május 26-28. Kiadványkötet 654-661. p.

Domokos E., Kárpáti Á.: Szimulátorfejlesztés a szakaszos betáplálású szennyvíztisztító rendszereknél. Az MTA VEAB Környezettudományi Munkabizottsága, az MHT Vízkém. és Víztechnol. Szakosztálya, és az MKE Veszprém Területi Csoport Analitikai Szakosztálya tudományos ülése, Veszprém, VEAB Veszprém, 1997 április 9. (Előadás)

Domokos E.: Szakaszos betáplálású eleveniszapos szennyvíztisztító (SBR) és szimulációja. Nemzetközi Környezetvédelmi Ifjúsági Konferencia, Mezőtúr, 1995. július 5-7.

Echeverria, R., et al. (1993) Control of Activated Sludge Settleability Using Preareation and Preprecipitation. Water Res. (G.B.), 27, 293.

Gujer W., Henze M,., Mino T., Matsuo T., Wentzel M. C. and Marais G. v R. (1994) The activated sludge model No. 2: Biological phosphorus removal. Wat. Sci. Tech., 31(2), 1-11.

Hasselblad, S., and Xu, S. (1996b) Estimation of Sludge Separation Parameters of Secondary Clarifier Simulation. Paper presented at 69th Annu. Water Environ. Fed. Tech. Exposition Conf., Dallas, Tex.

Henze M., Grady C. P. L., Gujer W., Marais G. v R. and Matsuo T. (1987) Activated sludge model N°. 1, IAWQ Scientific and Technical Report No. 1, IAWQ, London

Henze M., Gujer W., Mino T., Matsuo T., Wentzel M. C. and Marais G. v R. (1998) Activated Sludge Model N°. 2d. IAWQ, Scientific and Technical Reports, No. 3., London

ISIS adatbázis

Jeppsson, U., and Diehl, S. (1996a) An Evaluation of a Dynamic Model of the Secondary Clarifier. Water Sci. Technol. (G.B.), 34, 5-6, 19.

Jeppsson, U., and Diehl, S. (1996b) On the Modeling of the Dynamic Propagation of Biological Components in the Secondary Clarifier. Water Sci. Technol. (G.B.), 34, 5-6, 85.

McCorquodale, J. A.; Zhou, S.; and Vitasovich, Z. (1996) A Dynamic Solids Inventory Model for Activated Sludge Systems. Water Environ. Res., 68, 329.

Kabauris, J. C.; and Georgakakos, A. P. (1996a) Parameter and State Estimation of the Activated Sludge Process. I. Model Development Water Res. (G.B.), 30, 2853.

Kabauris, J. C.; and Georgakakos, A. P. (1996a) Parameter and State Estimation of the Activated Sludge Process. II. Applications Water Res. (G.B.), 30, 2867.

Kabauris, J. C.; and Georgakakos, A. P. (1996b) Parameter and State Estimation of the Activated Sludge Process: On-Line Algorithm Water Res. (G.B.), 30, 3115.

Kong, Z.; Vanrolleghem, P.; Willems, P.; and Verstaete, W. (1996) Simultaneous Determination of Inhibition Kinetics of Carbon Oxidation and Nitrification with a Respirometer. Water Res. (G.B.), 30, 825-836.

N^{O}1 Folyamatok		Komponensek												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		S_I	S_S	X_I	X_S	X_H	X_A	X_P	S_O	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}
1	Heterotrófok aerob szaporodása		$-\frac{1}{Y_H}$			1			$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$		$-i_{XB}$			$-\frac{i_{XB}}{14}$
2	Heterotrófok anoxikus szaporodása		$-\frac{1}{Y_H}$			1				$-\frac{1-Y_H}{2{,}86\,Y_H}$	$-i_{XB}$			$\frac{1-Y_H}{14*2{,}86\,Y_H}-\frac{i_{XB}}{14}$
3	Autotrófok aerob szaporodása						1		$\frac{4{,}57-Y_A}{Y_A}$	$\frac{1}{Y_A}$	$-i_{XB}$ $-\frac{1}{Y_A}$			$-\frac{i_{XB}}{14}-\frac{1}{7\,Y_A}$
4	Heterotrófok pusztulása				$1-f_P$			f_P					i_{XB} $-f_P i_{XP}$	
5	Autotrófok pusztulása				$1-f_P$		-1	f_P					i_{XB} $-f_P i_{XP}$	
6	Oldott szerves nitrogén ammonifikációja										1	-1		$\frac{1}{14}$
7	Hidrolízis (lebegő szerves anyag)		1		-1									
8	Hidrolízis (lebegő szerves nitrogén)											1	-1	
Y_H 0,67 gKOI/gKOI Y_A 0,24 gKOIgN f_P 0,08 - i_{XB} 0,086 gN/gKOI i_{XP} 0,06 gN/gKOI		Oldott bonthatatlan szerves anyag	Oldott szubsztrát	Lebegő bonthatatlan szerves anyag	Nehezen bontható szubsztrát	Aktív heterotróf biomassza	Aktív autotróf biomassza	A biomassza pusztulásából származó lebegő szerves anyag	Oxigén	Nitrát- és nitritnitrogén	NH_4^+ - és NH_3-nitrogén	Oldott bontható szerves nitrogén	Lebegő bontható szerves nitrogén	Lúgosság

N°3 Folyamatok		Komponensek												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		S_I	S_S	X_I	X_S	X_H	X_A	X_{STO}	S_O	S_{NO}	S_{NH}	S_{N2}	X_{TS}	S_{ALK}
1	Hidrolízis	f_{SI}	$1-f_{SI}$		-1						y_1		$-i_{XS}$	z_1
2	Heterotrófok aerob KOI tárolása		-1					Y_{STO}	x_2		y_2		t_2	z_2
3	Heterotrófok anoxikus KOI tárolása		-1					Y_{STO}		x_3	y_3	$-x_3$	t_3	z_3
4	Heterotrófok aerob növekedése					1		$-1/Y_H$	x_4		y_4		t_4	z_4
5	Heterotrófok anoxikus növekedése (denitrifikáció)					1		$-1/Y_H$		x_5	$-i_{NBM}$	$-x_5$	t_5	z_5
6	Heterotrófok aerob endogén légzése			f_I		-1			$-(1-f_I)$		y_6		t_6	z_6
7	Heterotrófok anoxikus endogén légzése			f_I		-1				x_7	y_6 ???	$-x_7$	t_7	z_7
8	Heterotrófok PHA-ok aerob légzése							-1	-1				-0,60	
9	Heterotrófok PHA-ok anoxikus légzése							-1		x_9		$-x_9$	-0,60	z_9
10	Autotrófok nitrifikációja						1		x_{10}	$1/Y_A$	y_{10}		i_{TSBM}	z_{10}
11	Autotrófok aerob endogén légzése			f_I			-1		$-(1-f_I)$		y_{11}		t_{11}	z_{11}
12	Autotrófok anoxikus endogén légzése			f_I			-1			x_{12}	y_{12}	$-x_{12}$	t_{12}	z_{12}
f_{SI} 0 gS_I/gX_S f_I 0,20 - Y_{STO} 0,8 gX_{STO}/gS_S Y_H 0,63 gX_H/X_{STO} Y_A 0,24 gX_A/gS_{NO} i_{NMB} 0,07 gN/gX_H vagy gN/gX_A i_{XS} 0,75 gTS/gX_I i_{TSBM} 0,90 gTS/gX_H vagy gTS/gX_A x,y,t hőmérsékletfüggő változók		Inert oldott szerves anyag	Könnyen felvehető szerves anyag	Inert lebegő szervs anyag	Nehezen felvehető szerves anyag	Heterotróf biomassza	Autotróf (nitrifikáló) biomassza	Heterotróf biomasszában tárolt termék	Oldott oxigén	Nitrát- és nitritnitrogén	Ammónium- és ammónianitrogén	Molekuláris nitrogén	Összes lebegő anyag	Lúgosság

N^{O}1 Folyamatok		Komponensek												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		S_I	S_S	X_I	X_S	X_H	X_A	X_P	S_O	S_{NO}	S_{NH}	S_{ND}	X_{ND}	S_{ALK}
1	Heterotrófok aerob szaporodása		-1,49			1			-0,49		-0,086			0,006
2	Heterotrófok anoxikus szaporodása		-1,49			1				-0,17	-0,086			0,90
3	Autotrófok aerob szaporodása						1		18,04	4,17	-4,25			-0,04
4	Heterotrófok pusztulása				0,92			0,08					0,08	
5	Autotrófok pusztulása				0,92		-1	0,08					0,08	
6	Oldott szerves nitrogén ammonifikációja										1	-1		0,07
7	Hidrolízis (lebegő szerves anyag)		1		-1									
8	Hidrolízis (lebegő szerves nitrogén)											1	-1	
		Oldott bonthatatlan szerves anyag	Oldott szubsztrát	Lebegő bonthatatlan szerves anyag	Nehezen bontható szubsztrát	Aktív heterotróf biomassza	Aktív autotróf biomassza	A biomassza pusztulásából származó lebegő szerves anyag	Oxigén	Nitrát- és nitritnitrogén	NH_4^+ - és NH_3-nitrogén	Oldott bontható szerves nitrogén	Lebegő bontható szerves nitrogén	Lúgosság

N^O3 Folyamatok		Komponensek												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		S_I	S_S	X_I	X_S	X_H	X_A	X_{STO}	S_O	S_{NO}	S_{NH}	S_{N2}	X_{TS}	S_{ALK}
1	Hidrolízis	0	1		-1						0,01		-0,75	0,001
2	Heterotrófok aerob KOI tárolása		-1					0,80	-0,20		0,03		0,48	0,002
3	Heterotrófok anoxikus KOI tárolása		-1					0,80		-0,07	0,03	0,07	0,48	0,007
4	Heterotrófok aerob növekedése					1		-1,60	-0,60		-0,07		-0,06	-0,005
5	Heterotrófok anoxikus növekedése (denitrifikáció)					1		-1,60		-0,21	-0,07	0,21	-0,06	0,010
6	Heterotrófok aerob endogén légzése			0,2		-1			-0,80		0,066		-0,75	0,005
7	Heterotrófok anoxikus endogén légzése			0,2		-1				-0,28	0,066	0,28	-0,75	0,025
8	Heterotrófok PHA-ok aerob légzése							-1	-1				-0,60	
9	Heterotrófok PHA-ok anoxikus légzése							-1		-0,35		0,35	-0,60	0,025
10	Autotrófok nitrifikációja						1		-18,04	4,17	-4,24		0,90	-0,600
11	Autotrófok aerob endogén légzése			0,2			-1		-0,80		0,066		-0,75	0,005
12	Autotrófok anoxikus endogén légzése			0,2			-1			-0,28	0,066	0,28	-0,75	0,025
		Inert oldott szerves anyag	Könnyen felvehető szerves anyag	Inert lebegő szervs anyag	Nehezen felvehető szerves anyag	Heterotróf biomassza	Autotróf (nitrifikáló) biomassza	Heterotróf biomasszában tárolt termék	Oldott oxigén	Nitrát- és nitritnitrogén	Ammónium- és ammónianitrogén	Molekuláris nitrogén	Összes lebegő anyag	Lúgosság

N°2d Folyamatok		Oldott komponensek								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		S_A	S_{ALK}	S_F	S_I	S_{N2}	S_{NH4}	S_{NO3}	S_{O2}	S_{PO4}
1	Aerob hidrolízis		$\nu_{1,ALK}$	$1-f_{SI}$	f_{SI}		$\nu_{1,NH4}$			$\nu_{1,PO4}$
2	Anoxikus hidrolízis		$\nu_{2,ALK}$	$1-f_{SI}$	f_{SI}		$\nu_{2,NH4}$			$\nu_{2,PO4}$
3	Anaerob hidrolízis		$\nu_{3,ALK}$	$1-f_{SI}$	f_{SI}		$\nu_{3,NH4}$			$\nu_{3,PO4}$
4	Aerob növekedés a fermentálható tápanyagon			$-1/Y_H$					$1-(1/Y_H)$	
5	Aerob növekedés acetáton	$-1/Y_H$							$1-(1/Y_H)$	
6	Anoxikus növekedés a fermentálható tápanyagon			$-1/Y_H$		$(1-Y_H)/(2,86*Y_H)$		$-(1-Y_H)/(2,86*Y_H)$		
7	Anoxikus növekedés acetáton (denitrifikáció)	$-1/Y_H$				$(1-Y_H)/(2,86*Y_H)$		$-(1-Y_H)/(2,86*Y_H)$		
8	Fermentáció	1		-1						
9	Heterotrófok lízise									
10	PHA tárolás	-1								Y_{PO4}
11	Aerob PP tárolás								$-Y_{PHA}$	-1
12	Anoxikus PP tárolás					$-\nu_{12,NO3}$		$\nu_{12,NO3}$		-1
13	PAO-k aerob növekedése								$\nu_{13,O2}$	$-i_{PBM}$
14	PAO-k anoxikus növekedése					$-\nu_{14,NO3}$		$\nu_{14,NO3}$		$-i_{PBM}$
15	PAO-k lízise									$\nu_{15,PO4}$
16	PP lízis									1
17	PHA lízis	1								
18	Autotrófok aerob növekedése						$\nu_{18,NH4}$	$1/Y_A$	$-(4,56-Y_A)/Y_A$	$-i_{PBM}$
19	Autotrófok lízise						$\nu_{19,NH4}$			$\nu_{19,PO4}$
20			$\nu_{20,ALK}$							-1
21			$\nu_{21,ALK}$							1
Y_H 0,625 gKOI/gKOI Y_A 0,24 gKOI/gN Y_{PO4} 0,40 gP/gKOI Y_{PHA} 0,20 gKOI/gP f_{SI} 0 gKOI/gKOI i_{PBM} 0,02 gP/gKOI		Fermentációs termék (acetát)	Lúgosság	Könnyen felvehető szerves anyag	Inert oldott szerves anyag	Molekuláris nitrogén	Ammónium- és ammónianitrogén	Nitrát- és nitritnitrogén	Oldott oxigén	Szervetlen oldott foszfor

N^{O}2d Folyamatok		Lebegő komponensek									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		X_{AUT}	X_H	X_I	X_{MeOH}	X_{MeP}	X_{PAO}	X_{PHA}	X_{PP}	X_S	X_{TSS}
1	Aerob hidrolízis									-1	$\nu_{1,TSS}$
2	Anoxikus hidrolízis									-1	$\nu_{2,TSS}$
3	Anaerob hidrolízis									-1	$\nu_{3,TSS}$
4	Aerob növekedés a fermentálható tápanyagon		1								
5	Aerob növekedés acetáton		1								
6	Anoxikus növekedés a fermentálható tápanyagon		1								
7	Anoxikus növekedés acetáton (denitrifikáció)		1								
8	Fermentáció										
9	Heterotrófok lízise		-1	f_{XI}						$1-f_{XI}$	
10	PHA tárolás								$-Y_{PO4}$		
11	Aerob PP tárolás							$-Y_{PHA}$	1		
12	Anoxikus PP tárolás							$-Y_{PHA}$	1		
13	PAO-k aerob növekedése						1	$-1/Y_H$			
14	PAO-k anoxikus növekedése						1	$-1/Y_H$			
15	PAO-k lízise			f_{XI}			-1			$1-f_{XI}$	
16	PP lízis								-1		
17	PHA lízis							-1			
18	Autotrófok aerob növekedése	1									
19	Autotrófok lízise	-1		f_{XI}						$1-f_{XI}$	
20					-3,45	4,87					1,42
21					3,45	-4,87					-1,42
f_{XI} 0,10 gKOI/gKOI Y_{PHA} 0,2 gKOI/gP Y_H 0,625 gKOI/gKOI		Nitrifikáló organizmusok	Heterotróf organizmusok	Lebegő inert szerves anyag	Fémhidroxidok	Fémfoszfát	Foszfor akuumláló organizmusok	Poly-hidroxi-alkanoát	Poly-foszfát	Nehezen bontható anyag	Összes lebegő anyag

N°2d Folyamatok		Oldott komponensek								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		S_A	S_{ALK}	S_F	S_I	S_{N2}	S_{NH4}	S_{NO3}	S_{O2}	S_{PO4}
1	Aerob hidrolízis		0,01	1			0,01			
2	Anoxikus hidrolízis		0,01	1			0,01			
3	Anaerob hidrolízis		0,01	1			0,01			
4	Aerob növekedés a fermentálható tápanyagon		-0,01	-1,59			-0,022		-0,59	-0,004
5	Aerob növekedés acetáton	-1,59	0,021				-0,070		-0,59	-0,02
6	Anoxikus növekedés a fermentálható tápanyagon		0,014	-1,59		0,21	-0,022	-0,21		-0,004
7	Anoxikus növekedés acetáton (denitrifikáció)	-1,59	0,036			0,21	-0,070	-0,21		-0,02
8	Fermentáció	1	-0,014	-1			0,030			0,01
9	Heterotrófok lízise		0,002				0,031			0,01
10	PHA tárolás	-1	-0,017							0,40
11	Aerob PP tárolás		0,081						-0,20	-1
12	Anoxikus PP tárolás		0,086			0,07		-0,07		-1
13	PAO-k aerob növekedése		-0,004				-0,070		-0,59	-0,02
14	PAO-k anoxikus növekedése		0,011			0,21	-0,070	-0,21		-0,02
15	PAO-k lízise		0,002				0,031			0,01
16	PP lízis		-0,081							1
17	PHA lízis	1	-0,016							
18	Autotrófok aerob növekedése		-0,06				-4,24	4,17	-18	-0,02
19	Autotrófok lízise		0,002				0,031			0,01
20			0,048							-1
21			-0,048							1
		Fermentációs termék (acetát)	Lúgosság	Könnyen felvehető szerves anyag	Inert oldott szerves anyag	Molekuláris nitrogén	Ammónium- és ammónianitrogén	Nitrát- és nitritnitrogén	Oldott oxigén	Szervetlen oldott foszfor

N^{O}2d Folyamatok		Lebegő komponensek									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		X_{AUT}	X_H	X_I	X_{MeOH}	X_{MeP}	X_{PAO}	X_{PHA}	X_{PP}	X_S	X_{TSS}
1	Aerob hidrolízis									-1	-0,75
2	Anoxikus hidrolízis									-1	-0,75
3	Anaerob hidrolízis									-1	-0,75
4	Aerob növekedés a fermentálható tápanyagon		1								0,90
5	Aerob növekedés acetáton		1								0,90
6	Anoxikus növekedés a fermentálható tápanyagon		1								0,90
7	Anoxikus növekedés acetáton (denitrifikáció)		1								0,90
8	Fermentáció										
9	Heterotrófok lízise		-1	0,1						0,9	-0,15
10	PHA tárolás							1	-0,40		-0,69
11	Aerob PP tárolás							-0,20	1		3,11
12	Anoxikus PP tárolás							-0,20	1		3,11
13	PAO-k aerob növekedése						1	-1,59			-0,06
14	PAO-k anoxikus növekedése						1	-1,59			-0,06
15	PAO-k lízise			0,1			-1			0,9	-0,15
16	PP lízis								-1		-3,23
17	PHA lízis							-1			-0,59
18	Autotrófok aerob növekedése	1									0,90
19	Autotrófok lízise	-1		0,1						0,9	-0,15
20					-3,45	4,87					1,42
21					3,45	-4,87					-1,42
		Nitrifikáló organizmusok	Heterotróf organizmusok	Lebegő inert szerves anyag	Fémhidroxidok	Fémfoszfát	Foszfor akuumláló organizmusok	Poly-hidroxi-alkanoát	Poly-foszfát	Nehezen bontható anyag	Összes lebegő anyag

N° 2. Folyamatok		Komponensek																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		S_F	S_{NH4}	S_{PO4}	S_I	S_{ALK}	S_{O2}	S_A	S_{NO3}	S_{N2}	X_{AUT}	X_H	X_{PAO}	X_{PP}	X_{PHA}	X_I	X_S	X_{TSS}
1	Aerob hidrolízis	$1-f_{SI}$	$\nu_{1,NH4}$	$\nu_{1,PO4}$	f_{SI}	$\nu_{1,ALK}$											-1	$\nu_{1,TSS}$
2	Anoxikus hidrolízis	$1-f_{SI}$	$\nu_{2,NH4}$	$\nu_{2,PO4}$	f_{SI}	$\nu_{2,ALK}$											-1	$\nu_{2,TSS}$
3	Anaerob hidrolízis	$1-f_{SI}$	$\nu_{3,NH4}$	$\nu_{3,PO4}$	f_{SI}	$\nu_{3,ALK}$											-1	$\nu_{3,TSS}$
4	Aerobok szaporodása S_F-en	$-1/Y_H$					$1-1/Y_H$					1						
5	Aerobok szaporodása S_A-en						$1-1/Y_H$	$-1/Y_H$				1						
6	Anoxikusok szaporodása S_F-en	$-1/Y_H$							$-(1-Y_H)/2.86Y_H)$	$(1-Y_H)/2.86Y_H)$		1						
7	Anoxikusok szaporodása S_A-en							$-1/Y_H$	$-(1-Y_H)/2.86Y_H)$	$(1-Y_H)/2.86Y_H)$		1						
8	Fermentáció	-1						1										
9	Heterotrófok bomlása											-1				f_{XI}	$1-f_{XI}$	
10	X_{PHA} tárolása			Y_{PO4}				-1						$-Y_{PO4}$	1			
11	X_{PP} tárolása			-1			$-Y_{PHA}$							1	$-Y_{PHA}$			
12	Aerob növekedés az X_{PAO}-n			$-i_{PBM}$			$1-1/Y_H$						1		$-1/Y_H$			
13	X_{PAO}-k bomlása			$\nu_{13,PO4}$									-1			f_{XI}	$1-f_{XI}$	
14	X_{PP} bomlása			1										-1				
15	X_{PHA} bomlása							1							-1			
16	Autotrófok szaporodása		$-i_{NBM}-(1/Y_A)$	$-i_{PBM}$			$-(4.57-Y_A)/Y_A$		$1/Y_A$		1							
17	Autotrófok bomlása		$\nu_{17,NH4}$	$\nu_{17,PO4}$							-1					f_{XI}	$1-f_{XI}$	
Y_H 0,63 gKOI/gKOI Y_A 0,24 gKOI/gN Y_{PHA} 0,20 gKOI/gP Y_{PO4} 0,40 gP/gKOI i_{PBM} 0,02 gP/gKOI f_{SI} 0,00 gKOI/gKOI		Fermentálható anyag	Ammónia- és ammónium-nitrogén	Ortofoszfát	Inert oldott anyag	Lúgosság	Oldott oxigén	Acetát	Nitrát- és nitritnitrogén	Molekulris nitrogén	Autotróf organizmusok	Heterotróf organizmusok	Foszfor akkumláló mikroogranizmusok	Poly-foszfát	Poly-hidroxi-alkanoát	Inert lebegő anyag	Nehezen bontható szerves anyag	Összes lebegő anyag

N° 2. Folyamatok		Komponensek																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		S_F	S_{NH4}	S_{PO4}	S_I	S_{ALK}	S_{O2}	S_A	S_{NO3}	S_{N2}	X_{AUT}	X_H	X_{PAO}	X_{PP}	X_{PHA}	X_I	X_S	X_{TSS}
1	Aerob hidrolízis	1	0,01			0,001											-1	-0,75
2	Anoxikus hidrolízis	1	0,01			0,001											-1	-0,75
3	Anaerob hidrolízis	1	0,01			0,001											-1	-0,75
4	Aerobok szaporodása S_F-en	-1,6	-0,022	-0,004		-0,001	-0,6					1						0,90
5	Aerobok szaporodása S_A-en		-0,070	-0,02		0,021	-0,6	-1,6				1						0,90
6	Anoxikusok szaporodása S_F-en	-1,6	-0,022	-0,004		0,014			-0,21	0,21		1						0,90
7	Anoxikusok szaporodása S_A-en		-0,070	-0,02		0,036		-1,6	-0,21	0,21		1						0,90
8	Fermentáció	-1	0,03	0,01		-0,014		1										
9	Heterotrófok bomlása		0,031	0,01		0,002						-1				0,1	0,90	-0,15
10	X_{PHA} tárolása			0,4		-0,004		-1						-0,40	1			-0,69
11	X_{PP} tárolása			-1		0,048	-0,2							1	-0,2			3,11
12	Aerob növekedés az X_{PAO}-n		-0,07	-0,02		-0,004	-0,6						1	-1	-1,6			-0,06
13	X_{PAO}-k bomlása		0,031	0,01		0,002							-1			0,1	0,90	-0,15
14	X_{PP} bomlása			1		-0,048												-3,23
15	X_{PHA} bomlása					-0,016		1							-1			-0,6
16	Autotrófok szaporodása		-4,24	-0,02		-0,6	-18		4,17		1							0,9
17	Autotrófok bomlása		0,031	0,01		0,002					-1					0,1	0,90	-0,15
		Fermentálható anyag	Ammónia- és ammónium-nitrogén	Ortofoszfát	Inert oldott anyag	Lúgosság	Oldott oxigén	Acetát	Nitrát- és nitritnitrogén	Molekulris nitrogén	Autotróf organizmusok	Heterotróf organizmusok	Foszfor akkumláló mikroogranizmusok	Poly-foszfát	Poly-hidroxi-alkanoát	Inert lebegő anyag	Nehezen bontható szerves anyag	Összes lebegő anyag