

TARTALOM

MaSzeSz – HÍRHOZÓ	2
Krebs, P.et al : Utóülepítő-medence numerikus modelljei	3
Bongards, M.: Kommunális szennyvíztisztítótelepek energiafogyasztása a biológiai lépcső oxigéntartalmának függvényében	15
Diana Mourato,D.,et al : Szakaszos üzemű SBR reaktor átalakítása ZENOGEM® membrán bioreakorrá	21
Korrespondenz Abwasser rövid kivonatok magyar nyelvű fordítása 2000/05	25
Korrespondenz Abwasser rövid kivonatok magyar nyelvű fordítása 2000/07	28
Kayser, R.: Új német útmutató az egylépcsős eleveniszapos rendszerek tervezéséhez (ATV A-131)	31
Coté,P., Buisson, H., Pound, Ch., Arakaki, G.: Kommunális szennyvíz újrahasznosítása bemeztett membrános, eleveniszapos eljárással	36



H Í R H O Z Ó

KEDVES KOLLÉGA!

Az előző szám HÍRHOZÓJÁT jó nyári pihenést kívánva zártam. Mikor kézhez kapják jelen számunkat a nyári pihenés már az emlékek kategóriájába megy át.

Egy gondolattal mégis vissza kell térnünk az előző számhoz. Taggyűlésünk a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően alulról szerveződő **bizottsági hálózat kiépítése** mellett döntött és ezek megszervezéséről a tájékoztatást külön lapon kívántuk csatolni a HÍRCSATORNÁ-hoz.

Nos a „nyomda ördöge” közbe szólt, a külön lap a HÍRCSATORNA 6-7 számából kimaradt. A hibáért szíves elnézésüket kérjük, a FELHÍVÁST jelen számunkhoz csatoljuk.

Értesítjük a Tisztelt Kollégákat, hogy az EWA - Európai Vízügyi Szövetséggel közösen megrendezett, „**Tisztább vizekkel az Unióba**” című konferencia kiadványa szeptemberben jelenik meg.


Még két, az ATV-DVWK-val közösen megrendezett konferencián – a „Kis és közepes méretű települések szennyvízgyógykezelése” és a „Közép-nagy szennyvíztisztító telepek továbbfejlesztésének problémái” című - elhangzott előadásokat szeretnénk kiadvány formájában megjeleníteni. A kiadványokban – a költségkímélés érdekében – hirdetések szeretnénk megjeleníteni. **Tisztelettel kérjük jogi tagjainkat, hogy hirdetésekkel, melyek szervezését a KON-next Kiadó végzi, támogassák a fenti kiadványok megjelenítését.**

Köszönjük tagjainknak akik a **2000. évi tagsági díjat** kiegyenlítették, kérjük azokat akik ezt még nem tették meg, hogy a taggyűlés határozata értelmében, az alábbiak szerint - a kiküldött postai utalványon, ill. számlán felüntetett tagdíjat - átutalni szíveskedjenek/tek:

Természetes személy – aktív		2 000 Ft	
Természetes személy – nyugdíjas, hallgató		1 000 Ft	
Jogi személy – Gazdasági szervezet, dolg.létszám	> 100 fő	160 000 Ft	
	dolg.létszám	20 – 100 fő	80 000 Ft
	dolg.létszám	< 20 fő	40 000 Ft
– Intézmény		20 000 Ft	
– Felsőoktatási intézmény		10 000 Ft	

Közreműködésüket megköszönve

Budapest, 2000. augusztus 23.


 Dr. Dulovics Dezső, Ph.D.
 elnökségi tag



Ez a kiadvány újrahasznosítható papírral készült
 A Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség kiadványa.
 (BME - Vízi-Közmű és Környezetmérnöki Tanszék)
 1111 BUDAPEST, Műgyetem rkp. 3.

Megjelenik minden páros hónap utolsó hetében.

A fordításokat Dr. Bartha István, Simonkay Piroska és Soproni Gyuláné okl. mérnökök készítették

Kiadó és terjesztő: DPH Kft.

Szerkesztő: Dr. Dulovics Dezső

Tördelés: Aranykezek Bt.

Nyomás: Ofset Bt.

UTÓÜLEPÍTŐ-MEDENCE NUMERIKUS MODELLJEI

Peter Krebs (Drezda), Martin Armbruster és Wolfgang Rodi (Karlsruhe)

Összefoglalás

Az utóülepítő medencékben végbemenő folyamatokat koncepcionális, egydimenziós vagy két- és háromdimenziós kiindulási feltételű áramlások leírásához szükséges egyenletek bevonásával lehet modellezni. A numerikus modellek a ráfordítás, kapacitás és alkalmazási területek tekintetében jelentősen különböznek. Koncepcionális modelleket és rétegmodelleket eleveniszap-modellekkel kell kapcsolni, hogy az iszaplerakódást az eleveniszapos és az utóülepítő medence között dinamikus terhelésnél is le lehessen írni. Ezzel szemben az áramlási- és turbulenciamodellezés a medencén belüli folyamatok vizsgálatára szolgál és az áramlási- valamint ülepedési viselkedés közötti kapcsolat megértését támogatja és előrejelzési módszerül szolgál a bevezetési, kivezetési és recirkuláció-elvételi tartományok kialakításához. A tanulmány az utóülepítőmedence-modellezés területén a fejlesztés és kutatás aktuális helyzetét mutatja be.

Kulcsszavak: szennyvíztisztítás, utóülepítő medence, iszap, eleveniszap, viselkedés, áramlás, modell, szimuláció

1. Bevezetés

1.1 A modellezés célja

Az utóülepítő medence feladatai

- az iszap elválasztása a tisztított szennyvíztől,
- a leülepedett iszap besűrítése,
- azon eleveniszap tárolása, amely a megnövekedett kevertvízterhelés következményeként az eleveniszapos medencéből az utóülepítő medencébe kerül.

Az utóülepítő medencében zajló folyamatok - áramlás, pelyhesedés, ülepedés, biológiai folyamatok és iszapeltávolítás - komplex kölcsönhatásban vannak. Az utótisztító medencében az áramlási képre a tömörödési hatás nyomja rá bélyegét. A befolyó keverék nagyobb sűrűségű mint a környező folyadék és közvetlenül a befolyás után lemerül. A fenéken vagy a határtartományban az iszaptér és az iszapvíz között sűrűségi áramlás alakul ki, amelynek sebessége az átlagsebesség tízszerese is lehet (Anderson, 1945., Larsen, 1977., Bretscher és munkatársai, 1984., Krebs, 1989., Deininger et al., 1998). Mivel a befolyás tartományában a környező folyadék bekeveredik a sűrűségi áramlásba, ennek térfogatárama nagyobb, mint a medence átáramlásé és a felső medencetartományban visszaáramlást vált ki. Ez az áramlási kép befolyásolja az utóülepítő medence teljesítményét:

- A befolyástól a kifolyásig rövidrezárt áramlások okoznak hátrányos tartózkodásiidő-megoszlást és az érintett iszappelyheknek leülepedéshez csak kevés időt marad.
- Az éppen leülepedett iszappelyhek az iszaptérből ismét szuszpendált állapotba kerülhetnek és a medencéből kihordásra kerülnek.
- A sűrűségi áramlás határretegében nyírógradiensek és turbulencia intenzitáshatások eredményeződnek, amelyek kiterjedésük szerint a koagulációt elősegítik vagy a jó ülepedési tulajdonságú nagyobb pelyheket újból felaprítják.

Építési jellemzők, mint medencegeometria, befolyás- és kifolyás kialakítás, iszapelvezetés és üzemi jellemzők, mint befolyási koncentráció, iszapindex, recirkulációs viszony határozzák meg az utóülepítő medence teljesítményét. A méretezéssel a medencefelületeket és a vízmélységeket úgy kell megállapítani, hogy az utóülepítő medence a működési előírásoknak eleget tudjon tenni. A modellezés célja a funkciók és folyamatok leképezésével az üzem, a medencegeometria és az egyes tartományok kialakításának optimalizálása. Az ATV-DVWK KA 5.2 munkacsoportja „Utóülepítő medencék matematikai modellezése” c. jelentésében áttekintést ad utóülepítőmedence-modellekről és azok felhasználásáról a tervezésben és a méretezésben (ATV-DVWK AG KA 5.2, 2000) ezen jelentés összefoglalása megjelent a KA-ban.

1.2 Modelltipusok

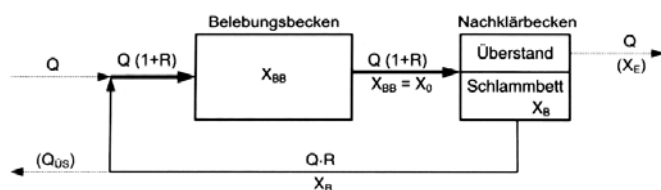
A modell a valóság olyan leképezése, ami meghatározott kérdésre hasonló eredményeket szolgáltat, mint a valóságos rendszer. A fontos folyamatokat leképezik, a nem fontosnak tekintett folyamatokat elhanyagolják. Az utóülepítőmedence-modellezés típusait a különböző célkitűzéseknek megfelelően lehet nyomon követni:

- A koncepcionális és egydimenziós (1D) numerikus modelleket az eleveniszap-modellekkel kapcsolják össze. Az ülepedési és besűrösödési folyamatok valamint a tárolási feladat egyszerűsítetten kerül leképezésre és a függőleges irányra redukálják azt.
- A két- és háromdimenziós modellezéssel (2D, 3D) az áramlási és ülepedési folyamatok leképezése történik. A turbulencia valamint az áramlás és iszap egymást kölcsönösen befolyásoló hatásait veszi tekintetbe és ez nagyságrendekkel nagyobb számítási ráfordításban jelenik meg.

2. Az iszapágy koncepcionális modellezése

Az eleveniszapos medencéből az utóülepítő medencébe történő iszapáthordás megnövekedett terhelésnél mindkét reaktorban változást eredményez. Az eleveniszapos medencében a teljesítőképesség csökken a hiányzó iszap következményeként. Az utóülepítő medencében a megnövekedett iszaptömeg miatt a tisztítottvízréteg kisebb lesz és ezáltal a jó elfolyási minőség elérésének előfeltétele romlik.

A legegyszerűbb modellben az utóülepítő medence két rekeszre, "iszaptérre" és "felette lévő iszapvíz rétegre" van felosztva (1. ábra). A kifolyás helyét elérő térfogatáram a felső rétegen, a recirkulációs térfogatáram az iszaptéren folyik keresztül. Az utóülepítő medence felső rétegét két, sorbakapcsolt keverőtartályként modellezték, amelyekben nem megy végbe reakció. A folyamatot jellemző görbe a két keverőtartály átáramlási jelleggörbének megfelelően mérséklődik. Az iszapteret úgy tekintik, hogy egyedülálló keverőtartály és eleveniszapmodelllel (pl. ASM1, eleveniszap modell 1.sz. Henze et al., 1987., Gujer, 1990.) mint biológiai reaktorral modellezhető, amelyben többnyire denitrifikáció zajlik (Siegrist et al., 1995).



1. ábra. Az eleveniszapos eljárás folyamatsémája. Az utóülepítő medencét két rekeszre, „az iszaptérre” és a felette lévő iszapvízre osztják.

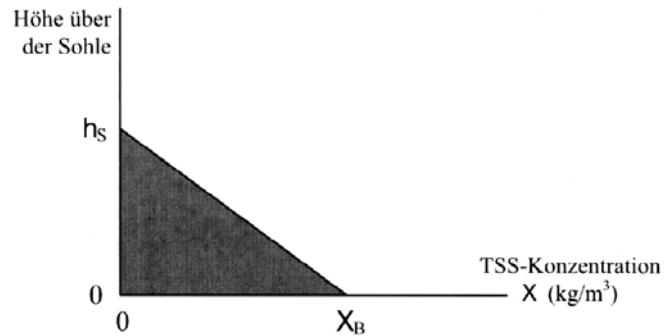
Belebungsbecken: eleveniszapos medence, Nachklärbecken: utóülepítő medence, Überstand: iszapvíz, Schlammbett: iszaptér

Holzer és Krebs (1998) a Bertrand-Krajewski et al., (1996) feltételezését továbbfejlesztették, amelyben az iszaptérmagasság változtathatóan modellezhető. A 2. ábra szerinti lineáris iszapeloszlást vesznek figyelembe. Az iszapszint helyzetét, mint a h_s magasságot definiálják, amelynél a lineáris koncentráció eloszlás értéke eléri a nullát. A koncentráció eloszlás alakulása annyiban alárendelt jelentőségű, amennyiben a modellezés céladata - az iszaptárolás - az iszapeloszlás felvételére nem reagál érzékenyen.

Az X_B fenékkoncentráció az ATV (1991) szerint a t_E besűrítési idő (h-ban) függvénye

$$X_B = \frac{1000 \left[\frac{m^3 \cdot h^{1/3}}{DSVI} \right]_{t_E}^{1/3}}{DSVI} \quad (1)$$

A DSVI (Diluted Sludge Volumen Index) jelöli a hígítási iszapindexet l/kg-ban. A t_E besűrítési időt mint az iszaptérben való tartózkodás idejét értelmezzük:



2. ábra. Iszapeloszlás felvétele a kétrékeszes utóülepítő-medence-modellhez (Bertrand-Krajewski et al., 1996 Holzer és Krebs, 1998).

Höhe über der Sohle: medencefenék feletti magasság, TSS-Konzentration: TSS-koncentráció

$$t_E = \frac{M_{S,NB}}{QRX_R} \quad (2)$$

ahol

$$M_{S,NB} = 0.5 \cdot A_{NB} \cdot h_s \cdot X_B \quad (3)$$

az iszaptömeg, A_{NB} a vízszintes keresztmetszeti felület, R a recirkulációs arány és Q a tisztítóberendezésbe érkező befolyás hozama. A recirkuláció koncentrációja X_R a fenéken lévő X_B iszapkoncentrációhoz képest hígított, az ATV (1991) szerint:

$$X_R = 0.7 X_B \quad (4)$$

Az állandósult állapotra továbbá érvényes, hogy

$$X_B = \frac{1+R}{0.7R} X_{BB} \quad (5)$$

Mivel az X_{BB} iszapkoncentráció az eleveniszapos medencében ismert, öt ismeretlen meghatározásához öt egyenlet áll rendelkezésre.

Stacioner állapotban az iszapmagasság kiinduló feltételként szolgál a dinamikus szimulációhoz, az eleveniszapos és az utóülepítő medencékben, mint kapcsolt rendszer kerül leképezésre és ezáltal X_{BB} ismeretlen lesz. Első közelítésben feltételezik, hogy az utóülepítő medencéből a szilárd-anyagáramok, az utóülepítő medence kifolyásában ($Q X_E$) és a fölös iszapban ($Q_{ÜS} X_R$) kiegyenlítődnek és emiatt elhanyagolhatók. A két egyenlet, amelyek a dinamikai egyenletrendszer megoldásához szükségesek, az iszapágy (6) és az eleveniszapos medence (7) egyensúlyi egyenleteiből adódik,

$$\frac{1}{2} A_{NB} \frac{dh_s X_B}{dt} = Q(1+R) X_{BB} - 0.7 QR X_B \quad (6)$$

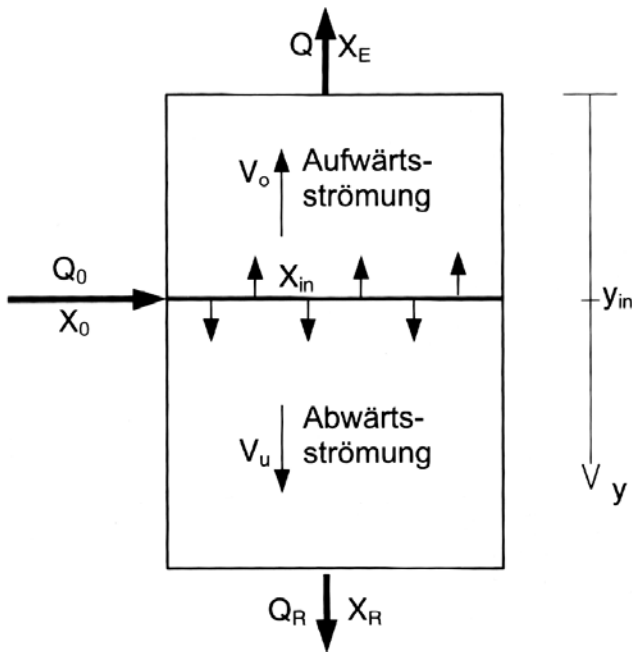
$$V_B \frac{dX_{BB}}{dt} = 0.7QRX_B - Q(1+R)X_{BB} \quad (7)$$

A (6) és (7) egyenletek mutatják, hogy az eleveniszapos medencében az iszapvesztés és az iszapfelhalmozás az utóülepítő medencében mindenkor megfelelnek egymásnak.

3. Egydimenziós modellezés

3.1 A fluxus-elmélet alkalmazása

A fluxus-elmélet függőleges átáramlású reaktorból indul ki (3. ábra). Az 1D-modellnél a térfogat és a felületek, ill. a felületterhelés és az átlagos tartózkodási idő megfelelnek az utóülepítő medence értékeinek.



3. ábra. Folyamatos átáramlású egydimenziós utóülepítőmedence-modell

Aufwärtsströmung: felfelé irányuló áramlás, Abwärtsströmung: lefelé irányuló áramlás

A Q_0 térfogatárammal és X_0 koncentrációval történő befolyás a befolyó rétegben homogén eloszlású és hígítású (X_{bc}). A fluxus egy V_u sebességű lefelé és egy V_0 sebességű felfelé irányuló áramlásra oszlik.

A függőleges anyagszállítás (a teljes tömegáram j_T) vízzel történő szállításra (advektív áramlás $V \cdot X$) és a vízhez viszonyított részecskeülepedésre (szedimentációs áramlás $V_s \cdot X$) vezethető vissza:

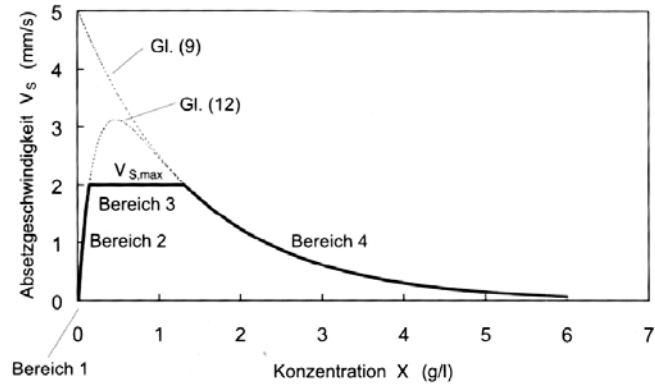
$$j_T = V \cdot X + V_s \cdot X \quad (8)$$

Függőleges falaknál a befolyási keresztmetszet víz-sebességei felül ($V = V_0$) és alul ($V = V_u$) állandóak. A V_s ülepedési sebesség viszont az iszapminőség (DSVI

iszaptérfogat-index) és a helyi X iszapkoncentráció függvénye. A következőkben ezt a függvényt ülepedési függvénynek fogjuk nevezni.

3.2 Ülepedési függvény

Az ülepedési függvény 1 g/l-nél nagyobb koncentrációjú eleveniszapra álló hengerben végrehajtott ülepedési kísérlettel határozható meg. Egy legalább 1,5 m magas és 0,3 m átmérőjű hengerben az ismert koncentrációjú eleveniszapot úgy kell elosztani, hogy homogén legyen. Nyugalmi fázis után iszapszint alakul ki, amely alatt az eredeti koncentrációjú iszap marad. Azután az iszapszint hosszabb idő alatt állandó sebességgel lecsökken, ami csak akkor lassul, amikor a fenéktől induló besűrűsödő réteget eléri. Ez a V_s ülepedési sebesség az X kezdőkoncentráció függvénye. A kísérlet különböző kezdeti koncentrációkkal való többszöri megismétlésével adódik $V_s = f(X)$ ülepedési függvény (4. ábra).



4. ábra. Ülepedési funkciók: Az ülepedési sebesség, mint az iszapkoncentráció függvénye (Wahlberg és Keinath, 1988, (9)–(11) egyenletek Takács et al., 1991, (12) egyenlet)

Absatzgeschwindigkeit: ülepedési sebesség, V_s (mm/s), Konzentration: koncentráció, X (g/l), Bereich: tartomány, Gl. (9): (9) egyenlet, Gl. (11): (12) egyenlet

Ez a függvény Vesilind (1968) szerint a

$$V_s = V_{s0} \cdot e^{-nX} \quad (9)$$

exponenciális feltételezéssel közelíthető (lásd 4. ábra). A V_{s0} maximális elméleti sebesség (az ülepedési függvény ordinátával való metszéspontja) és az n tényező a kitevőben a függvény (9. sz. egyenlet) mérési helyeken való hitelesítéséből adódik. Ennek elkerülésére különbözőképpen megkísérelték a V_{s0} és az n jellemzőket általánosan megadni. Helyettesítésként megemlítjük Wahlberg és Keinath (1988) empirikus feltételezését, amely a V_{s0} és n jellemzőket az SSVI kevert iszaptérfogat-index függvényeként adja meg:

$$V_{s0} = 15.3[m/h] - 0.0615[g \cdot m / (ml \cdot h)] \cdot SSVI \quad (10)$$

$$n = 0.426[l/g] - 0.00384[l/ml] \cdot SSVI + 0.0000543[g/l/ml^2] \cdot SSVI^2 \quad (11)$$

Csekély koncentrációkra a (9)-es egyenlet a nagyobb ülepedési sebességeket jelzi. Ez nyilvánvalóan hamis, mert a csekély koncentrációk tipikusan ott lépnek fel, ahol kicsi, rosszul ülepedhető részecskék vannak jelen. Az ülepedési függvény érvényességének bővítésére, más kiinduló feltevésekben az alacsony koncentrációkra egy másik feltételt választottak. Otterpohl és Freund (1991), Härtel és Pöpel (1992), Dupont és Henze (1992) két részecskeosztályt vezettek be: a makropehelyosztály egy, a (9)-es egyenlethez hasonló ülepedési függvénnyel jellemezhető, a mikropehelyosztályban az ülepedési sebesség nagyon csekély és mértékadó a kifolyási zavarosságra. Takács et al., (1991) az ülepedési függvényt kétszeresen exponenciális feltétellel bővítik, ami kicsi koncentrációkra csekély ülepedési sebességet ad:

$$V_s = V_{s0} \cdot e^{-n_4(x-f_m X_o)} - V_{s0} \cdot e^{-n_2(x-f_m X_o)} \quad (12)$$

ahol f_{ns} a nem ülepedhető részecskék frakciója a befolyásban, X_o a befolyási koncentráció, n_4 és n_2 a kétszeresen exponenciális függvény görbületének leírásához használt együtthatók. Az n_2 szokásos módon egy nagyságrenddel nagyobb mint n_4 . A 2 és 4 jelek arra a tartományra vonatkoznak, amelyek a Takács-függvénynek alapul szolgálnak (lásd 4. ábra):

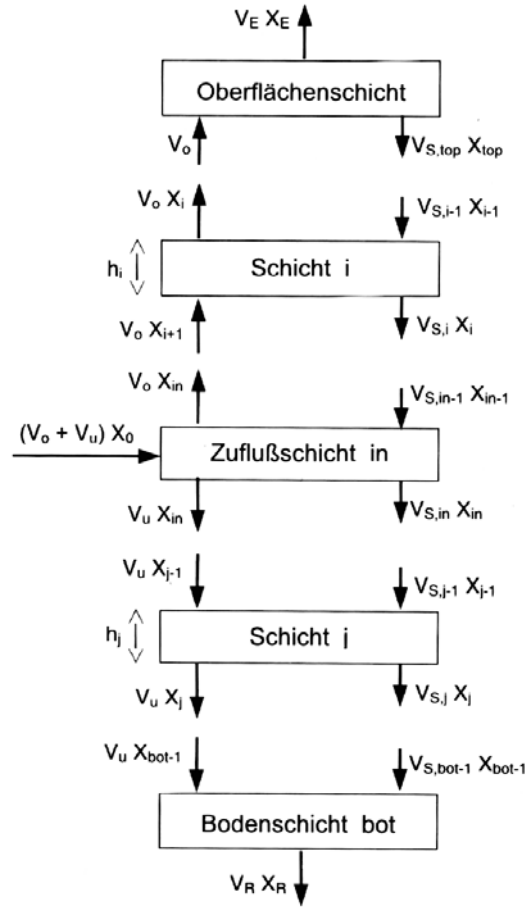
- 1. tartomány: nem ülepedhető részecskék a $0 - f_{ns} X_o$ koncentrációtartományban.
- 2. tartomány: a koncentrációnövekedés révén a pelyhesedés és az ülepedési tulajdonságok javulnak (a (12) egyenlet jobb oldalán lévő 2. kifejezés szerint).
- 3. tartomány: $V_{s,max}$ effektív maximális ülepedési sebesség.
- 4. tartomány a klasszikus ülepedési függvénynek felel meg és a (12) egyenlet jobb oldalán lévő első kifejezés határozza meg.

Mivel a (12)-es egyenlet szerinti ülepedési függvény nemcsak az X koncentrációtól függ, legalább esetről esetre ülepedési kísérletekkel és a valóságos medencére vonatkozó mérési és számítási összehasonlítással hitelesíteni kell.

3.3 Rétegmodell

Az anyagáramlás leírásához a (9) vagy 12) egyenletek által megadott ülepedési függvény behelyettesíthető a (8)-as egyenletbe. A modell számítógépes programban való használatához az "1D-medencét" rétegekre osztják, amelyekre tömegmérlegeket határoznak meg (5. ábra). A be- és kifolyás nélküli rétegekre a befolyásiréteg felett ill. alatt az egyensúly a

$$h_i \frac{dX_i}{dt} = V_o(X_{i+1} - X_i) + V_{s,i-1}X_{i-1} - V_{s,i}X_i \quad (13)$$



5. ábra. Tömegáramok a rétegmodellben. Felülről lefelé: felszín, „réteg i” a felfelé átáramolt területen, befolyás rétege, „réteg j” a lefelé átáramolt területen, fenékréteg.

Oberflächenschicht: felszíni réteg, Schicht i: réteg i, Zuflussschicht in: befolyás rétege, Schicht j: réteg j, Bodenschicht bot: medencefenék rétege

és

$$h_j \frac{dX_j}{dt} = V_u(X_{j-1} - X_j) + V_{s,j-1}X_{j-1} - V_{s,j}X_j \quad (14)$$

egyenletekkel adható meg. A h_i és h_j a rétegmagasságokat jelentik a befolyó réteg felett ill. alatt. A (13) és (14) egyenletekben alkalmazott előjelek az 5. ábrán lévő vázlatot követik. Dinamikus terhelésekre a réteg koncentrációjának időbeli megváltozása egyenlő az összes befolyás mínusz az összes kifolyás értékével. A V_s ülepedési sebesség a (12)-es egyenlettel számítható mint az X koncentráció függvénye azon rétegekben, amelyekből az üledék kiáramlik.

A felszínnél és a fenéknél lévő, valamint a befolyó rétegben a széleken túlmenő áramlásokat is figyelembe kell venni. A $V_s X$ szedimentációs folyamat a számítási terület határain túl nulla csak a $V_E X_E$ advektációs folyamat a felszínen ill. a $V_R X_R$ folyamat a fenéken veszik

figyelembe. A szélső rétegek koncentrációja azonos a kifolyásokban lévő koncentrációval. A valóságos utóülepítő medencében ez csak ideális térbeli rendszerrel és a befolyásból a recirkulációba való rövidzáratok nélkül lenne elérhető.

4. Kétdimenziós áramlási modellezés

4.1 Numerikus modell

Ülepítőmedencék első numerikus, kétdimenziós szimulációjakor tisztavíz-viszonyokat tételeztek fel vagy olyan csekély részecsk koncentrációt vettek fel, amelynél az ülepedési folyamat az áramlást nem befolyásolta (Imam et al., 1983). Ehhez erősen leegyszerűsített turbulencia felvételével (állandó örvényviszkózitás) modelleztek. Később a $k-\varepsilon$ -turbulenciamodelt kiegészítették (Celik és Rodi, 1986), a sűrűség áramlást befolyásoló hatását egyszerűsített turbulenciamodellezésnél vették figyelembe (DeVantier és Larock, 1987), Krebs idealizált térbeli rendszert szimulált (1989), Lyn és munkatársai az ülepedési folyamat szimulálásába egyszerű pelyhesítőmodellt vontak be (1992). Zhou et al., (1994) dinamikus folyamatokat modelleztek, Vitasovic et al., (1997) 3D-szimulációkat hajtottak végre, Lakehal és munkatársai (1999) a reológiának, az iszap ülepedési viselkedésének és a turbulenciának az eredményre való hatására mutattak rá. Egyre több és több numerikus modellt alkalmaztak a konstrukciós elemek javulása céljából is - mint pl. a befolyás és a kifolyás elrendezésének optimalizálása érdekében (Krebs et al., 1996). Ekama et al., (1997) áttekintést adtak a modellekről, fejlesztésekről és korlátokról. Ezeket a modelleket alkalmazzák ma a gyakorlatban (Holthausen, 1998).

A numerikus áramlásmodellezés a következő megmaradási egyenletekre épül (Descartes-féle koordináta-rendszerben megadva).

Kontinuitási egyenlet

$$\frac{\partial_p U}{\partial x} + \frac{\partial_p V}{\partial y} = 0 \quad (15)$$

Impulzusegyenletek, a nehézségi erővel y-irányban

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial(UV)}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} (v_{eff} \frac{\partial U}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_{eff} \frac{\partial U}{\partial y}) \quad (16)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial(UV)}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} (v_{eff} \frac{\partial V}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_{eff} \frac{\partial V}{\partial y}) + g \frac{\Delta \rho}{\rho_w} \quad (17)$$

$$v_{eff} = v + v_t, \quad v_t = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (18)$$

Turbulenciaegyenletek

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial(Uk)}{\partial x} + \frac{\partial Vk}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (v_{eff} \frac{\partial k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_{eff} \frac{\partial k}{\partial y}) + P_r + P_g - \varepsilon \quad (19)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial(U\varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(V\varepsilon)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (v_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y}) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} P_r - c_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (20)$$

$$P_r = v_{eff} \left[2 \left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right] \quad (21)$$

$$P_g = \frac{g}{\rho_w} \cdot \frac{v_{eff}}{\sigma_x} \cdot \frac{\partial(\rho - \rho_w)}{\partial y} \quad (22)$$

Szilárdanyag-szállítási egyenlet

$$\frac{\partial X}{\partial t} + \frac{\partial(UX)}{\partial x} + \frac{\partial(V - V_s)X}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (v_{eff} \frac{\partial X}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (v_{eff} \frac{\partial X}{\partial y}) \quad (23)$$

Az U és V sebességek az x és y koordinátákra vonatkoznak. Az impulzusegyenletek (16 és 17) bal oldala tartalmazza a konvektív szállításra vonatkozó tagokat, a jobb oldala a forrástagot a negatív nyomásgradiensek irányában (a nyomáskülönbségek hozzák létre az áramlást) és a sebességgradiensek következményeként létrejövő diffúzív szállításra vonatkozó tagokat. A v_{eff} arányossági tényező, ami a diffúzív szállítást a sebességgradienssel hozza kapcsolatba, magában foglalja a v molekuláris (kinematikai) viszkózitást és a v_t örvényviszkózitást (18). A v_t örvényviszkózitás tipikusan két nagyságrenddel nagyobb, mint a v molekuláris viszkózitás és nem olyan mint az anyagjellemzők, hanem a helyi turbulenciaállapot függvénye (18). Az itt felhasznált $k-\varepsilon$ -turbulenciamodell magában foglalja a k turbulenciaenergiára (19) és annak ε disszipációs arányára (20) vonatkozó transzportegyenleteket annak érdekében, hogy az áramlási mezőre a v_t változó örvényviszkózitás meghatározható legyen. A (21) egyenlet határozza meg a (19) és (20) egyenletekben alkalmazott P_r értékét, amely a nyírógradiensek által keltett turbulenciát írja le.

A többi transzportjellemzőhöz hasonlóan az anyagszállítás is (23-as egyenlet) mint a konvekció és a turbulens diffúzió szuperpozíciója fejezhető ki. A V_s süllyedési sebesség az y-tengely irányában - tehát a nehézségi erő irányában - közvetlenül a konvekciós tagba integrálható. A süllyedési sebességet mindegyik számításirácpontra a helyi koncentrációk alapján ülepedési függvényrel (pl. 12-es egyenlet) számítják ki.

Az X (g/l) súlykoncentráció értékei a részecske ρ_p száraz-anyagsűrűsége és a víz ρ_w sűrűsége segítségével

$$\Delta \rho = X \frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_p} \quad (24)$$

egyenlettel a $\Delta \rho$ helyi sűrűség-különbségekbe átszámítható.

Másfelől a $\Delta \rho$ sűrűség-különbségek közvetlenül az y-irányú impulzusra és a turbulenciaenergiára hatnak ki. A

(17) egyenlet a (16)-oshoz képest egy felhajtóerőtaggal - ami a helyi sűrűségkülönbségek következménye - van bővítve, a (19) egyenlet egy P_g forrás- vagy süllyesztőtaggal bővített (22), aszerint, hogy a sűrűségi réteg instabil vagy stabil. A $k-\epsilon$ -modell állandóira a Rodi (1993) szerinti standard értékeket alkalmazták: $c_\mu = 0,09$, $c_1 = 1,44$, $c_2 = 1,92$, $\sigma_k = 1,0$, $\sigma_\epsilon = 1,32$, $\sigma_X = 0,7$.

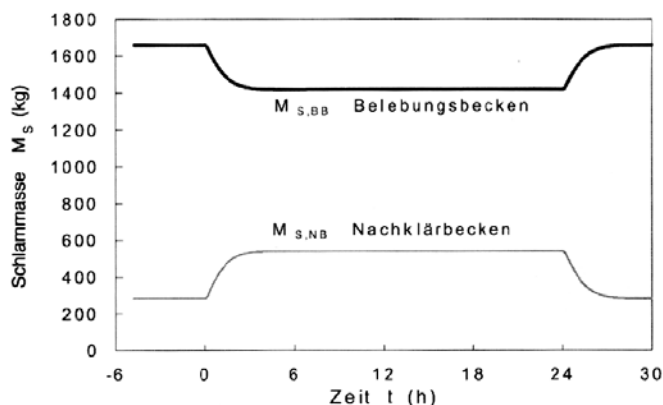
4.2 A megoldás módszere

A megoldáshoz az egyenleteket számítási rácson diszkrétizálják. A tipikus 2D-számítási rácsok egyszerű modelleknél 30·20 cellás felbontásúak, de ráfordításigényes szimulációknál 200·100 cellásak is lehetnek. Befolyásra, kifolyásra, recirkuláció elvételre, szabad felszínre és falra peremfeltételeket kell megfogalmazni. A megoldás módszere a konvergenciához akár több ezer iterációs lépést igényel stacioner megoldáshoz. Konvergenciaproblémák adódnak mindenekelőtt mint a sűrűségi feltételhez kötött forrás- és süllyesztőtagok következménye. A dinamikus szimulációk lényegesen költségesebbek és akár 100 órás számítási időt is igényelnek egy super-computeren (Armbruster et al., 2000). A jelen tanulmányban bemutatott példákat a Karlsruhe-i Egyetem vektor-számítógépén szimulálták. A szimulációkat Rodi et al., (1989) véges-térfogatok modellje alapján utóülepítő medencékre vonatkozó továbbfejlesztésekkel (Krebs et al., 1998., Lakehal et al., 1999., Armbruster et al., 2000) hajtották végre.

5. Alkalmazás

5.1 Iszaplerakódás koncepcionális modellel

A 6. ábra a koncepcionális modell egy ideális esetre történő alkalmazását mutatja, amely eset Excel-táblázatos számítással feldolgozható: $t = 0$ időpontban a tisztítóberendezésen átfolyó Q mennyiség 24 órára megduplázódik, a recirkulációs térfogatáram állandó marad (azaz R

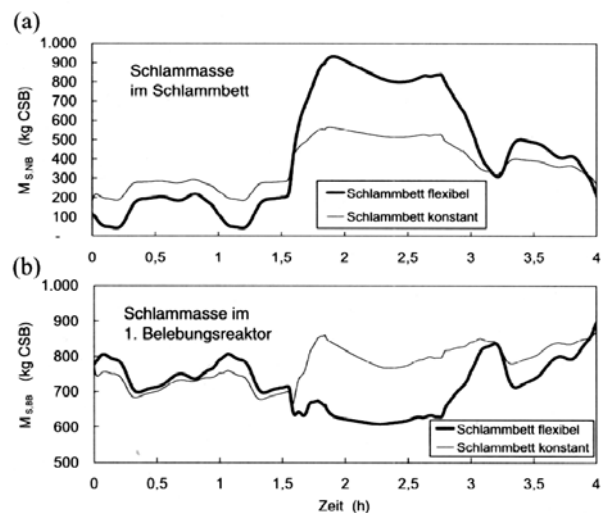


6. ábra. A koncepcionális modell alkalmazása lépcsőzetes csapadék-terhelésre. A $t=0$ időpontban a Q értéke a 24 óra időtartamban megkétszereződik a recirkulációs térfogatáram állandó marad.

Schlammassze: iszap tömeg, M_s (kg), Zeit: idő, t (h), Belebungsbecken: eleveniszapos medence, Nachklärbecken: utóülepítő medence, Feststofffluss: szilárdanyagáram, $Q \cdot X$ (kg/h), aus dem Belebungsbecken: az eleveniszapos medencéből, Rücklauf: recirkuláció

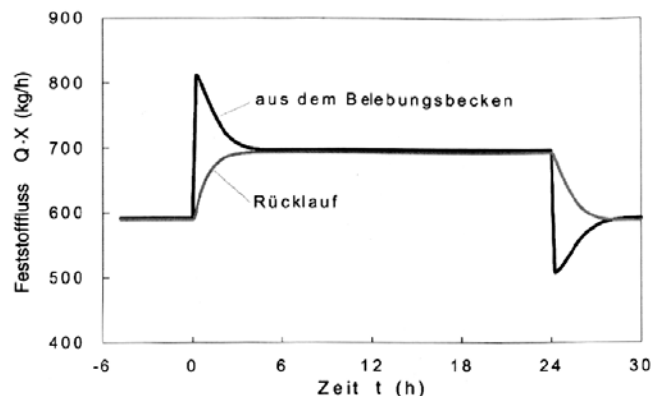
az átfolyás kétszeresére növekedése után feleződik). A megnövekedett Q átfolyó mennyiség következtében az eleveniszapos medencéből az utóülepítő medencébe átfolyó $Q(1+R)X_{BB}$ iszap kezdetben az átáramlással arányosan nő. Az utóülepítő medence alján az X_B iszapkoncentráció és így az X_R , a recirkulációs iszap koncentrációja, csak lassan emelkedik, mert ez csak az iszapterben való megnövekedett tartózkodási idő alatt idéződik elő. Mivel ebben a kezdeti fázisban az iszapterbe való bevétel nagyobb a kivételnél, nő az iszap tömeg az iszapterben, mialatt az eleveniszapos medencében csökken. Így az iszapterbe való bevétel folytonosan csökken, mialatt a kivétel növekszik a t_E hosszabb tartózkodási idő alapján. A rendszer aszimptotikusan küzd az új egyensúlyi állapot ellen.

Csapadék esemény dinamikus szimulációit mutatja a 7. ábra két különböző feltételre: az egyik esetben az iszapteret állandó térfogattal, a másik esetben a má-



7. ábra. Dinamikus iszapháztartás állandó és flexibilis iszapter-térfogattal szimulálva

Schlammassze im Schlammbett: iszap tömeg az iszapterben, Schlammbett flexibel: flexibilis iszapter, Schlammbett konstant: állandó iszapter, Schlammassze im 1. Belebungsreaktor: iszap tömeg az 1.sz. eleveniszapos reaktorban



sodik fejezetben bemutatott modell szerint szimulálták. Az eleveniszapos medencét két sorbakapcsolt reaktorral méretezték.

Állandó iszapter-térfogat feltételezésével korlátozott iszaplerakódást szimulálnak, a koncentrációk az iszapterben és a recirkulációban késleltetés nélkül megemelkednek, ha növelik az eleveniszapos medencéből az iszapbevezetést és gyorsabban törekednek új egyensúlyi állapot elérésére. Ezzel szemben a flexibilis iszapter-térfogattal történő szimuláció lényegesen nagyobb iszaplerakódást jelez elő, ami az utóülepítő medencék méretezésére az ATV-A 131 (2000)-ben megadott feltételek tartományában mozog.

5.2 Iszapmegoszlás a dinamikus rétegmodellben

A 8. ábra dinamikus 1D-számítás példáját mutatja Jeppsson és Diehl (1996) munkájából. A befolyás nulla magasságon történik, a vízmélység 4 m, a vízmélységskála pozitív értékei a fenék és a befolyás között, a negatív értékek a befolyás felett helyezkednek el. A kiindulási állapot (idő 0 h) stacioner számítás eredménye és tipikus iszapmegoszlást mutat: 1 m-nél valamivel alacsonyabb iszapter képződik, az iszapszint és a befolyási réteg között állandó koncentrációjú zóna áll be. A 8. ábrában bemutatott szimulációhoz a dinamikus terhelés a kö-

A Jeppssontól és Diehltől (1996) származó példa egyúttal mutatja az 1D-modellezés lehetőségeit és határait. Az iszapszint és a recirkuláció koncentrációjának változása elfogadhatóan megközelíthető. A befolyás feletti zónában azonban a sokkfront matematikailag feltételezett kiterjedése és az extrém terhelésnövelés miatt nem reális lefolyásokat szimuláltak.

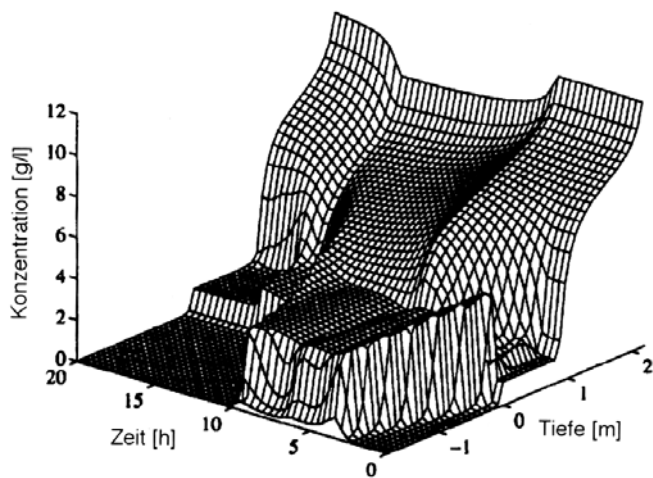
A befolyási réteg feletti túlterheléseket és alapvető folyamatokat döntően olyan áramlási jelenségek befolyásolják, amelyek 1D-modellezéssel nem foghatók meg. Az utóülepítő medence túlterheléséhez nem vezető esetekben azonban az iszapátvezetés az eleveniszapos és az utóülepítő medence között jó közelítéssel előjelezhető.

5.3 A 2D-szimuláció igazolása

Numerikus szimulációk gyakran igazolhatók laborkísérletek alapján, mert ezek peremfeltételei pontosan definiálhatóak és numerikus modellben elképzelhetők. Krebs et al., (1998 b) kísérletüket erre a célra tervezték:

- A háromdimenzós hatások a befolyás tartományában elhanyagolhatók, mert a vízszintes befolyórés a teljes medenceszélességre kiterjedt.
- Üledett részecskék beavatkozás nélkül eltávolíthatók, amennyiben a porózus medencefenék a részecske szempontjából nyelőt, az áramlás szempontjából viszont falat jelent.
- Az ülepítendő szuszpenziót pontosan definiálható üledési viselkedéssel rendelkező üveggolyók segítségével szimuláltak, amelyek nemcsak, hogy nem hátráltatták az üledést, de realisztikus sűrűséghatásokat idéztek elő. A numerikus modellben következképpen a mennyiségeloszlásnak megfelelően több részecskeosztály képződik, amelyekre a (23)-as egyenletet mindenkor egyenként kell megoldani.

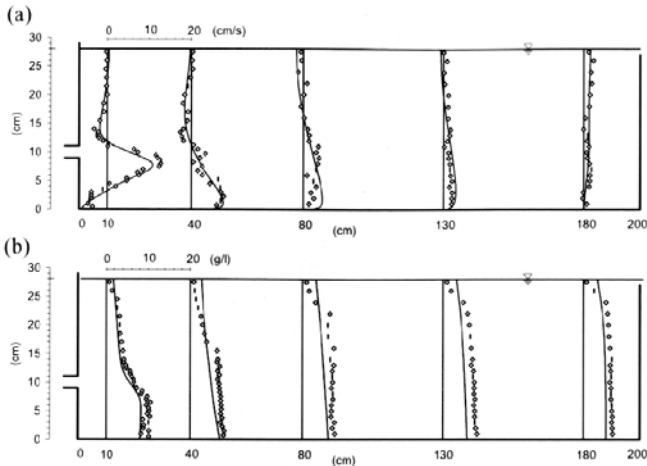
A 9. ábrán a stacioner áramlás (9a) és a koncentráció (9b) mérési (◇) és a szimulációs (-) eredményei hasonlíthatók össze. A sebességmegoszlások jól egyeznek, még az első két eloszlásnál is, amelyek legalább két inflexió pontot és viszonylag nagy gradienseket mutatnak. A szimulált koncentrációk a hátsó medencerészben rendszeresen alacsonyabbak, mint a mért koncentrációk. Ennek egyik oka, hogy a tényleges koncentrációkat a mérőszonda túlértékeli. A fénytranszmissziós szondát a befolyásban lévő részecskeeloszlással hitelesítették. A befolyástól távolodva a részecskeeloszlás olyan, hogy a finom részecskék részaránya növekvően nagyobb, amelyeknek a szórási jelleggörbéje más, mint a nagy részecskéé, ami a súlykoncentráció túlbecsüléséhez vezet. Krebs et al., (1998 a) munkájában további, különböző terhelési állapotokhoz tartozó igazolási példák találhatók.



8. ábra. Iszapeloszlás dinamikus 1D-szimulációban (Jeppsson és Diehl, 1996)

Konzentration: koncentráció, (g/l), Zeit: idő, (h), Tiefe: mélység, (m)

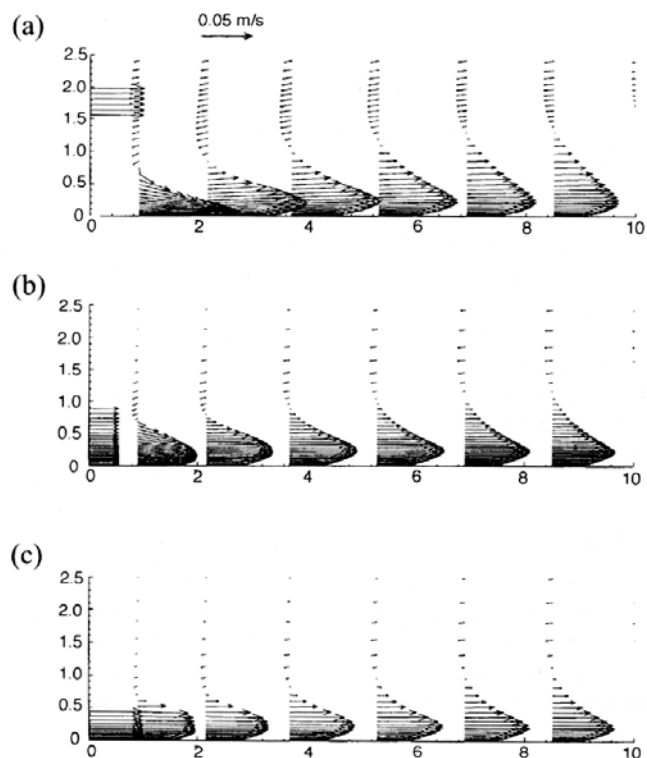
vetkező volt: 1 órától 10 óráig a felületi terhelést megháromszorozták, 6 órától 16 óráig a recirkulációt megkettőzték. A terhelésnövelés kezdetével koncentrációfront mozog a felszín irányába, mialatt az alsó medencerészben lévő iszapter jelentősen lassabban emelkedik. Az iszapmegoszlás elvi alakulásában semmi sem változik a megkétszerezett recirkulációval, csupán a koncentrációk csökkennek kissé az iszapterben. Az átfolyás kiindulási szintre való csökkentése után, a befolyás feletti tartományban a koncentráció ismét gyorsan csökken, míg az eloszlás az iszapterben csak a recirkuláció csökkentése után közelíti meg az eredeti állapotot.



9. ábra. A numerikus modell igazolása (-) mérések segítségével (\circ) téglalap alakú laboratóriumi medencében: a) vízszintes sebességek, b) részecskekoncentráció (Krebs et al., 1998 a).

5.4 A Bevezetés

A 10. ábra számításokat mutat a bevezetés elrendezés helyi áramlási mezőre való kihatásairól (Krebs et al., 1998 a). A 10. ábrán a bevezetés 1,5 m-rel a fenék felett



10. ábra. Számított sebességvektorok a bevezetési tartományban a medencefenék felett 1,5 m-re lévő bevezetés (a) valamint a fenéknél lévő 0,9 m (b) és 0,5 m (c) nyílásmagasságú bevezetésre (Krebs et al., 1998 a).

helyezkedik el, a két, medence alján lévő bevezetés 0,9 m és 0,5 m nyílásmagasságú (10 b, ill. 10 c ábra). A ter-

helések és a medencegeometria azonosak, nincs megnövelt iszaptér. A bemutatott profilok között mindenkor több olyan rácsponthoz van, amelyeknek sebességvektorai azonban az áttekinthetőség kedvéért nincsenek megmutatva.

A magasan fekvő bevezetőnyílás a sűrűségkülönbség következményeként a befolyó keverék és a környező folyadék között merülő-áramlást okoz a függőleges fal mentén. Ennél a helyzeti energia mozgási energiává alakul át és az irányváltás után keletkező fenékáramlás jelentősen felgyorsul a fenéken lévő bevezetésekhez képest. Kisebb a 0,9 m feletti bevezetési magasság (10.b ábra) jelentéktelenül nagyobb sebességeket és fenékáramlásokat vált ki, mint a fenéknél lévő alacsony bevezetés (10.c ábra). Az előremenő áramlás az első métereken kontrahál, majd felgyorsul és csak ezután nyúlik újból el. Ezen a rövid gyorsulási szakaszon a 0,9 m-es nyílásmagasságnál akár 40%-kal több környezeti folyadék keveredik be a fenékáramlásba, mint a 0,5 m-es nyílásmagasságnál.

A fenéknél lévő 0,5 m magasságú bevezetés a fenékáramlás nagyságának egyenletes kiterjedését indukálja kezdettől fogva (10.c ábra). Jóllehet ezáltal a keverő hatás nem kerülhető el, de jelentősen csökken. A 0,5 m-es magasság Krebs (1989) optimumfeltételéből adódik, amely az F' sűrűségsszimmetrikus Froude-számnak a bevezetésben való előírásával a teljes bevezetési energiát minimalizálja.

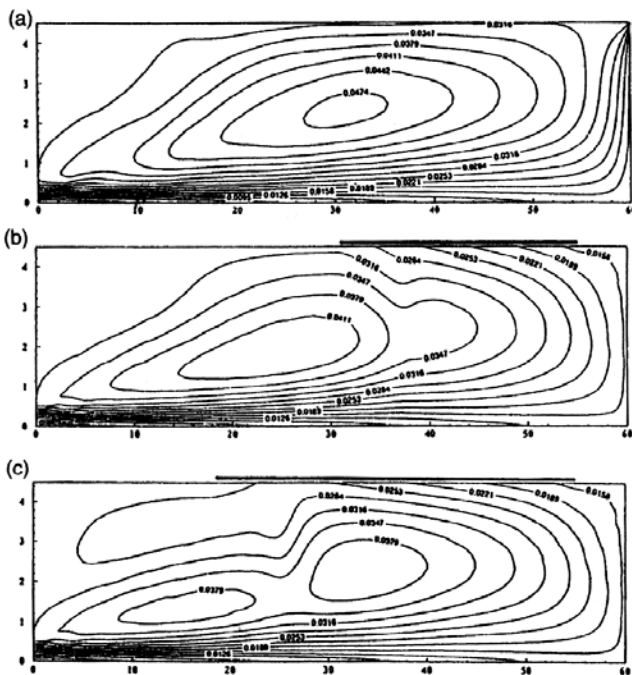
Növekvő bevezetési magassággal többé már nem lehet egyenes bevezetési profilból kiindulni, a sebességmegoszlás a fenék közelében növekvő csúcsokat mutat. Kísérletekben figyelték meg, hogy a felső részben túlságosan nagy bevezetési nyílás képes a környezetében a folyadékot magába beszívni (Krebs, 1991 McCorquodale és Zhou, 1993). A ténylegesen az ülepítőmedencébe jutó térfogatáram ezáltal a névleges bevezetéshez képest nő és a tulajdonképpeni szándék - a magas bevezetőnyílással kis sebességet kelteni - megsemmisül.

5.5 Kifolyás

A 11. ábra két tipizált elvezetési elrendezést mutat hosszirányban átáramolt téglalap keresztmetszetű medencékre - egyrésztől "szabad átbukás" a kilépőfalon (11.a) és másrésztől elvétel a felszín hosszában (rövid vályú, 11.b ábra, hosszú vályú 11.c ábra) - numerikus áramlási modellezéssel történő összehasonlításban (Krebs et al., 1996). A változókat ugyanazzal, a fenéknél lévő, 0,5 m nyílásmagasságú bevezetéssel szimulálták (ld. 10.c ábra). A kétdimenziós modellezés a felszínnél lévő hosszanti vályúban mutat be közelítést a kivezetésközelbeli valóságos háromdimenziós áramlásra.

A fenékáramlás a különféle változókat illetően alig különbözik az első medencefélben. Az áramlási rétegződés helyzete kétségtelenül jelentős különbséget mutat a

kilépőfalon történő kivezetés (11.a ábra) és a felszínnél való kivezetés (11.b és 11.c ábrák) esetében. A kilépőfalon történő átbukás változatában nincs teljes áramlásviszaverődés. A második réteg a leghátsó medencerészben már nem létezik és visszaverődés nélküli kapcsolat áll fenn a fenékáramlás és a kivezetés között. A felszínnél történő kivezetés változatában ellenben a fenékáramlás kilépőfalnál történő teljes reflexiója áll be és ezáltal az, hogy most a víz a második vagy a harmadik rétegből az utat a kivezetésben megtalálja, a jellegzetes áramlási utat jelentősen meghosszabbítja. Rövid kivezetésnél a harmadik réteg kevésbé alakul ki mint hosszúnál. Ez azt jelenti, hogy a 11.c ábrában az áramlási utak hosszabbak mint a 11.b ábrában.



11. ábra. Számított áramvonalak (Krebs et al., 1996): a) kifolyás, mint átbukás a kilépőfalon hosszan elnyújtott oldalbukó a felszínnél, b) 24 m hosszú, c) 37 m hosszú.

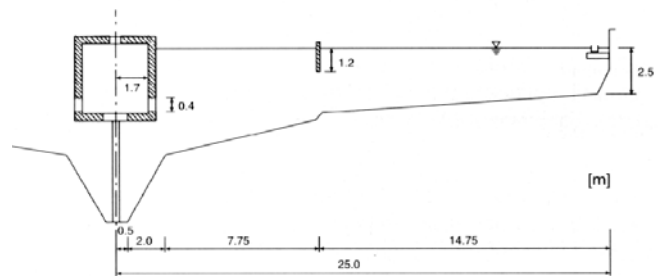
Másrészt a túlságosan hosszú kivezetés, amely benyúlik a bevezetési zónába, a hatékonysággal szembeni hatást válthat ki, mert impulzusszerű bevezetési jelleggörbénél rövidzárlat léphet fel a közeli kivezetésben. A 11.c ábrában bemutatott kivezetési hossz ezek szerint optimális kompromisszumnak látszik a hosszú áramlási út és a bevezetéshez való veszélyes közelség elkerülése között.

A medenceátáramlás átlagos felfelé irányuló sebessége a kilépőfal mentén, a felső medencerészbe történő iszapszállítási kapacitásnak egy mértéke. A kilépőfalon történő átbukás változatában, fél vízmélységben, az átlagos felfelé irányuló sebesség kb. 3,5 mm/s (11.a ábra), a felszínnél lévő helyekre kb. 1,5 mm/s (11.b és c ábra). Ez a kilépőfalnál lévő felfelé irányuló áramvonalak sűrűbb helyzetéből látható: a legkülső áramvonal, amely a

kifolyásba vezet, a 11.a ábrában lényegesen közelebb van a falhoz. A felfelé irányuló sebességbeli különbség nem magyarázható a kivezetések szívóhatásával, a magyarázat sokkal inkább a kivezetések helyzetében van, amelyek az áramlás visszaverődés különféle fajtáját váltják ki. Csak a kivezetés közvetlen közelében fogja a sebességmezőt a kivezetés kiterjedése meghatározni. Az áramlásmező általában impulzusvezérelt: a rendszerbe történő bevitelt azonban majdnem kizárólag a bevezetés és a sűrűségviszonyok határozzák meg, miközben a kivezetés csak marginális szerepet játszik az egész medence impulzusháztartásában.

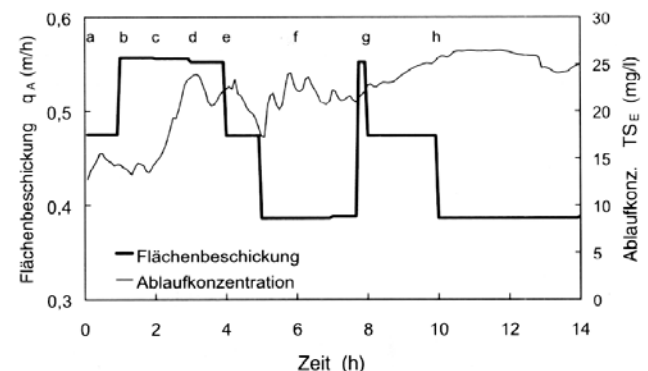
5.6 Dinamikus folyamatok

A numerikus modell dinamikus változatát egy, Born (1998) által a Kassel-i Tisztítótelep utóülepítő medencéjében végrehajtott 24-órás kísérletre alkalmazták (Armbruster et al., 2000). Ez a numerikus szimuláció potenciálját volt hivatott bemutatni. A 12. ábra a közepén táplált, köralaprajzú szimmetrikus medence felének met-



12. ábra. Sugárirányú medencemetszet (Born, 1998), amelyet a dinamikus szimulációhoz alapul vettek (lásd 13. és 14. ábra Armbruster és mts., 2000).

szetét mutatja be. A 13. ábra a q_A felületi terhelés ingadozásait mutatja a modellezett időszak alatt. A recirkulációs térfogatáramot a kísérleti időszak alatt állandónak tartották ennek megfelelően a recirkulációs arány 1,38 (minimális bevezetés) és 0,65 (maximális bevezetés) kö-



13. ábra. Felületi terhelés és szimulált kifolyási koncentráció a 14. ábrán bemutatott terhelési esetre. Flächenbeschickung: felületi terhelés, q_A (m³/h), Ablaufkonz.: kifolyási koncentráció, TSE (mg/l), Zeit: idő, (h)

zött ingadozott. A bevezetésben a koncentráció 4,3 kg/m³ és 3,3 kg/m³ között ingadozott.

Miután a kezdőállapotra a stacioner megoldást kiszámították, a 13. ábrában bemutatott terhelésingadozást vették figyelembe. A 14. ábrában mutatott szimulált koncentrációmező időpontjai a 13. ábrában vannak megjelölve. A betáplálás növelésén és csökkentésén keresztül az iszapter zavar lesz és belső hullámok fognak keletkezni. Az azonos koncentrációjú vonalak az iszapvízben oszcillációra utalnak, ami a elfolyás minőségének romlásához vezethet. Az is megmutatkozik, hogy az átmeneti fázisok, különösen is a terheléscsökkenés fázisa, a elfolyási minőségre döntőbb hatású, mint az állandóan nagy terhelésű fázisok.

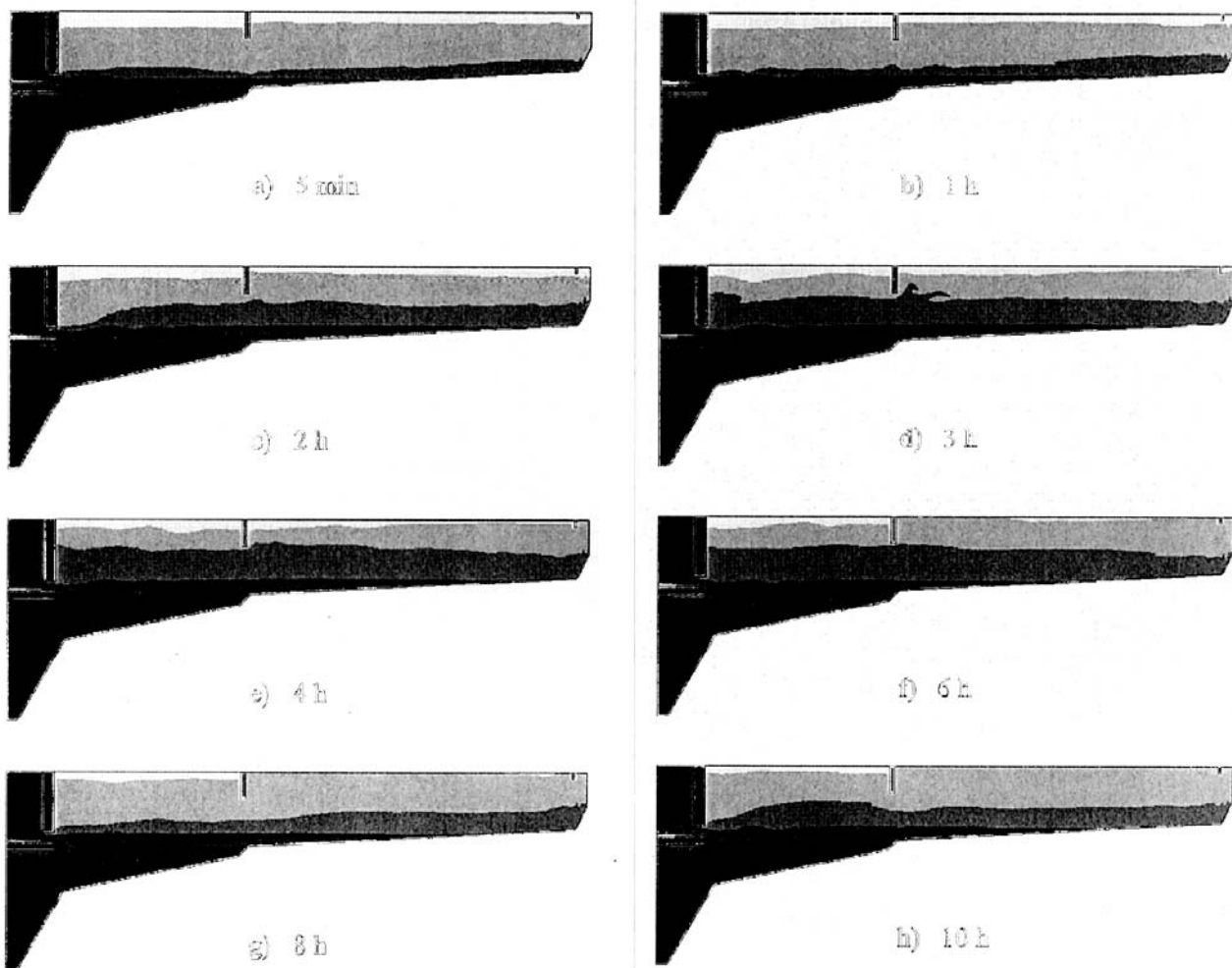
Ennélfogva abból kell kiindulni, hogy a kevertvízterhelés stacioner szimulációi a mértékadó terhelésre nem jellemzők. A tény mellett, hogy instabilitások figyelmen kívül maradnak, az eleveniszapos medencéből az utóülepítő medencébe kerülő iszapátvezetés is figyelmen kívül maradt. Száraz időre vonatkozó egyensúlyi állapotból kiindulva azonban a tárolóhatás alapján jelentősen ma-

gasabb iszapter adódik, mintha állandó kevertvízterhelés már csökkent befolyási koncentrációnál stacioner megoldáshoz vezetne.

6. Következtetések

Az utóülepítő medencékben lezajló folyamatok megértéséhez és optimalizálásához a modellek kiválasztásakor a célkitűzésre kell a figyelmet irányítani. A fluxus-elméleten alapuló koncepcionális, valamint az egydimenziós modellek sikeresen alkalmazhatók az eleveniszap-modellekkel való kombinációban. Lehetővé teszik levegőztető- és utóülepítő medencék kapcsolt iszapháztartásának dinamikus modellezését. Mivel a medence kialakítása és a belső folyamatok nem vehetők figyelembe, szerkezeti részletek optimalizálása és az elfolyó vízminőség előrejelzése alapvetően nem lehetséges.

A többdimenziós modellek kezelése lényegesen költségesebb és a mai napig ezeket kizárólag specializált szakemberek működtetik. A lehetőség következtében, teljes áramlási- és koncentrációmezők pillanatfelvételenként szimulálhatók, 2D-modellekkel az iszap és az



14. ábra. Koncentrációmező alakulása a 13. ábrán bemutatott terhelésre.

áramlás minősége, valamint viselkedése közötti alapvető összefüggések bizonyíthatók és elemezhetőek voltak. A bevezetés és kivezetés elrendezésére feltett, a gyakorlat szempontjából fontos kérdések bizonyított modellekkel megválaszolhatóak voltak.

Dinamikus szimulációkkal lehetséges volt bemutatni az iszapelúzás mechanizmusát. Terhelésnövelések éppen úgy, mint terheléscsökkenések belső hullámmozgásokhoz vezetnek, amelyek a kivezetés közelében magasabb koncentrációt okoznak.

A numerikus modellezés megbízhatóságának növeléséhez a kémiai és mikrobiológiai modelleképzeléseket tökéletesíteni kell. Az iszapviselkedés leírásának modelljei nem keletkezhetnek a numerikus szimuláció eredményeként, input-ként rendelkezésre kell állniuk. Az áramlási gradiensek kicsi részecskék kicsapódására és a pelyhesedésre gyakorolt hatása mind a mai napig részleteiben nem érték meg. Az előfeltételek azonban a számítógépes szimuláció részéről adottak lennének a turbulenciaintenzitás és -disszipáció helyi jellemzőin, a sebesség- és koncentrációgradienseken alapuló modellek integrálásához.

7. Jelölések

A_{NB}	utóülepítő medence felülete
c_1, c_2, c_μ	állandók a turbulenciamodellben
DSVI	higítási iszapterfogat-index
F'	sűrűségmérő Froude-szám $F' = U / (g' H)^{1/2}$
f_{ns}	a nem ülepíthető részecskék frakciója a bevezetésben
g	gravitációs állandó
g'	sűrűségi gravitációs állandó $g' = g \Delta\rho / \rho_w$
j_T	a teljes, függőleges tömegáram az 1D-modellben
H	vízmélység
h_i, h_j	rétegmagasságok a bevezetési réteg felett és alatt az 1D-modellben
h_s	iszapréteg magassága
k	turbulens mozgási energia
$M_{S,NB}$	iszaptömeg az utóülepítő medencében
n, n_2, n_4	együtthatók ülepedési függvények kitevőiben (15, 18 egyenletek)
P	helyi, dinamikus nyomás
P_g, P_r	sűrűség- és sebességgradiensek által keltett turbulencia
Q	vízhozam
Q_o	teljes beáramló vízhozam az utóülepítő medencébe
q_A	hidraulikai felületi terhelés $q_A = q / A_{NB}$

Q_R	recirkulációs térfogatáram
$Q_{\bar{U}S}$	főlősiszap térfogatáram
R	recirkulációs arány $R = Q_R/Q$
SSVI	kevert iszapterfogat-index
t_E	sűrűsödési idő
U	helyi, az idő szerint átlagolt sebesség x-irányban
V	helyi, az idő szerint átlagolt sebesség y-irányban
V_o	a bevezetés feletti felfelé irányuló sebesség az 1D-modellben
V_{BB}	eleveniszapos medence térfogata
V_R	sebesség az 1D-modell recirkuláció elvételi határánál
V_S	ülepedési sebesség
V_{so}	elméleti, maximális ülepedési sebesség a fluxus-modellben
$V_{S,max}$	maximális, tényleges ülepedési sebesség a Takács et al, (1991) szerinti modellben
V_u	lefelé irányuló sebesség a bevezetés alatt az 1D-modellben
X	helyi részecskekoncentráció
X_o	részecskekoncentráció a bevezetési rétegben, az 1D-modellben
X_B	iszapkoncentráció az utóülepítő medence fenekénél
X_{BB}	iszapkoncentráció az eleveniszapos medencében
X_E	részecskekoncentráció a kivezetésben
X_{in}	koncentráció, ami az 1D-modell bevezetési rétegében kialakul
X_R	részecskekoncentráció a recirkulációban
x	koordináta a főáramlás vízszintes irányában
y	koordináta függőleges irányban
$\Delta\rho$	$= X(\rho_p - \rho_w)/\rho_p$, a keverék és a tiszta víz közötti helyi sűrűségkülönbség
ε	a turbulenciaenergia disszipációs aránya
v	kinematikai viszkozitás (molekuláris)
v_{eff}	$= v + v_t$, teljes, számítási viszkozitás
v_t	örvényviszkozitás
ρ	helyi keveréksűrűség
ρ_p	részecskesűrűség
ρ_w	tiszta víz sűrűsége
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$	állandók a numerikus modellben
σ_x	turbulens Schmidt-szám

Indexek:

i, j	a befolyás feletti és alatti rétegek az 1D-modellben
R_w	csapadékos ideai körülmények
T_w	szárazidei körülmények

Irodalom

- Anderson N.E. (1945). Design of settling tanks for activated sludge. *Sewage Works J.*, 17 (1), 50 -63.
- Armbruster M., Krebs P. und Rodi W. (2000). Numerical modelling of dynamic sludge blanket behaviour in secondary clarifiers. To be presented at IAWQ Biennale Conf., 3 - 7 July, Paris.
- ATV-A 131 (2000). Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5 000 Einwohnerwerten. ATV-DVWK, Hennef.
- ATV-DVWK AG KA 5.2 (2000). Grundlagen und Einsatzbereich der numerischen Nachklärbecken-Modellierung. GFA, Hennef. Kurzfassung: KA 6/2000, 893.
- Bertrand-Krajewski J.-L., Lefevre M. und Chatellier P. (1996). Impact of storm events on activated sludge transfers in a small waste water treatment plant: measurements and modelling. *Proc. Vol. I. 593-598*, 7th Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Hannover.
- Born W. (1998). Messdaten zur Verfügung gestellt.
- Bretscher U., Hager W. und Hager W.H. (1984). Untersuchungen über die Strömungs- und Feststoff-Verteilungen in Nachklärbecken. *gwf-wasser/ abwasser* 125 (2), 81 -90.
- Celik I. and Rodi W. (1986). Simulation of hydrodynamic and transport characteristics of rectangular settling tanks. In *Transport of Suspended Solids in Open Channels*, pp. 129-132, ed. W. Bechteler, Balkema Publishers.
- Deininger A., Holthausen E. und Wilderer P.A. (1998). Velocity and solids distribution in circular secondary clarifiers: full scale measurements and numerical modelling. *Water Research*, 32 (10), 2951-2958.
- DeVantier B.A. und Larock B.E. (1987). Modelling sediment-induced density currents in sedimentation basins. *J. Hydraulic Engrg., ASCE.*, 113 (1), 80-94.
- Dupont R. und Henze M. (1992). Modelling of the secondary clarifier combined with the activated sludge model no.1. *Water Science and Technology*, 25 (6), 285-300.
- Ekama G.A., Barnard J.L., Günthert F.W., Krebs P., McCorquodale J.A., Parker D.S. und Wahlberg E.J. (1997). Secondary settling tanks: theory, modelling, design and operation. IAWQ STR No.6, Int. Assoc. on Water Quality, London.
- Gujer W. (1990). ASIM - activated sludge simulation program. MS DOS, public domain.
- Härtel L. und Pöpel H.J. (1992). A dynamic secondary clarifier model including processes of sludge thickening. *Water Science and Technology*, 25 (6), 267-284.
- Henze M., Grady C.P.L.Jr., Gujer W., Marais G.v.R. und Matsuo T. (1987). Activated sludge model No.1. IAWPRC Scientific and Technical Report No.1, London.
- Holthausen E. (1998). Feststoffe im Ablauf von Nachklärbecken. *Korrespondenz Abwasser*, 45 (1), 52-56.
- Holzer P. und Krebs P. (1998). Modelling the total ammonia impact of CSO and WWTP effluent on the receiving water. *Water Science and Technology*, 38 (10), 31-39.
- Imam E., McCorquodale J.A. und Bewtra J.K. (1983). Numerical modelling of sedimentation tanks. *J. Hydraulic Engrg., ASCE*, 109 (12), 1740-1754.
- Jeppson U. und Diehl I.G. (1996). An evaluation of a dynamic model of the secondary clarifier. *Water Science and Technology*, 34 (5-6), 19-26)
- Krebs P. (1989). Modellierung von Strömungen in rechteckigen Nachklärbecken. *Gas-Wasser-Abwasser*, 69 (11), 718-728.
- Krebs P. (1991). Modellierung und Verbesserung der Strömung in Nachklärbecken. *Schriftenreihe Umwelt Nr.157*, Schw. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern
- Krebs P., Stamou A.I., Garcia-Heras J.L. und Rodi W. (1996). Influence of inlet and outlet configuration on the flow in secondary clarifiers. *Water Science and Technology*, 34 (5-6), 1-9.
- Krebs P., Armbruster M. und Rodi W. (1998a). Strömung und Sedimentation in Absetzbecken. Bericht Nr. 742, Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe.
- Krebs P., Armbruster M. und Rodi W. (1998b). Laboratory experiments of buoyancy-influenced flow in clarifiers. *J. Hydraulic Research*, 36 (5), 831-851.
- Lakehal D., Krebs P., Krijgsman J. und Rodi W. (1999). Computing shear flow and sludge blanket in secondary clarifiers. *J. Hydraulic Engrg., ASCE*, 125 (3), 253 -262.
- Larsen P. (1977). On the hydraulics of rectangular settling basins. Report Nr. 1001, Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, Schweden.
- Lyn D.A., Stamou A.I. und Rodi W. (1992). Density currents and shear-induced flocculation in sedimentation tanks. *J. Hydraulic Engrg., ASCE*, 118 (6), 849-867.
- McCorquodale J.A. und Zhou S.P. (1993). Effects of hydraulics and solids loading on clarifier performance. *J. Hydraulic Research*, 31 (4), 461-478.
- Otterpohl R. und Freund M. (1992). Dynamic models for clarifiers of activated sludge plants with dry and wet weather flows. *Water Science and Technology*, 26 (5-6), 1391-1400.
- Rodi W., Majumdar S. und Schönung B. (1989). Finite-volume method for two-dimensional incompressible flows with complex boundaries. *Comp. Meths. in Appl. Mech. and Engrg.*, 75, 369-392.
- Rodi W. (1993). Turbulence models and their application in hydraulics. 3rd Ed., Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Siegrist H., Krebs P., Bühler R., Purtschert I., Röck C. und Rufer R. (1995). Denitrification in secondary clarifier. *Water Science and Technology*, 31. (2), 205-214.
- Takács I., Patry G.G. und Nolasco D. (1991). A dynamic model of the clarification-thickening process. *Water Research*, 25 (10), 1263-1271.
- Vesilind P.A. (1968). The influence of stirring in the thickening of biological sludge. Dissertation, University of North Caroline, Chapel Hill.
- Vitasovic Z.C., Zhou S., McCorquodale J.A. und Lingren K. (1997). Secondary clarifier analysis using data from the Clarifier Research Technical Committee protocol. *Water Environment Research*, 69 (5), 999-1007.
- Wahlberg E.J. und Keinath T.M. (1988). Development of settling flux curves using SVI. *J. Water Pollution Control Federation*, 60 (12), 2095-2100.
- Zhou S., McCorquodale J.A. und Godo A. M. (1994). Short circuiting and density interface in primary clarifiers. *J. Hydraulic Engrg., ASCE*, 120 (9), 1060-1080.

KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZTISZTÍTÓ TELEPEK ENERGIAFOGYASZTÁSA A BIOLÓGIAI LÉPCSŐ OXIGÉNTARTALMÁNAK FÜGGVÉNYÉBEN

Bongards Michael (Gummersbach)

Összefoglalás

A kommunális szennyvíztisztító telep energiafogyasztásának relatív változását a biológiai lépcső oxigéntartalmának függvényében szimulációs modell segítségével prognosztizálták és elemezték a kísérleti eredményeket. A modell-szimuláció és a kísérletek bizonyították, hogy a relatív változás nagymértékben független a befolyó szennyvíz paramétereitől. A kísérleti vizsgálatok során nyert eredményeket – érvényességük és hibahatáraik tekintetében – statisztikailag megvizsgálták. Eredményként egyszerű összefüggést kaptak, amely az elfogyasztott energiát az oxigénfogyasztás változásának függvényében adja meg. Ezáltal közvetlenül becsülhető a tervezés fázisában a beruházás hatékonysága a hatékony mérő- és szabályozó technika következtében.

Kulcsszavak: szennyvíztisztítás, kommunális, szimuláció, energiafogyasztás, függőség, oxigén, koncentráció

1. Bevezetés

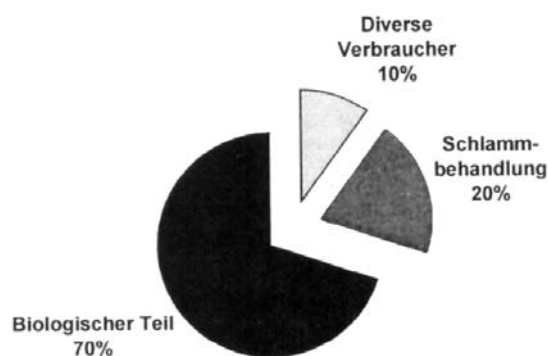
Amíg mostanáig főként az előírt határértékek betartására, ill. az elfolyás szennyezőanyag frakciójának minimalizálására törekedtek az üzemeltetők, addig ma a költségvonatok növekvő jelentőséget nyernek. Ez nem jelent szükség szerint ellentmondást, hiszen az oxigénbevitel nitrogénfüggő szabályozása az eleveniszapos medencében, általában az átlagos oxigéntartalom jelentős csökkenéséhez és ezzel az áramfelhasználás csökkenéséhez vezet. Azonban az ilyenfajta szabályozás bizonyos beruházásokat és üzemeltetési költségeket von maga után: on-line mérőműszereket kell beszerezni, továbbá hagyományos vagy Fuzzi-szabályozót kell beszerezni, és a telepre jellemző körülményekhez igazítani. Egy ilyenfajta automatikus rendszer üzemeltetését folyamatosan kell felügyelni megfelelő folyamatmegjelenítéssel, azért hogy a szabályozórendszer után-állítása az optimális működés érdekében egyszerű legyen. Az aerob technológiai szakasz modern szabályozási rendszere a napszak, a terhelés, és a kifolyási értékek szerint különböző oxigénkoncentrációt állít be az eleveniszapos medencében. Így az oxigénkoncentráció megemelkedik, ha túl magas ammónium-nitrogén érték ($\text{NH}_4\text{-N}$) jelenik meg a kifolyásban, alacsony nitrát-nitrogén értékkel egyidejűleg. Ha a viszonyok megváltoznak, úgy az oxigéntartalom megfelelő mértékben csökkenthető.

Magától érthetődő módon merül fel egy ilyenfajta beruházás jövedelmezőségének kérdése. Jóllehet üzemeltetési tapasztalatokból, és szimulációs számításokból durván becsülhető a lehetséges energiamegtakarítás, amelyre a [1] irodalom szerzője szintén végzett vizsgálatokat, azonban a kísérleti elemzés még hátra van.

Ezért az itt dokumentált vizsgálatokban annak a kérdésnek jártunk utána, hogy milyen befolyással van az oxigéntartalom változása, a biológiai szennyvíztisztító energiafelhasználására.

2. Telepfüggő energiafelhasználás

300 szennyvíztisztító 1988-ban [2] végzett értékeléséből az adódott, hogy az energiaköltségek 81 %-át az elektromos költségek teszik ki. Az átlagos elektromos energia költség 170 Wh/m³ szennyvíz, amelynek megoszlását az 1-es ábra mutatja.



1-es ábra: Energiafelhasználás megoszlása – 300 szennyvíztisztító elemzése alapján

(biologischer Teil = biológiai rész, diverse Verbrauch = különféle felhasználók, Schlammbehandlung = iszapkezelés)

Sőt egy újabb vizsgálat szerint [3], amit egy 50000 lakosegyenértékű telepen végeztek, a szennyvíztisztító biológiai része az összes elektromos energia 79 %-át igényli. Az eleveniszapos medencéhez és a recirkulációhoz kapcsolódó, mind nagyobb ráfordítással járó elemek miatt ez a jövőben még bizonyosan növekedni fog. Ezzel a biológiai egység üzemelési költsége az összes energiaköltség 50-60 %-át teszi ki, és így többnyire az üzemköltségek legnagyobb önálló tétele.

Kézenfekvőbb tehát ezen a területen energiát megtakarítani, azzal hogy pl. ammóniumtartalommal keresztül szabályozott levegőztetést alkalmazunk. A [2] irodalom szerint ezzel az oxigénbevitelhez szükséges energia

15%-os csökkenése várható, a [4]-es 10-20 % közti energia megtakarítást említ.

A gyakorlatban üzemelési tapasztalatok alapján megbecsülhető az oxigéntartalom megengedhető túréstartomány. A szükséges levegőbevitel, és ezzel az energiaszükséglet, nagymértékben a telepre jellemző paramétereiktől és a érkező szennyvíz tulajdonságaitól függ. Mindenesetre abból lehet kiindulni, hogy az energiaszükséglet relatív változása, mint az oxigénkoncentráció relatív változásának függvénye, létesítménytől és terheléstől független jellemző érték. Ebben az esetben ugyanis a szennyvíz összetétele, az építési feltételek befolyása, valamint a levegőztető rendszer fajtájának hatása a legmesszebbmenőkig ki van küszöbölve. Az energiaszükséglet és oxigénkoncentráció számszerű függvénykapcsolatát szimulációs modellel és kísérleti vizsgálatokkal kerestük.

3. Az eleveniszap szabályozástechnikájának szimulációs modellje

Az oxigén tömegmérlegéből kiindulva, a szabályozástechnikai összefüggések elemzésére a következő szimulációs modell készült.

A rendszerben az oxigéntömeg m változását a levegőztető rendszeren keresztül bekerülő oxigénmennyiség, és a mikroorganizmusok táplálkozása miatti oxigénfelvétel határozza meg.

Így a következő összefüggés érvényes:

$$\frac{dm}{dt} = m_{be} - m_{el}$$

A befolyás, elfolyás és az iszapelvétel oxigéntartalmát elhanyagoltuk. Ezek a hatások részben semlegesítik egymást, továbbá a szimuláció ilyen fajtájánál alig becsülhetők, és számszerűen is csak alárendelt jelentőségűek van.

Az eleveniszapos medence V_{EM} térfogatának figyelembevételével a tömegváltozások átszámíthatók koncentrációváltozásra.

$$C = \frac{m}{V_{EM}}$$

Így az oldott oxigéntartalom ill. oxigénkoncentráció dc/dt változása az eleveniszapos medencében:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{m_{be}}{V_{EM}} - \frac{m_{el}}{V_{EM}}$$

Az egyenlet jobb oldalának mindkét értéke ábrázolható ismert értékekből az eleveniszapos medence térfogatának figyelembevételével:

$$\frac{m_{be}}{V_{EM}} = \text{beállítási érték} \cdot \alpha_{oc}$$

A beállítási nagyság (0-tól 1-ig) a levegőztető szabályozó beállított jelzése. Az α_{oc} pedig a maximális térfogati oxigénbeviteli képességet jelöli, vagyis pontosan az oxigénbevezetés mértékét maximális kompresszorteljesítménynél.

A szubsztrátlebomlást az eleveniszapos medencében alapvetően a Michaelis-Menten összefüggés [5] írja le. Ez egy magas táplálékkoncentrációra vonatkozó nullad fokú, és egy alacsony táplálékkoncentrációra vonatkozó elsőfokú egyenlet kombinációja. Viszonylag alacsony tápanyagkoncentráció esetén, az anaerob módon stabilizált eleveniszapos medencékben a lebomlás többnyire elsőrendű reakcióként zajlik le. Eszerint a tápanyagkinálat emelkedése a lebomlás arányos növekedéséhez vezet. A lebontáshoz szükséges oxigén mennyiségét a fajlagos oxigénterhelés (O_2 -terhelés kg_{O_2}/kg_{BOI_5}) adja meg.

A BOI_5 frakció lebomlását befolyásolja még a medence C_{O_2} oxigénkoncentrációja. A lebomlás v sebessége, a [6] irodalomban említett modellnek megfelelően, a következő összefüggést használjuk:

$$v = v_{max} \cdot \frac{C_{O_2}}{C_{O_2} + K_S}$$

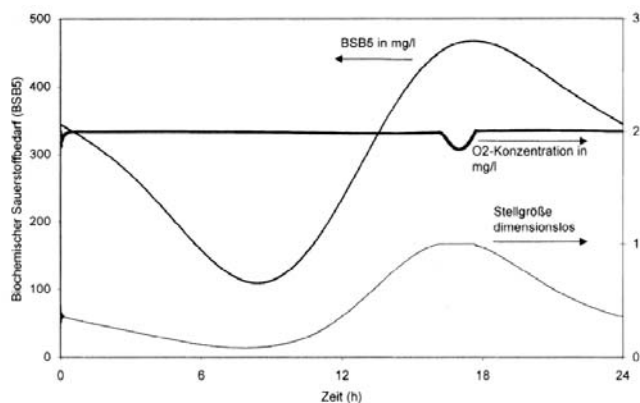
Ha az oxigénkoncentráció jóval a K_S telítési érték felett van, akkor már nem zajlik a szubsztrátlebomlás növekedése. Így az oxigénlebontásra a következő összefüggés érvényes:

$$\frac{m_{el}}{V_{EM}} = \frac{C_{O_2}}{C_{O_2} + K_S} \cdot \frac{O_2 - \text{terhelés} \cdot \text{befolyó frakció}}{V_{EM}}$$

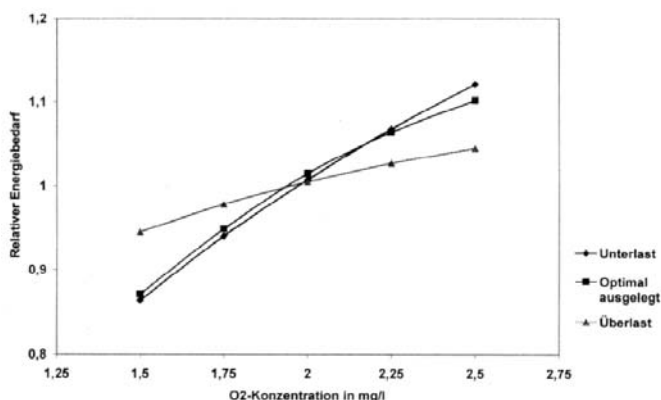
A szimulációs számításhoz jellemző értékeket helyettesítettünk be ebbe a modellbe a [7]-es irodalomból. Mindig 24 órás üzemelési intervallumot tekinttünk, napszaktól függő, ingadozó befolyó frakcióval. A modell a szimuláció során egy optimálisan beállított PI szabályozóval van összekapcsolva, amely a C_{O_2} oxigénkoncentrációt állandó értéken tartja, azáltal hogy a *beállítási értéket* változtatja. A szimulációt a Dr. Kahlert mérnökiroda Winfact nevű programjával számítottuk.

A 2. ábra egy 24 órás szimuláció tipikus lefutását ábrázolja. Az oxigénkoncentrációban 17 óra tájban bekövetkezett kismértékű törés, a levegőztető rendszer rövid idejű túlterheltségéből adódik, amikor a szennyezőanyag frakció napi csúcsa eléri a medencét.

A levegőztetés-szabályozó egy üzemenapon belüli beállítási értékeinek integrálása egy dimenzió nélküli mérőszámot ad, az eleveniszapos műtárgy energiaszükségletére. A 3. ábrán az így számított energiaszükséglet van feltüntetve, különböző oxigénkoncentrációk esetén. Vonatkoztatási érték 1 relatív energiaszükséglet, 2 mg/l-es koncentráció mellett.



2. ábra: A biológia egy üzemnapjának szimulációja
(Stellgröße = beállítási érték, BSB5 = BOI5, biochemischer Sauerstoffbedarf = biokémiai oxigénigény, Zeit = idő)



3. ábra: Relatív energiaszükséglet, az oxigénkoncentráció szükséges értékének függvényeként
(relativer Energiebedarf = relatív energiaigény, Unterlast = alulterhelt, Optimal ausgelastet = optimálisan terhelt, Überlast = túlterhelt)

Azért, hogy az eleveniszapos medence különböző elrendezéseit és a telep különböző terheléseit szimulálni lehessen, az üzemeltetési paramétereket az 1-es táblázat szerint megváltoztattuk ezekhez a számításokhoz.

Belastung	Sauerstoffzuführvermögen α_{OC} in kg O ₂ /m ³ /d	Raumbelastung B _R in kg BSB ₅ /m ³ /d
Unterlast	1,5	0,25
Optimal ausgelastet	1	0,4
Überlast	0,5	0,5

1. táblázat: 3. ábrán látható szimulációs eredményekhez tartozó üzemeltetési paraméterek
(Belastung = terhelés, Unterlast = alulterhelt, Optimal ausgelastet = optimálisan terhelt, Überlast = túlterhelt, Sauerstoffzuführvermögen = oxigénbeviteli képesség, Raumbelastung = térfogati terhelés)

Mint az a 3. ábrán látható, az első két terhelési állapot görbéi szinte teljesen egybeesnek, míg a harmadik görbe laposabb. „Túlterhelés esetén” azért áll elő az O₂-koncentráció kisebb mértékű befolyása, mert a beállított

előírányzott értékek nem tarthatók a nagy terhelésű periódusban. A szimuláció ezzel igazolja a fenti feltevést, hogy a relatív energiafelhasználás széles terhelési tartományban független a létesítmény terhelésétől, és elrendezésétől. Erre a következőkben bemutatásra kerülő kísérleti vizsgálatokat végeztük el.

4. Mérések a szennyvíztisztító telepen

A mérések a wiehli Aggerverband brüchermühlei kommunális szennyvíztisztító telepén zajlottak. A telep 8000 lakosegyenértékű terhelést kap, és elődenitrifikációval üzemel. A levegőztetés turbókompresszorral történik frekvenciaszabályozott üzemmel, amelyhez általában egy 12 kW-os csatlakozási teljesítményű kompresszor elegendő. További két kompresszor van beszerelve tartalékként, és a terhelési csúcsok fedezésére.

Az elektromos teljesítmény jellemző értékeként a kompresszor elé kapcsolt frekvencia irányító, háromfázisú tápvezetékének egyik fázisán mértük az I áramerősséget érintés nélküli áramfogón keresztül. A P teljesítményszükségletre, amit az U feszültségből, I áramerősségből és a kettő közti fázisszögéből számolunk, érvényes a következő azonosság:

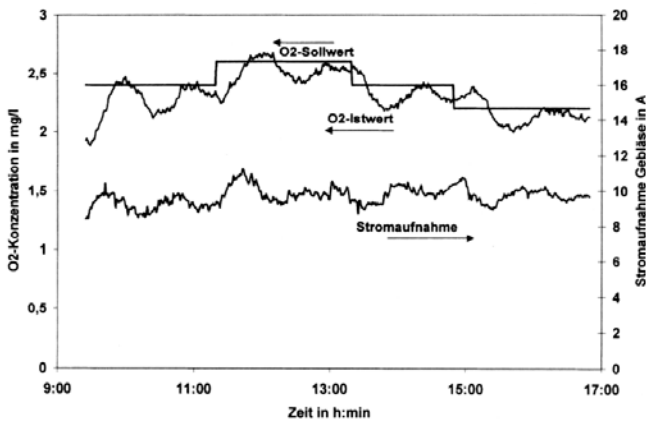
$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Mivel az egyéb értékek a legmesszebbmenőkig állandóak, így az I áramerősség és a felhasznált P elektromos teljesítmény között arányosságot lehet feltételezni. A mérésre 1998 március 17-20-ig és 1998 június 23-26-ig tartó két száraz periódust választottunk, mert csapadék esetén a befolyásban lévő oxigéndús felszíni vizek magas aránya miatt, a kompresszor a legalacsonyabb lehetséges fordulatszámon üzemel, az alap terhelési lépcsőben. Ennek következtében nem lehetséges az oxigénkoncentráció állandó szabályozása. A tényleges O₂ értéket a WTW cég trixomatic szenzorával mértük, és az áramerősség mért értékeivel együtt percnként rögzítettük, és tároltuk. A két adatsorhoz a 2. táblázatban látható egészen különböző jellemzőkkel rendelkező szennyvíz tartozik.

Messreihe vom	Abwasserzulauf	Abwassertemperatur
17.3. bis 20.3.98	3 021 m ³ /d	7,8 °C
23.6. bis 26.6.98	1 589 m ³ /d	15,0 °C

2. táblázat: beérkező szennyvíz jellemzői
(Messreihe von = mérési sor időpontja, Abwasserzulauf = szennyvízhozam, Abwassertemperatur = szennyvíz hőmérséklete)

Az első mérésorozathoz nedves, télies üzemfeltételek voltak, amíg a második mérés száraz nyári időben történt. Az oxigénkoncentráció eleveniszapos medencében előírányzott értékét az 2 órás időközönként kézzel variálták. A 4. ábra a kísérlet egy jellemző mérési görbéjét mutatja [8].



4. ábra: Energiafelhasználás mérése – 1998 március 17-én
(O₂-Sollwert = előírányzott oxigén érték, O₂-Istwert = tényleges oxigén érték, Stromaufnahme = áramfelvétel, Stromaufnahme Gebläse in A = kompresszor áramfelvétele amperban)

Az oxigéntartalom tényleges, és szükséges értéke közti különbség abból adódik, hogy ennek a vizsgálatnak a keretében a mérésekhez egy elkülönített oxigénérzékelőt használtunk, aminek mérési értékét nem használtuk fel a szabályozáshoz.

A vizsgálandó jelenségekre, a szükséges O₂ szükséges és tényleges értéke valamint a kompresszorteljesítmény közti függőséget, számos zavaró érték terheli, és a mérési eredményekből nem látszik. A felvett mérési értékek nagy száma, összesen 3410 adatpár, azonban lehetővé teszi a változó hatások statisztikai elemzését, ami az eredmények hibatarományának megadását is lehetővé teszi. A következőkben a statisztikai analízis kerül bemutatásra, anélkül hogy a számítás részleteiben elmerüljünk. Ehhez utalni kell a megfelelő irodalomra [9] [10].

A mért áramértékeket a további elemzés céljából, mindenkor elosztottuk a mérési sorozat középértékével, az eredmény megfelel egy dimenzió nélküli teljesítményértéknek.

Következőleg ennek a teljesítménynek a korrelációját vizsgáltuk a többi mérési értékhez. Az r korrelációs együttható a lineáris összefüggés mértéke két jellemző között. Ha $r = 0$, akkor nem áll fent összefüggés az értékek között, $r = 1$ -nél pedig az értékek egy egyenesen fekszenek.

Leistung – dimensionslos	korreliert zu		
	Tageszeit	O ₂ -Sollwert	O ₂ -Istwert
Messung März 1998	0,68	0,50	0,59
Messung Juni 1998	0,79	0,44	0,39
Mittelwert	0,74	0,47	0,49

3. táblázat: R korrelációs együttható a teljesítmény egyéb mérési értékektől való függése.

(Leistungdimensionslos = dimenzió nélküli teljesítmény, előírányzott O₂ érték, tényleges O₂ érték, Tageszeit = napszak, korreliert zu = korrelál a ...-hoz, Messung März 1998 = 1998 márciusi mérés, Messung Juni 1998 = 1998 júniusi mérés, mittelwert = középérték)

A 3. táblázatban lévő, $r \sim 0,7$ -es korrelációs együtthatóból jól látható az elektromos teljesítmény napszaktól való függése, amit a napszakonként ingadozó terhelés okoz. Mivel ennek a függőségnek az itt elvégzett vizsgálatok szempontjából nincsen jelentősége, ezért ezt a továbbiakban nem vesszük figyelembe.

Az eleveniszapos medence oxigénkoncentrációjától való függőség, amit vizsgálni kell, $r \sim 0,5$ –tel szintén jelentős.

Következő lépésben a regresszió analízist végeztük el. A legkisebb hibanégyzetek módszere szerint, egyenessel közelítettük a felhasznált elektromos teljesítmény függését, az oxigénkoncentrációtól. A 4. táblázat mutatja a számított egyenes-merevedékeket.

Leistung – dimensionslos	Regressionskoeffizient		99%-Toleranzintervall	
	O ₂ -Sollwert	O ₂ -Istwert	Minimum	Maximum
Messung März 1998	0,20	0,21	0,19	0,23
Messung Juni 1998	0,22	0,16	0,14	0,19
Mittelwert	0,20			

4. táblázat: Regressziós együttható - Az eleveniszapos medence oxigénkoncentrációjától való teljesítményfüggést jellemző merevedék mértéke, az O₂ értékhez számított toleranciaintervallummal.

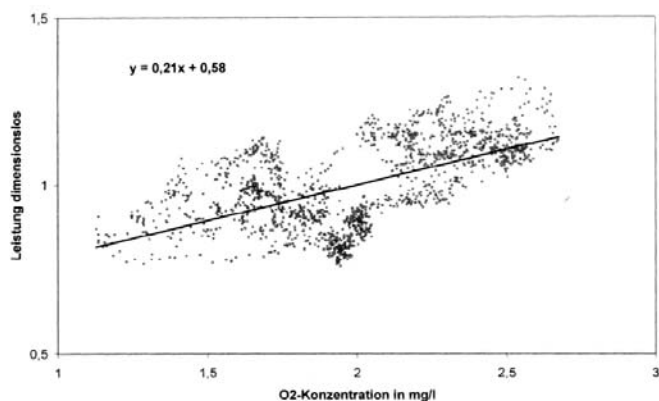
(Leistungdimensionslos = dimenzió nélküli teljesítmény, Regressionskoeffizient = regressziós együttható, előírányzott O₂ érték, tényleges O₂ érték, Messung März 1998 = 1998 márciusi mérés, Messung Juni 1998 = 1998 júniusi mérés, mittelwert = középérték, 99%-os toleranciaintervallum)

A teljesítmény regressziója a szükséges O₂ értékek függvényében csaknem azonos eredményt ad, jóllehet a belépési feltételek a két kísérletnél jelentősen különböztek (2. táblázat). Ez igazolja a szimulációs számítást, amelyben alacsonytól közepes terhelésű telepre ezt a viszonyt jeleztük előre (3. ábra).

Az 1998 júniusi mérésorozatban a szabályozási kör működési zavarai részben túl erősen ingadozó tényleges O₂ értékekhez vezettek. Ezzel magyarázható a más értékektől eltérő regressziós együttható. Ehhez a méréshez tartozó korrelációs tényező (3. táblázat) 0,39-es értéke az egyéb értékek alatt marad, ami egy nem lineáris zavar jelenlétére utal a függvényben, ami különben első közelítésre lineáris. Az 5. ábra példaként mutatja az 1998 márciusában mért tényleges O₂ értékeket a hozzátartozó regressziós egyenessel.

Mindegyik mérésorból átlagos regressziós együtthatóként 0,2 adódik, így a ΔP teljesítmény az eleveniszapos medence ΔC_{O_2} oxigénkoncentráció változásából a következőképpen számítható:

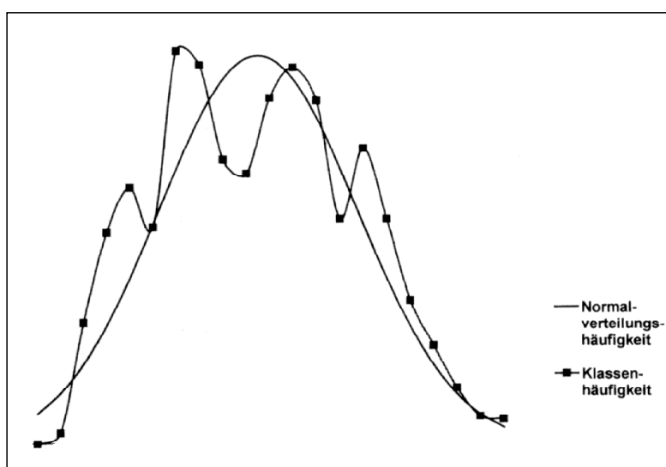
$$\Delta P = 0,2 \cdot \Delta C_{O_2}$$



5. ábra: Dimenzió nélküli üzelteljesítmény mérési értékei az eleveniszapos medencében lévő oxigénkoncentráció függvényében (1998 márciusi mérések)
(Leistung dimensionslos = dimenzió nélküli teljesítmény)

Például az eleveniszapos medence oxigénkoncentrációjának 2,2 mg/l-ről 1,8 mg/l-re ($\Delta C_{O_2} = 0,4 \text{ mg/l}$) történő változása eszerint 8 %-os megtakarítást eredményez a levegőztető elektromos teljesítményében.

Az eddig bemutatott eredményeket anélkül lehetett számítani, hogy az adatokhoz meghatározott statisztikai eloszlást feltételeztünk volna. A további vizsgálatokban megnéztük, hogy a mért teljesítményértékek normál eloszlásúak-e. Ennek során a tényleges O_2 értékek befolyását számítással kiküszöböltük. Az értékhatárokat 21 tartományra osztottuk fel és az egyes eredmények gyakoriságát az egyes intervallumokban számítottuk. A ξ négyzetpróba segítségével végzett statisztikai analízis arra az eredményre vezetett, hogy nincs normáleloszlás. Ez érthető, hiszen az előírányzott O_2 értéket csak 0,2 mg/l-es meghatározott lépcsőben változtattuk. Ezzel meghatározott tartományok dominálnak a teljesítményértékeknél. Ezen összefüggések szemléltetésére a 6. ábra mutatja a teljesítménymérések eloszlását. A háttérben az ideális normáleloszlás görbéje is látható.



6. ábra: Az 1998 márciusi teljesítménymérések relatív gyakorisági görbéje, és összehasonlítása az ideális normáleloszlással.
(Normalverteilungshäufigkeit = normál eloszlás gyakorisága, Klassenhäufigkeit = relatív gyakoriság)

A 4. táblázat utolsó két oszlopa tartalmazza a tényleges O_2 érték analizéséhez tartozó regressziós együtthatók toleranciaintervallumainak számítását a T-próba ill. Student-eloszlás alapján, ahol a toleranciaintervallumot 99%-os valószínűséggel kell betartani. Ez a statisztikai próba, a szűrőpróba normáleloszlását feltételezi. Ha ez nem adott, akkor a toleranciaintervallumot nem lehet statisztikailag biztosnak tekinteni. Ennek ellenére a mérési és kiértékelési hibák becsléséhez nagyságrendként tekinthető. Biztosan feltételezhető, hogy a regressziós együttható a valóságban nullától különböző, tehát a megállapított függőség jelentősen különbözik a mérési zavaroktól.

Ezen analízis eredményeként egy statisztikailag biztos 0,2-es regressziós együttható állítható fel, ami kb. 20%-ot jelent. Ha ezt a számot a telep jellemző energiafelhasználási értékeivel kombináljuk, akkor számítható az összes elektromos energia felhasználás ΔW változás a következők szerint:

$$\Delta W = 100\% \cdot 0,15 \cdot \Delta C_{O_2}$$

Példa:

Az eleveniszapos medence átlagos oxigénkoncentrációjának 2,2 mg/l-ről 1,8 mg/l-re ($\Delta C_{O_2} = 0,4 \text{ mg/l}$) történő változása a teljes telep elektromos energia felhasználásának kb. 6%-os csökkenését eredményezi.

4. Áttekintés

Az eleveniszapos medence oxigénkoncentrációjának hatását vizsgáltuk közepes nagyságú kommunális szennyvíztisztító telep energiafelhasználására. A nagyon általános szempont miatt, amely csak a relatív változásokat tekint, ezek az eredmények nagy valószínűséggel más létesítményeknél is alkalmazhatók. Összehasonlító vizsgálatokat tervezünk más telepekre, hogy biztos megállapítást tehesünk az itt kapott befolyásoló tényezők ingadozási tartományáról. Továbbá tervbe van véve, egy telep szabályozásának modernizálása az energiafelhasználás párhuzamos vizsgálatával, úgy hogy az átlagos oxigéntartalom csökkentésének lehetőségeit és hatásait is elemezni lehessen.

A szennyvíztisztítók tervezésénél, és építésénél a mérés és szabályozástechnika beruházásairól igen heves vita folyik, de végezetül ezen a területen az építető által mindig hön áhított megtakarítási lehetőségek érvényesülnek. Ennek az az oka, hogy a szabályozástechnika körvonalait szabványok nem írják elő, mint ahogy ez pl. az eleveniszapos medence nagyságának esetében van. A szerző személyes véleménye, hogy ebben az esetben kapkodva, rossz helyen takarékoskodnak.

Ebben a publikációban közzétett vizsgálati eredmények lehetőséget adnak a vita tárgyilagosságához, mivel így a különböző üzemelési változatok költségeit már a tervezési szakaszban jobban meg lehet becsülni.

Irodalomjegyzék:

- [1] Bongards, M.: Online-Messtechnik auf Kläranlagen, Stickstoffelimination auf kleinen und mittleren Kläranlagen über Redox-Potenzial- und Sauerstoffkonzentrations-Messung regeln; Umwelt 7. kötet, 9-10 szám (1997); 34-39 oldal
- [2] Müller, E.A., et al.: Energie in ARA; Energiesparmaßnahmen in Abwasserreinigungsanlagen; Bundesamt für Konjunkturfragen, CH-3003 Bern, 1994
- [3] Christmann, B., et al.: Ermittlung und Beurteilung des Energieeinsparpotenzials von Kläranlagen; Korrespondenz Abwasser 45 évf. 5 szám (1998); 949-953 oldal
- [4] Gebhardt, W.: Senkung der Betriebskosten; 52. Darmstädter seminar Abwas sertechnik am 6. November 1997; Korrespondenz Abwasser 45 évf. 2. szám (1998); 212-216 oldal
- [5] Mudrack, K., et al.: Biologie der Abwasserreinigung, Stuttgart 1991
- [6] Henze, M., et al: Activated Sludge Model No. 2; International Association on Water Quality, London 1995
- [7] Arbeitsblatt ATV-A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 Einwohnerwerten, GFA Hennef, 1991
- [8] Fester, C.: Untersuchungen an adaptiven Reglern zur Verfahrensoptimierung von Kläranlagen, diplomamunka a Kölni főiskola Gummerbachi tagozatán. (nem publikált), 1998
- [9] Bosch, K.: Statistik-Taschenbuch, 2. kiadás, München, 1993
- [10] Bronstein, I.N., et al.: Taschenbuch der Mathematik, Thun, 1989

MÉLYÉPTERV KOMPLEX MÉRNÖKI Rt.

1012. Budapest, Várfook u. 14.

Tel.: 214-0380*, 355-4176, 355-5299, 355-5683, Fax: 375-4616

E-mail: melyepterv@mail.matav.hu

A MÉLYÉPTERV Komplex Mérnöki Rt. az 1948-ban alapított Mélyépitési Tervező Vállalat (MÉLYÉPTERV) II. Komplex Irodából 1992-ben alakult Mélyépterv Komplex Mérnöki Kft. 1995. februári átalakulásával létrejött - 100%-ban magántulajdonú - részvénytársaság.

A tulajdonosok kizárólag a cég alkalmazottai. A cég tulajdonát képezi a több mint 700 m² alapterületű kétszintes tetőtéri iroda. Az állandó alkalmazottak száma 70 fő.

A társaság elsősorban a mélyépitési ágazat területén végez komplex tervezést a víziközművek hálózati rendszereinek, s azon belül pontszerű, telepszerű létesítmények megvalósításában, illetve a meglévők bővítésében, átalakításában és rekonstrukciójában.

Tevékenységi területek, szakágazatok címszavakban:

- ☞ **Vízellátás, vízgazdálkodás,**
- ☞ **Csatornázás, vízvezetés,**
- ☞ **Vízisztítás, szennyvíztisztítás,**
- ☞ **Vízszállítás-technológia, speciális szivattyútelepek,**
- ☞ **Mélyépités, magasépités, szerkezetépités,**
- ☞ **Különleges mérnöki műtárgyak,**
- ☞ **Villamosenergia-ellátás, műszer-, automatika,**
- ☞ **Épületgépészet, gázellátás,**
- ☞ **Környezetvédelem.**

A társaság évről évre fejlődik, melyet kifejez az árbevétel és a vagyon növekedése, valamint a tervezési módszerek korszerűsítése terén elért eredmények. Tevékenysége elsősorban hazai nagyobb beruházásokhoz kötődik, és sok esetben dolgozik külföldi cégekkel.

SZAKASZOS ÜZEMŰ SBR REAKTOR ÁTALAKÍTÁSA ZENOGEM® MEMBRÁN BIOREAKTORRÁ*

*Diana Mourato¹, Doug Thompson¹, Cory Schneider¹,
Newell Wright², Mike Devo², Steve Rogers³*

Összefoglalás

A társadalom egészséges környezet iránti elkötelezettsége, valamint az önkormányzatoknak az elfolyó szennyvizek újrahasonosításával szemben támasztott nagyobb követelményei igényt támasztanak az olyan, innovatív technológiákra, melyek jó minőségű tisztított vizet eredményeznek, minimális költség ráfordításával. A ZenoGem® eljárás szabadalmaztatott, membrán, bioreaktor eljárás. Kommunális szennyvizek esetén az eljárás üreges szál ZeeWeed® mikroszűrő membránokat alkalmaz, melyek a levegőztető tartályban közvetlen kapcsolatban vannak az eleveniszappal. A membránokból távozó folyadék mentes a lebegő anyagoktól, az eleveniszap és a foszfor koncentrációja igen csekély, megfelelően adagolt kémiai koaguláns anyagnak köszönhetően. A membránok igen nagy eleveniszap koncentráció (MLSS = 10 – 20 g/l) esetén is működőképesek, ami lehetővé teszi a nagyobb iszapkor elérését és fenntartását. A megnövelt iszapkor viszont lehetővé teszi az alacsony ammónia koncentráció elérését az elfolyóban, még hideg időjárási körülmények között is.

Arapahoe-ban (Colorado) a Lone Tree szennyvíztisztító telep kapacitását a tisztított víz minőségének egyidejű javításával akarták megnövelni. A tisztított vizet öntözési célokra kívánták felhasználni. Az eredeti üzem egy 3785 m³/d-os, szakaszos üzemű (SBR) reaktor volt, két párhuzamos, beton műtárggyal. A megye mérnökei számos lehetőség vizsgálata után úgy találták, hogy a meglévő SBR tartály ZenoGem® membrán bioreaktorral történő átalakítása a leggazdaságosabb megoldás. Ez a megoldás – ugyanazon műtárgyak használata mellett – háromszoros kapacitás-növelést tesz lehetővé, ami kielégíti a megye jövőbeli kapacitás igényét, kis beruházási költség-ráfordítással. Az 3785 m³/d kapacitású ZenoGem® telep 1998 augusztusa óta működik, és következetesen túlteljesíti a tisztított vízre vonatkozó, < 5 mg/l BOI, < 5 mg/l TSS, < 10 mg/l TN és < 0,2 mg/l TP előírásokat.

BEVEZETÉS

Membrán bioreaktorok

Az Arapahoe megye által választott technológia membrán bioreaktoros (MBR) eljárás. Az MBR eljárást már tíz éve alkalmazzák ipari szennyvizek tisztítására. (Hare és társai, 1990.) Ebben az eljárásban ultraszűrő, vagy mikroszűrő membránok elválasztják a tisztított vizet a biomasszától, feleslegessé téve a hagyományos, eleveniszapos eljárások utóülepítőit. Korábban, a tisztított víz a membránokon való átszivattyúzásának energia-költségei eleve kizárták az eljárás nagymennyiségű, kommunális szennyvíz tisztítására való alkalmazásának elterjedését. A közelmúltban történt újabb membrántechnológiai fejlesztések eredményeként szükségtelessé vált a nagynyomású szivattyúzás, s így nagymértékben csökkent az eljárás energiaigénye, lehetővé téve az MBR technológiának a kommunális szennyvizek tisztításában történő szélesebb körű elterjedését (Thompson és társai, 1998.). A ZenoGem® eljárás szabadalmaztatott, bioreaktoros membrán technológia (MBR).

A projekt háttere

Az Arapahoe Megyei Víz és Szennyvíz Igazgatóság bővíteni akarta a 3028 m³/d kapacitású, Lone Tree Szennyvíztisztító Telepét (Englewood, Colorado). A telep 2 soros, szakaszos üzemű SBR – beton műtárgyakban kialakított – reaktorból állt. Mindkét műtárgy hasznos térfogata 1135 m³. A telep kapacitását növelni, a tisztított víz minőségét pedig javítani kellett. A pillanatnyi kapacitás igény napi 3785 m³ tisztított vízmennyiség volt, a következő elvárt jellemzőkkel: max. 0,2 mg/l foszfor és 10 mg/l összes-nitrogén. A megye és mérnökei számos lehetőséget megvizsgáltak, többek között: 1) a meglévő, SBR telep bővítését, és fejlettebb tápanyag eltávolító eljárással való kiegészítést; 2) az SBR tartályok átalakítását fejlett, eleveniszapos teleppé, újabb ülepítő és homokszűrő berendezésekkel kiegészítve; 3) egyik SBR műtárgy ZenoGem® bioreaktorral való átalakítását.

¹ ZENON Environmental Systems Inc. 845 Harrington Court, Burlington, Ontario L7N 3P3

² Arapahoe County Water & Wastewater Authority, Colorado

³ Rogers Associates, Wheat Ridge, Colorado

* Elhangzott a WEFTEC konferencián, New Orleansban, 1999. októberében

A megye által, a közeljövőben történő kapacitásbővítés jóval a 3785 m³/d feletti, és a bővítésre szolgáló eljárás helyigénye a kiválasztás lényeges szempontja volt. A ZenoGem® technológia melletti döntés alapja annak teljes élettartamára számított beruházási és üzemeltetési költség, valamint a tisztított víz kiváló minősége volt, ami azt alkalmassá tette újra-felhasználásra.

MŰKÖDÉSI KÖRÜLMÉNYEK

A telep tervezési adatai

A bővítés kezdetén csak az egyik meglévő műtárgyat használták a ZenoGem® eljárás céljára. A másik műtárgy a bővítés következő fázisára volt tartalékolva. A meglévő durva rácsot, 3 mm résméretű, finom rácra cserélték le. A membránok szivattyúinak elhelyezésére beton boltozat épült, a meglévő műtárgyak mellett. A meglévő, vízszintes, levegőztető berendezést lecserélték finom buborékos, diffúzor rácra, de a meglévő légfúvók felhasználásával.

Az első műtárgyba beton válaszfalat építettek be, mely kettéosztotta a műtárgyat egy dugattyús áramlású, anoxikus, oxigénhiányos zónára, és az azt követő teljes keverésben levő, aerob zónára, melyet a finom buborékos diffúzor rácra levegőztet. Két acél keretben, 144 ZW-500-as membrán modul került beépítésre az aerob zónában. Az aerob zónában lévő, nitrifikált eleveniszap a szennyvíz befolyási térfogatának hatszorosával kerül átiszapításra az oxigénhiányos zónába. A foszfor eltávolítása vaskloridnak a durva és finom rácson előszűrt szennyvízhez való adagolásával történik, még az oxigénhiányos zónába való belépés előtt. A vasklorid átlagos mennyisége 50 mg/l.

Az aerob zóna hasznos térfogata 605 m³, ami 3,8 órás, névleges hidraulikai tartózkodási időt (HRT-t) jelent, a tervezett átfolyás mellett. Az oxigénhiányos zóna hasznos térfogata 378 m³, ami 2,4 órás, névleges hidraulikai tartózkodási időt (HRT-t) jelent a tervezett átfolyás mellett. (Lásd az 1. táblázatot.)

Tervezett átlagos szennyvízhozam	m ³ /d	3785
Csúcsterhelés	m ³ /d	5678
Oxigénhiányos zóna hasznos térfogata	m ³	378
Levegőztetett zóna hasznos térfogata	m ³	605
MLSS tartomány	mg/l	12.000 – 15.000
MLVSS tartomány	mg/l	8.000 – 10.000
Iszapkor	d	15 - 20
Levegőztetett hidraulikai tartózkodási idő	h *	3,8
Oxigénhiányos hidraulikai tartózkodási idő	h *	2,4

* a tervezett szennyvízhozam esetén

1. táblázat. A folyamat működési paraméterei

A modernizálás befejeződött 1998 júliusában, az üzembe helyezés és beoltás pedig 1998 augusztusában.

Mintavétel és elemzés

Egyszeri szennyvíz mintákat a 3 mm-es rács után, valamint permeátum mintákat a megye gyűjtötte. A vett mintákat rendszeresen továbbították a megye laboratóriumába. (A szennyvíz mintákat hetenként egyszer, a tisztított víz mintáit hetenként háromszor.)

A befolyó szennyvíz jellemzői

A befolyó szennyvíz jellemzői az üzemeltetés első kilenc hónapjában, a 2. táblázatban vannak összesítve („A befolyó szennyvíz átlagos, havi jellemzői”). Az észlelt szennyezőanyag koncentrációk megfelelnek a környéken mért, nyers szennyvíz átlagos értékeinek, valamint a Lone Tree szennyvíztisztító telep által mért, korábbi értékeknek. A szennyvíz hőmérséklete egész évben viszonylag állandó marad, mivel a közösség fő víznyerő helye egy forrás, és a megye szennyvízcsatorna hálózata elválasztott rendszerű, ezért az esővíz, vagy hólé beszivárgása minimális. A szennyvíz hőmérséklete a vizsgált időszakban 13 – 16 C° között ingadozott.

Hónap	Hozam m ³ /d	BOI ₅	Ammónia-nitrogén	Összes foszfor	Össz. lebegő anyag
Augusztus ⁺	3407	183	30,2	13,8	253
Szeptember	3218	187	33,0	10,8	224
Október	3218	178	35,2	12,8	251
November	3180	221	38,1	nincs	262
December	3937	185	34,2	nincs	230
Január	3104	237	34,0	12,4	282
Február	3104	233	34,4	16,1	262
Március	3180	217	37,5	17,1	237
Április	3293	184	37,2	21,6	272
Átlag ⁺⁺	3293	205	34,6	15,8	251

+ A mintavételezés kezdete: 1998. augusztus 14.

++ Minták száma: 32

2. táblázat: A befolyó szennyvíz átlagos, havi jellemzői

Keletkezett fölös iszap

A ZenoGem® telep 12–20 g/l eleveniszap (MLSS) koncentrációval működött. Az eleveniszap száraz anyag tartalmának illóanyag frakciója 55–70% között volt. Ez az alacsony illóanyag tartalom a viszonylag nagy vasklorid adagolásnak köszönhető, amelyet a tisztított víz foszfor koncentrációjának alacsony szinten tartása céljából adagoltak.

A (kezelők által becsült) fölös iszap eltávolítás 53–68 m³/d között volt, a kívánt eleveniszap (MLSS) koncentráció fenntartása miatt. Az eredő iszapkor (SRT) 14,4 – 18,6 nap között volt. Az eredő, tényleges iszap munka 0,8 kg TSS/kg BOI₅, melynek 25 %-a vegyi iszap, a vasklorid adagolás miatt.

A TELEP TELJESÍTMÉNYE

A tisztított víz minőségi adatai – a telep első kilenc hónapjában - a 3. táblázatban található. A tisztított szennyvíz átlagos, havi jellemzői teljesítik a megye által

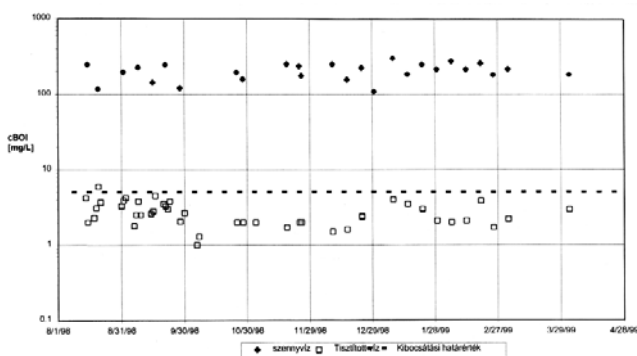
támasztott követelményeket a BOI₅ koncentráció (< 5 mg/l), összes lebegő anyag koncentráció (< 5 mg/l), összes-foszfor koncentráció (0,2 mg/l) és összes-nitrogén koncentráció (< 10 mg/l) terén. (Lásd a 2 – 5 ábrákat.). Az összes-nitrogén koncentráció kissé magasabb volt a működés első 4-6 hetében, mivel a rendszert nem nitrifikáló iszappal oltották be. Amint a nitrifikáció működésbe lépett, a tisztított víz összes-nitrogén koncentrációja állandóan 6 mg/l alatt maradt.

Hónap	BOI ₅	Összes nitrogén	Összes foszfor	Összes lebegő anyag
Augusztus	3,5	17,2 ⁺⁺	0,11	2,1
Szeptember	3,1	10,2 ⁺⁺	0,12	1,8
Október	1,2	4,2	0,13	2,0
November	1,9	4,2	0,08	2,0
December	1,8	3,5	0,16	2,9
Január	3,2	4,6	0,07	2,1
Február	2,4	4,1	0,05	2,2
Március	2,2	5,6	0,07	2,5
Április	3,0	5,1	0,13	2,3
Átlag	2,8	4,4 ⁺⁺	0,11	2,2
Kibocsátási határérték	< 5	< 10	0,2	< 5

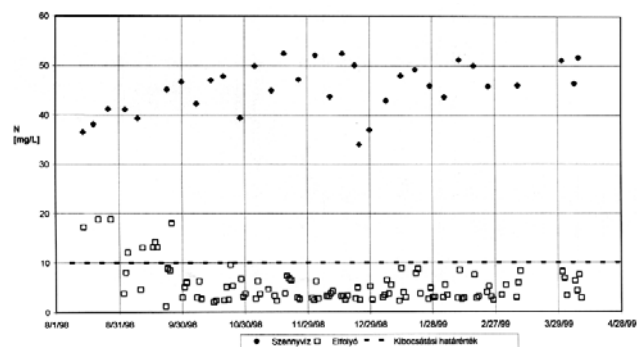
+ Minták száma: 120

++ A működés első hat hetében az iszapot optimális nitrifikációra állították be; ezek a számok nincsenek benne a teljes átlagban.

3. táblázat: A tisztított szennyvíz átlagos, havi jellemzői



2. ábra: A BOI₅ időbeni változása



3. ábra: Az összes-nitrogén koncentráció az idő függvényében

A nitrifikáció / denitrifikáció mértéke

A nitrifikáció mértékét (U) a következő képletből számolták:

$$U = \frac{TKN^+_{be} - /NH_3/_{ki}}{kg MLVSS} \cdot Q$$

Becslés: a befolyó TKN 1,3-szerese a befolyó NH₃-N-nek.

Ha feltételezzük, hogy a teljes nitrifikáció az aerob műtárgyban megy végbe, továbbá az átlagos ammónia koncentrációval és térfogatáramokkal számolunk (az üzemeltetés első hat hetét számításon kívül hagyva), állandósult állapotban a nitrifikáció mértéke:

$$U = 0,023 \frac{kg NH_3 \text{ oxidált}}{kg MLVSS \cdot nap}$$

A denitrifikáció mértékét (U_{DN}) a következő képletből számolták:

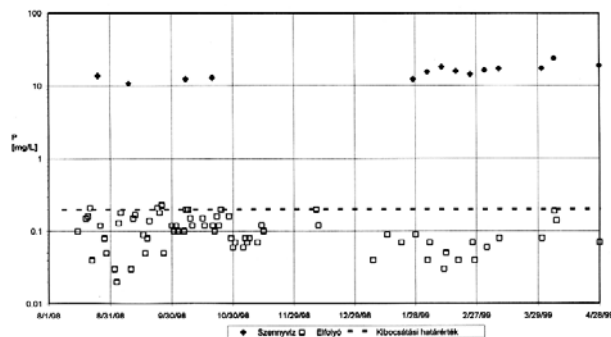
$$U_{DN} = \frac{/össz N/_{be} - /NO_x/_{ki} - /NH_3/_{ki}}{kg MLVSS}$$

Ha feltételezzük, hogy a teljes denitrifikáció az oxigénhiányos zónában megy végbe, továbbá az átlagos nitrogén koncentrációval és térfogatáramokkal számolunk (a működés első hat hetét számításon kívül hagyva), állandósult állapotban a denitrifikáció mértéke a következő:

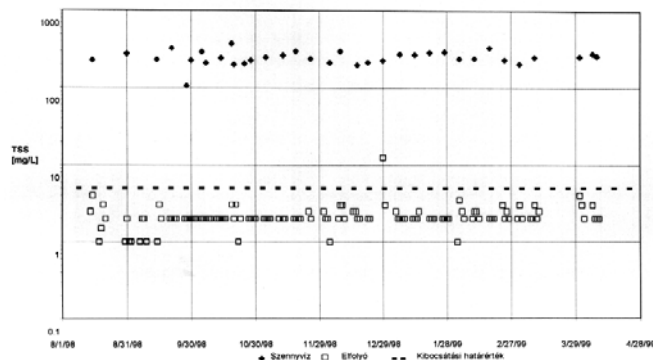
$$U_{DN} = 0,031 \frac{kg NO_x}{kg MLVSS \times nap}$$

Ez az érték a szennyvízre jellemző denitrifikációs értékek, 0,03 és 0,11 közé esik.

(Metcalf és Eddy, 1991.)



4. ábra: Az összes-foszfor koncentráció az idő függvényében



5. ábra: Összes lebegőanyag koncentráció az idő függvényében

Következtetések

A meglévő, kommunális szennyvíztisztító telep sikeresen lett átalakítva membrán bioreaktoros (MBR) eljárásra a tisztított víz minőségének javítása és a kapacitás növelése céljából.

A membrán bioreaktoros (MBR) eljárás a jelen cikk továbbításakor már kilenc hónapja üzemelt és értékes információt szolgáltatott ennek az innovatív technológiának a kommunális szennyvíztisztítás területén történő alkalmazásáról. A távozó víz összes-nitrogén és összes-foszfor tartalmára vonatkozó előírások igen szigorúak voltak, de a működés teljes időtartama alatt a tisztított víz minősége túlszárnyalta azokat. A távozó tisztított víz összes-nitrogén koncentrációja állandóan kevesebb volt 5 mg/l-nél, összes-foszfor koncentrációja pedig 0,2 mg/l-nél.

Hivatkozások

- Alkema T. (1996): Foszfor eltávolítás: „Mit tapasztalunk, és hogyan javíthatjuk a működést”. Előadták a WEAO 1996 évi konferenciáján.
 EPA Foszfor Eltávolítás Tervezési Kézikönyv (1987).
 EPA/625/1-87/001

- EPA Nitrogén Szabályozási Kézikönyv (1993).
 EPA/625/R-93/010
 Nagy tavak – Mississippi folyópart, Állami Egészségügy és Környezetvédelem (1990). *A szennyvíztisztítás ajánlott szabványai*, 1990-es kiadás. Kiadja az Albany (N.Y.) Egészségügyi Oktató Szolgálat.
 Hare R.W., Sutton P.M., Mishra P.N. és Janson A. (1990): „Olajos szennyvizek fejlett, membrános, biológiai tisztítása”. Bemutatták 1990-ben, a Víz-szennyezés Szabályozási Bizottságnak, Washingtonban.
 Jordan E.J., Senthilnathan P.R. (1996): „Fejlett szennyvíztisztítás, integrált membrános bio-eljárással”. Előadták az AIChE 1996-os, tavaszi találkozóján, New Orleansban.
 Knoblock M.D., Sutton P.M., Mishra P.N., Gupta K. és Janson A. (1994): „Membrános, biológiai reaktor rendszer, olajos szennyvizek tisztítására”. Víz és környezeti szemle: 66. kötet, 2 szám.
 Metcalf & Eddy (1991): *Szennyvíz tervezés, tisztítás, elhelyezés, újra-hasznosítás* 3. kiadás. McGraw Hill, New York.

„PANNON-VÍZ”

Víz- Csatornamű és Fürdő Rt.

9025 Győr, Bercsényi liget 1.

Tel/Fax : 96/329-047, 96/326-566



SZOLGÁLTATÁSAINK:

VÍZTERMELŐ KUTAK KAMERÁS VIZSGÁLATA

150 mm átmérő felett, 200 m mélységig, videófelvétel és szakvélemény készítése,

CSATORNAHÁLÓZATOK KAMERÁS VIZSGÁLATA

180 mm átmérő felett, videófelvétel, lejtésdiagram, mérési jegyzőkönyv és szakvélemény készítése



KA 0005

Vízvezető rendszerek

Kárelhárítási intézkedések gazdaságossága a közsatornában

Ellerhort Stephan, Schrödes Markus, Wöffen Bernhard (Aachen)

Összefoglalás

A közsatornák egyes részeinek károsodott állapota miatt egyre jobban növekszik a települési szennyvíz-beruházások volumenében a kárelhárítási intézkedések aránya. A kárelhárítási módszerek kiválasztásánál legtöbbször a beruházási költségek minimalizálására törekszenek. A minőségben és az élettartamban mutatkozó nagy eltérések miatt azonban a különböző eljárásoknál a másodlagos költségek sokkal nagyobb jelentőségűek. A cikk e problémakört közelebbről megvilágítja és bemutatja az előnyös kárelhárítási módszerek kiválasztásának műszaki, gazdaságossági szempontjait.

Kulcsszavak: vízvezető rendszer, csatornázás, károk, meghatározás, helyreállítás, gazdaságosság.

Különböző szennyvízkoncepciók összehasonlító ökológiai mérlege

Schneidmadl Joachim, Fuchs Stephan, Hillenbrand Thomas (Karlsruhe)

Összefoglalás

A hazai és nemzetközi területeken végzett különböző vizsgálatoknak célja a hosszútávú koncepciók és technikák kifejlesztése a háztartások tartományában, hogy a különböző szennyvíz-részáramok messzemenően elválasztásra kerüljenek. Az új és hagyományos koncepciók átfogó ökológiai értékelése kétségtelenül nehéz, és nem áll ez idáig rendelkezésre. Egy konkrét, éppen elkészült lakó- és irodaépület esetére az ökológiailag jelentős energia- és anyagáramokat megvizsgálták és azok összehasonlító értékelését az ökológiai mérleg módszerével végezték el, a példaként kiválasztott hagyományos szennyvíztisztítási rendszer és különböző alternatív rendszervariánsok figyelembe vételével. A vízhez kötődő környezeti kategóriákban a megvizsgált szennyvíztisztítási koncepciók üzeme jelentős mértékben kötődik a lakosság-specifikus Németországi összpoteálhoz. A mérlegelésbe bevont hagyományos szennyvíztisztító rendszer rosszabbnak értékelhető, mint az alternatív változatok. Ezzel szemben az energetikai források és a levegőbe történő emissziók a lakosság-specifikus Németországi összpoteálra vetített hányada kisebb és az eltérések a különböző rendszerek között jelentősen kisebbek. Az építési fázis ezekben a kategóriákban csak bizonyos mértékben járul hozzá az egyenértékű terheléshez.

Kulcsszavak: vízvezető rendszerek, változatok, összehasonlítás, ökológiai mérleg, leválasztás, részáram.

Kommunális szennyvíztisztítás

Kommunális szennyvíztisztító telepek energiafogyasztása a biológiai lépcső oxigéntartalmának függvényében

Bongards Michael (Gummersbach)

Összefoglalás

A kommunális szennyvíztisztító telep energiafogyasztásának relatív változását a biológiai lépcső oxigéntartalmának függvényében szimulációs modell segítségével prognosztizálták és elemezték a kísérleti eredményeket. A modell-

szimuláció és a kísérletek bizonyították, hogy a relatív változás nagymértékben független a befolyó szennyvíz paramétereitől. A kísérleti vizsgálatok során nyert eredményeket – érvényességük és hibahatáraik tekintetében – statisztikailag megvizsgálták. Eredményként egyszerű összefüggést kaptak, amely az elfogyasztott energiát az oxigénfogyasztás változásának függvényében adja meg. Ezáltal közvetlenül becsülhető a tervezés fázisában a beruházás hatékonysága a hatékony mérő- és szabályozó technika következtében.

Kulcsszavak: szennyvíztisztítás, kommunális, szimuláció, energiafogyasztás, függőség, oxigén, koncentráció

Hulladék/Szennyvíziszap

Reakciószegény hulladékok lerakási viselkedésének vizsgálata

Kölcsönhatások a hulladékok kombinációinál

Gallenkemper Bernhard (Münster), Becker Gabriele, Krummen Stefan, Wahl Georg, és Regener Dietmar (Ahlen)

Összefoglalás

A I. osztályú depóniák berendezésével a TASI (Technikai Útmutató a Települési Hulladékokhoz) alapján a reakciószegény hulladékok utólag is hatásos, környezet által elfogadható lerakása, kedvező költségek mellett megoldható. A Münsteri Műszaki Főiskola Hulladékgazdálkodási, Települési vízgazdálkodási és Környezetkémiai Laboratóriuma megvizsgálta, hogy el lehet-e érni, ill. hogyan lehet elérni a I. osztályú (DK I.) depóniák üzemére meghatározott célokat. Különös figyelmet fordítottak a szivárgó-víz terhelés minimalizálására. A megvalósított szivárgási- és depónia-szimulációs kísérletek azt mutatták, hogy az egyes hulladék fajták kölcsönhatásai miatt mind pozitív, mind negatív hatások jelentkeznek, amelyek a vizsgálatok csökkentésével a hozzájuk illeszthető ismervekre a TASI B függeléke szerint nem megfoghatók. A szivárgásokból és a DSR vizsgálatokból származó vizek koncentrációja sok megvizsgált hulladéknál jelentős szivárgó-víz terhelésre utal, így annak kezelése a technika mai állása szerint szükséges lenne.

Kulcsszavak: hulladék, elhelyezés, kombinációk, hatások, szivárgás

Ipari szennyvíz/berendezésre vonatkoztatott vízminőségvédelem

Légemissziók egy tejüzemi szennyvíztisztítóból

Filipkowska Zofia, Janczukowicz Wojciech, Krzemieniewski Mirosław és Pesta Jarosław (Olsztyn-Kortowo/Lengyelország)

Összefoglalás

Vizsgálat tárgyává tették, hogy egy tejüzemi szennyvíztisztítóból származó emisszió a berendezés környezetében lévő levegő tisztaságára milyen befolyást gyakorol és ennek következtében a terület csak korlátozottan használható-e? Itt az mutatkozott, hogy a mikrobiológiai és a gázformájú emissziók a szennyvíztisztító eleve niszapos berendezéséből nem forrásai a nagymértékű légszennyezésnek. A behatási terület nagyon kicsi és alapjában véve megegyezik az üzemi területtel.

Kulcsszavak: ipari szennyvíz, tejüzem, szennyvíztisztító telep, levegő, emisszió

Gazdaság

A szennyvízelhelyezés költségei és annak finanszírozása Németországban

Bäumer Karl Arno, Coburg Randolph C. (Aachen), Asmussen Silke (Hennef) és Stadtfeld Richard (Bonn)

Összefoglalás

Az ATV és a német Gáz- és Vízgazdálkodási Szövetség (BGW) 1999 évben közösen először dolgozta fel az általuk kibocsátott körkérdest a Németországi szennyvízelhelyezéssel kapcsolatban. Jelen tanulmány tartalmazza az eredmények összefoglalását. Súlypontot képviselt ennél a Németországban lévő szennyvíztisztítási költségek aktuális fejlődése, vizsgálat tárgyát képezték a beruházási költségek a szennyvízelhelyezésben, valamint a szervezési formákban.

Kulcsszavak: szennyvíz, elhelyezés, statisztika, adatok, gyűjtés, költségek, finanszírozás

Jog

A víz- és a talajvédelem egymásba illesztése a talajvédelmi jogban

Müggendorf Hans-Jürgen (Aachen)

Összefoglalás

A talajvédelmi- és a vízjog a helyreállításra kijelölt helyszínek esetében gyakran azonos szerepet kap. Az eddigi nagyszámú törvényben szabályozott talajvédelmi jogot nemrégén speciális törvényként fogadták el. 1999. március 1-én a Szövetségi- Talajvédelmi Törvény (BBodSchG) és 1999. július 17-én ennek végrehajtásához szükséges Szövetségi Talajvédelmi és Lerakási Rendelet (BbodSchV) életbe lépett és ezzel a jogi előírások az egész Szövetségben egységesítetté váltak. Mindkét anyag normatívák szempontjából egymással egyeztetett, összehangolt. Mindkét anyag profiljai és a talajvédelmi jogban történő besorolása más jogtartományokba különösen a vízjogba jó tájékozódást biztosítanak az olvasónak.

Kulcsszavak: jog, talajvédelmi törvény, kapcsolatok, vízjog

Vízépítés/Vízierőmű

Hallépcső - a vízgazdálkodás eddig leginkább elhanyagolt problémája

Adam Beate (Kirtorf-Wahlen)

Összefoglalás

A tudomány, mai állása a hallépcső szerkezete és építése vonatkozásában, csak odáig jutott előre, hogy az áramlással szembe irányuló átjáró építése lehetséges valamely duzzasztóműnél. Kérdés, hogyan lehet realizálni a halak veszélymentes vándorlását a vízierőműveknél és a kivezető építményeknél. A halak vándorlása vonatkozásában fennálló tudományos hiányosságok megnehezítik a halak lefelé irányuló (áramlással egyirányú) mozgását biztosító berendezések működőképes kialakítását. Ebből a háttérből az interdiszciplináris és intézményközi módon kialakított ATV-DVWK munkacsoport „A halvédelem – és az áramlással egyirányú halút berendezés” foglalkozik olyan munkalap kidolgozásával, melyben a halak lefelé való mozgása témájának mai helyzetét foglalja össze.

Kulcsszavak: vízépítés, vízfolyások, hal, védelem, munkalapok, ATV-DVWK

Vízfolyások/Talajok

A síkvidéki vízfolyások módosított fenntartásával kapcsolatos tapasztalatok

Bostelmann Rolf, Fuchs Ulrike, Hoffman Mirjam, Nadolny Ina (Karlsruhe) és Schrenk Georg (Hennef)

Összefoglalás

A vízfolyások karbantartásának szükségessége és kivitele a vízgazdálkodási és a természetvédelmi szervek részéről nagyon is különböző szempontokból kerülnek megítélésre. A célbeli elképzelések az utóbbi 20 évben a jog- és társadalompolitikai előnyök terén megközelíthetőek lettek. Különösen a síkvidéki vízfolyásoknál korábban a hullámtér karbantartása és jobb kihasználása érdekében messzemenő építési beavatkozásokra került sor, és így a kiépített állapot további fenntartása nem tette lehetővé a csökkentett élettér továbbfejlődését. A karbantartás korlátozásához ma vízgazdálkodási, valamint természetvédelmi érdek is fűződik. Jelen cikk bemutatja a kutatási és fejlesztési program eredményeit „Ökológiai aspektusok a mechanikai folyókarbantartásban” a DVWK-től sűrített formában. A tervben a síkvidéki alkalmazott eszközök (csónak, -kosár, -rézsúkaszáló) módosításra kerültek és az ökológiai felhasználásuk értékelésre került. Az eredményekből le kell vonni, hogy azokkal az élettér vizeinek feljavítását is el lehet érni és abból kifolyólag a fenntartási költségek csökkenthetőek lettek. A bemutatott példák a vízfolyások módosított fenntartására bizonyítják azt az utat, hogy lehet ökológiai, műszaki és gazdasági lehetőségeket ésszerűen egyesíteni.

Kulcsszavak: vízépítés, vízfolyás-kiépítés, folyóvizek, fenntartás, módosítás



KA 0007

Vízvezető rendszerek

Csatornafelújítás Solingen-ben Beszámoló a gyakorlatból

Manfred Müller (Solingen)

Összefoglalás

Szennyvízcsatornák helyreállítása keretében az előre nem látható eseményekkel szembeni óvintézkedésül olyan igények fogalmazódnak meg a vízvezető hálózatokra vonatkozóan, amelyek átalakításkor sok közösség és hálózat-üzemeltető részéről többé már nem finanszírozhatók. A Solingen-i Csatornamű a kb. 600 km-es csatornahálózatára a közcélú csatornázás karbantartására és felújítására olyan koncepciót alkalmaz, ami nemcsak a környezetbarát, hanem finanszírozható és így megvalósítható is.

Kulcsszavak: vízvezető rendszerek, csatornázás, állapot, értékelés, helyreállítás, költségek, koncepció, Solingen

Kommunális szennyvíztisztítás

Utóülepítő-medence numerikus modellei

Peter Krebs (Drezda), Martin Armbruster és Wolfgang Rodi (Karlsruhe)

Összefoglalás

Az utóülepítő medencékben végbemenő folyamatokat koncepcionális, egydimenziós vagy két- és háromdimenziós kiindulási feltételű áramlások leírásához szükséges egyenletek bevonásával lehet modellezni. A numerikus modellek a ráfordítás, kapacitás és alkalmazási területek tekintetében jelentősen különböznek. Koncepcionális modelleket és rétegmodelleket eleveniszap-modellekkel kell kapcsolni, hogy az iszaplerakódást az eleveniszapos és az utóülepítő medence között dinamikus terhelésnél is le lehessen írni. Ezzel szemben az áramlási- és turbulenciamodellezés a medencén belüli folyamatok vizsgálatára szolgál és az áramlási- valamint ülepedési viselkedés közötti kapcsolat megértését támogatja és előrejelzési módszerül szolgál a bevezetési, kivezetési és recirkuláció-elvételi tartományok kialakításához. A tanulmány az utóülepítőmedence-modellezés területén a fejlesztés és kutatás aktuális helyzetét mutatja be.

Kulcsszavak: szennyvíztisztítás, utóülepítő medence, iszap, eleveniszap, viselkedés, áramlás, modell, szimuláció

Ipari szennyvíz/Berendezésre vonatkoztatott vízvédelem

Eleveniszapos berendezés alkalmazása bemerülő mikroszűrős membránokkal söripari szennyvizek teljes biológiai tisztítására

Alexander P. Herrmann, Elisabeth Fünfroeken, Eckard Wefringhaus és Hans Dieter Janke (Saarbrücken)

Összefoglalás

Egy többhónapos kísérleti üzem keretében különböző, félüzemi mérethű bemerülő mikroszűrős membránokkal ellátott eleveniszapos berendezéseket alkalmaztak söripari szennyvíz teljesbiológiai tisztítására. Ezeket mind külön

(azaz az üzemi keverő- és kiegyenlítő medencéből származó nyers szennyvízzel, mint szubsztrátummal), mind pedig kétfokozatúan (előkapcsolt, félüzemű anaerob kísérleti berendezéssel) üzemeltették. Ezek biológiai tisztítási teljesítményét, a keletkező fölösiszap mennyiségét valamint az üzemieszköz-igényt (levegőbevezetés, pH-beállító vegyszer) különböző iszapterhelésnél vizsgálták.

Kétlépcsős üzemben, ha az iszapterhelés kisebb vagy egyenlő volt, mint 0,02 kg KOI/(kg TR x d), akkor a KOI, BOI₅ és NH₄-N vonatkozásában a törvényileg előírt minimális követelmények a söripari szennyvíz közvetlen bevezetése esetén biztosan betarthatók voltak. Kétségtelenül ennél az üzemmódnál a denitrifikáció a drasztikusan megnövekedett TKN : BOI₅-arány az anaerob fokozat elfolyóvíz minőségében nem volt tökéletes. A BOI₅-re vonatkoztatott fajlagos levegőbevitel a kétlépcsős üzemben hatszor nagyobb mint az egylépcsős üzemmódban és több mint egy nagyságrenddel volt a hagyományos eleveniszapos berendezésekre vonatkozó irányérték felett.

Kulcsszavak: ipari szennyvíz, söripár, biológiai tisztítás, eleveniszapos berendezés, mikroszűrés, membrán, bemező, előtisztítás, anaerob, utőtisztítás, aerob

Folyók/Talaj

A talajnedvesség-szimuláció befolyása teknős beszivárogtató rendszerek igazolásánál

Frank Schneider (Hannover)

Összefoglalás

A természetközeli, nem központi csapadékvíz-gazdálkodáshoz a teknős beszivárogtató rendszerek méretezése általában bizonyítási (kimutatási) eljárásban történik. A hosszú távú, folyamatos szimulációk keretében alkalmazott hidrológiai tározási modellek nagyon leegyszerűsített kiindulási feltételekkel rendelkeznek a teknős beszivárogtató rendszerek teknőágyai visszatartási hatásának leírásához. A teknő alja és a szivárogtató rendszer felszíne között a vízszállítás ezen felső rétegekbe ill. ezeken keresztül rendszerint állandó átszivárgási aránnyal ($k_r/2$) kerül figyelembe vételre. A KOSIM-MRS hidrológiai tározásmodell, ami össze lett kapcsolva a bfSIM talajnedvesség-moddal, amely a beszivárgást (infiltrációt) és átszivárgást (perkolációt) képezi le a talajrétegekben a víztartalom függvényében, mérési értékek segítségével hitelesíthető és érvényesnek nyilvánítható volt. Pozitívnak értékelendő és a talajnedvesség-szimulációból a teknőnél adódó térfogatmegtakarító hatás a modellösszehasonlításban bemutatható volt.

Kulcsszavak: vízelvezető rendszerek, csapadékvíz, teknős-beszivárogtató rendszer, talajnedvesség, teknő, szimuláció

Hidrológia, vízgazdálkodás

Biovizsgálati adatgyűjtés

Felvételek, értékelés, ajánlások

Klaus Diehl, Ulrich Hagendorf (Langen) és Jürgen Hahn (Berlin)

Összefoglalás

Biológiai vizsgálati eljárások (hal-, vizibolha-, világítóbaktérium- és algateszt valamint az öröklést változtató hatásokra vonatkozó teszt) révén a szennyvízben lévő anyagok káros hatása megismerhető. A Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal 1997-ben elindított egy "biotesztekre vonatkozó adatgyűjtést" 40 különböző szennyvíznek dokumentálásához a biotesztadatok helyzetéről és értékeléséről. A végső elemzésben a szennyvizek bevezetésére vonatkozó határértékeknek a mindenkori származási terület 90%-ára kellene irányulnia. Első vizsgálatnál bölcs mérési profilnak a hal-, vizibolha-, világítóbaktérium-, alga és umu tesztek látszanak. A további rutinmérésekben a tesztek számát arra a kétfőre lehetne korlátozni, amelyek a szennyvíz mindenkori származási területére a legérzékenyebben reagálnak.

Kulcsszavak: szennyvíz, értékelés, bioteszt, adatok, gyűjtés, származás

Jog

Hatékony állami bekötésfelügyelet Új elképzelés Rajna-Pfalz-ban

Stefan Hill és Winfried Schreiber (Mainz)

Összefoglalás

Egy "(Szennyvíz) Bekötésfelügyelet"-ről szóló irányelv kiadásával a Rajna-Pfalz-i állami vízgazdálkodási igazgatás az ellenőrzés végrehajtását szigorúan a vízgazdálkodás célkitűzéseire igazította. Az új elképzelés ahhoz vezetett, hogy az ellenőrzés intenzitását az egyedi esetben szükséges mértékhez igazították és összességében a ráfordítás jelentősen csökkent. A koncepció azt a célkitűzést is követi, hogy az államot a felügyelet területén tehermentesítse, a telepek üzemeltetőinek saját felelősségét erősítse és a telepfelügyeletet nagymértékben az önellenőrzésre állítsa be. Átfogó új jogi és szervezeti szabályozások révén Rajna-Pfalz-ban a felügyeleti feladatok hatékony végrehajtásának előfeltételeit megteremtették.

Kulcsszavak: vízgazdálkodás, felszíni vizek felügyelete, szennyvíz, bevezetés, felügyelet, önellenőrzés, Rajna-Pfalz

Gazdaság

Szennyvíztechnikai berendezések használati időtartamának jelentősége a költségek szempontjából

Wolfgang Wagner (Saarbrücken)

Összefoglalás

A "használati időtartam" paraméternek műszaki berendezésekre vonatkozó költségösszehasonlító számításokban jelentős befolyása van és egy rendszer mellett vagy ellene szóló döntést befolyásolhat. Az idevágó irodalom kiértékelése nagy bizonytalanságokra mutat rá a használati időtartam megállapításában. A Saar-i Szennyvízelvezetési Szövetség berendezéselemzése mutatja, hogy az eddig szokásos kiindulási feltételek sok esetben jelentősen a tényleges használati időtartamok alatt maradnak. Szerző felállítja a tézist és analitikai megfigyelések segítségével támasztja alá a költségösszehasonlító számításokban a tisztítóberendezésekre az eddig szokásosnál nagyobb használati időtartam elfogadtatásának igazolását.

Kulcsszavak: gazdaság, elemzés, használati időtartam, szennyvíztechnikai berendezés, költségösszehasonlító számítás

Gazdaság / ATV-DVWK-GFA Kutatási alapok

Rohanó vízmozgás 45°-os ívvel kialakított aknában

Willi H. Hager (Zürich/Schweiz) és Corrado Gisonni (Aversa/Italien)

Összefoglalás

Egy előzetes projektre épülve végezték a rohanó vízmozgás hidraulikai vizsgálatát könyökbővítéssel ellátott, hajlat-tal kialakított aknában. Bemutatásra kerül, hogy a 45°-os irányelterelésű szabványos műtárgy ezen egyszerű bővítése révén az átfolyási kapacitás a 90°-os hajlatúéval azonos lesz. Hasonlóképpen foglalkoztak az aknaledés befolyásával is, és ezen kísérleti vizsgálat eredményeit tipikus példákra keresztül tárgyalják.

Kulcsszavak: vízelvezető rendszerek, csatornázás, ívvel kialakított akna, kifolyás, hidraulika



ÚJ NÉMET ÚTMUTATÓ AZ EGYLÉPCSŐS ELEVENISZAPOS RENDSZEREK TERVEZÉSÉHEZ (ATV A-131)

Rolf Kayser Adolf-Bingel-Str. 2, D 38116 Braunschweig

Összefoglalás

A német „Egylépcsős eleveniszapos berendezések tervezése” című, ATV A-131 munkafüzetet 1999-ben módosították. A tervezési előírás változtatásait 1991-től körvonalazták. A nitrogén és foszfor-eltávolítású szennyvíztisztító telepek tervezési folyamatai kerültek leírásra. (1999-ben az Elsevier Science Ltd. publikálta az IAWQ ösztönzésére. Minden jog fenntartva.)

Bevezetés

Az ATV által 1991-ben kibocsátott egylépcsős eleveniszapos rendszerek tervezésére vonatkozó ajánlás (ATV, 1991) az utóbbi évek során korszerűsítésre, felülvizsgálatra került. Az új útmutató 1999 áprilisában került kibocsátásra. Részletesen tartalmazza a nitrogén és foszfor eltávolításának tervezésére vonatkozó, évtizedünkben összegyűjtött tapasztalatokat. Az 1991 évi ATV-131 útmutatásai az 5000 vagy annál nagyobb lakos-egyenértékű ilyen típusú szennyvíztisztítók tervezésére voltak irányadók. Az 1999 évi javaslatban (ATV, 1999) a korábbi verzióhoz képest közreadott főbb változtatások a következők:

- az új javaslat nem tartalmazza a fajlagos vízhozamok és szennyvízterhelések tervezését; ezek számítására a közeljövőben az ATV külön tervezési javaslatot dolgoz ki,
- a biológiai többletfoszfor-eltávolítás tervezésén túl az aerob szelektor kiépítésére vonatkozó irányelveket is tartalmazza,
- új összefüggések alapján pontosítja a denitrifikációs kapacitást, valamint az oxigénigény nagyságát,
- lehetővé teszi az iszapfozom és oxigénigény számítások KOI alapján történő elvégzését,
- pontosítja az utóülepítő tervezését.

A javaslatokhoz megfelelő szoftvert is biztosítani fog a számítások elvégzésére.

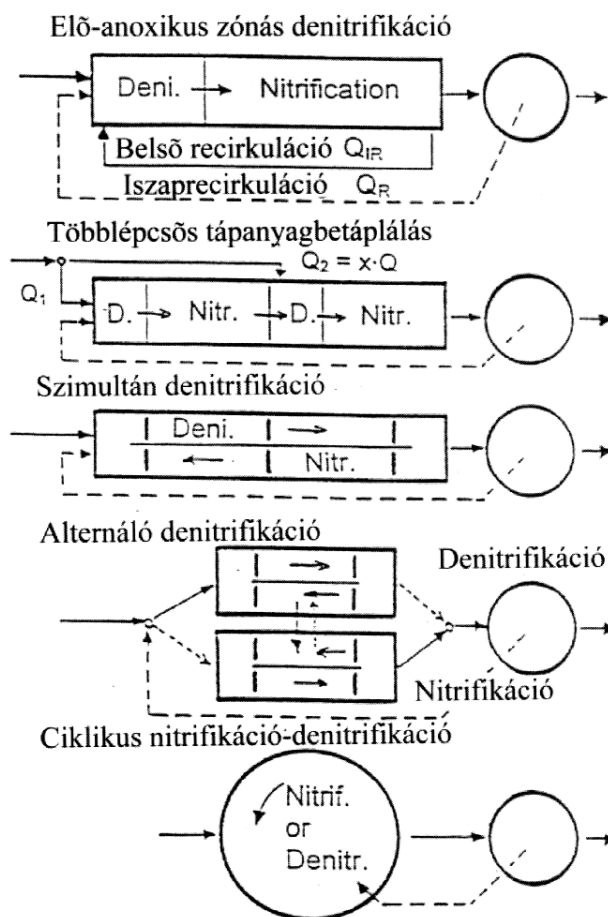
A tervezés menete:

A tervezés meghatározó lépése az iszapindex (SVI) megválasztása, mivel az mind az utóülepítő, mind a biológiai reaktorok méretét befolyásolja. Mivel az utóbbi nemcsak a szennyvíz jellemzőinek, de a folyamat kiépítésének és az iszapkornak (SRT) is függvénye, a technológia (folyamat) kiválasztása ezeket megelőzően kell, hogy történjen. A tervezés következő lépése az utóülepítő

méretezése, melynek során az iszaprecirkuláció folyadékárama (RAS), annak lebegőanyag koncentrációja, és végül a reaktorok iszapkoncentrációjának (MLSS) számítása is sorra kerül. A biológiai rendszer méretezése, és az iszapfozom számítása az oxigénigény pontosításával egyetemben ezt követően történhet. A tervezés utolsó lépése a reaktorok iszap koncentrációjának (MLSS) változtatása, optimalizálása lehet a reaktorok és az utóülepítő medence méreteinek csökkentése érdekében.

A technológia kialakításának lehetőségei

A Németországban nitrogén-eltávolításra alkalmazott főbb technológiai megoldások sematikus kialakítását az 1. ábra mutatja:



1. ábra. Nitrogéneltávolító eljárások

1. *Elődenitrifikáció.* A nitrátot a megoldásnál a recirkulált iszap és a belső recirkuláció szállítja vissza az elődenitrifikáló reaktorzónába (Ludzak -

Ettinger, 1962). Fontos ennél a változatnál a nagy oxigénkoncentráció elkerülése a nitrifikáló reaktor elfolyó vizében. Mind a denitrifikáló, mind a nitrifikáló reaktor több kaszkádból is kiépíthető. A nitrát eltávolításának mértékét a megoldásnál a belső recirkuláció nagysága határozza meg.

2. *Több ponton történő nyersszennyvíz betáplálással kialakított "többlepcsős denitrifikáció"* (Miyaji et al., 1980). Gyakorlatilag több elődenitrifikációs egység sorba kapcsolása, melyeknél az iszap recirkuláltatása az utóülepítőből az első anoxikus zónába történik. Az iszapkoncentráció ilyenkor az első lépcsőben nagyobb, mint az azt követő egységekben. A szennyvíz-betáplálás az egyes anoxikus zónákba folyamatosan csökkenő nagyságú, a közel állandó iszapterhelés fenntartása érdekében. A második anoxikus zónába vezetett folyadékáram, valamint az utóülepítőből történő recirkulációs áram nagysága szabályozza az ilyen megoldásnál a tisztított, elfolyó víz nitrát-koncentrációját. Belső recirkuláció ezeknél a rendszerek-nél rendszerint nincs.

3. *Szimultán nitrifikáció - denitrifikáció* az, melyet általában folyamatos körforgásban tartott, csatornaszerűen kialakított, vízszintes, vagy függőleges tengelyű levegőztetőkkel ellátott -carousel- rendszerekben alkalmaznak (Matsché, 1977). A levegőztetés az ilyen rendszerek-nél szabályozott (pl. on-line nitrát monitoring alkalmazásával), hogy biztosítsa a szükséges nitrifikációs és denitrifikációs térfogatokat a rendszerben. A reaktorokban, a levegőztetőknél túl, általában keverők beépítése is szükséges a kis terhelésű időszakokban történő iszap kiülepedés megakadályozása céljából.

4. *Alternáló nitrifikáció - denitrifikáció* (Tholander, 1977). Két célszerűen összekapcsolt carousel medence, alternáló szennyvíz betáplálással és iszapelvéttel (nyers szennyvíz bevezetés és iszapos víz elvezetés). A betáplálási ciklusok döntő részében az egyes medencék denitrifikációt végeznek, miközben azokból az iszapos víz a másik, ebben a ciklusban levegőztetett medencébe folyik át. Onnan az iszapos víz az utóülepítőre kerül. Ennek megfelelően mindegyik körmedencét levegőztetéssel és keveréssel egyaránt el kell látni. A folyadékáramlás irányát szabályozó szelepek, vagy torló-elemek rendszerint idővezéreltek.

5. *Ciklikus nitrifikáció - denitrifikáció* esetében a levegőztetéssel és attól független keveréssel ellátott reaktor folyamatos szennyvíz- és recirkuláltatott-iszap betáplálással üzemel. A levegőztetés periodikus ki-be kapcsolása teszi lehetővé az ilyen megoldásnál a nitrifikációt és denitrifikációt.

Valamennyi változat előülepítővel és anélkül is üzemeltethető. Az utóbbi esetben a teljes iszapmennyiség

hatékonyabb stabilizálására kerül sor (huzamos idejű levegőztetés).

A **foszfor eltávolítása** érdekében valamennyi nitrogén-eltávolító megoldás tartalmazhat egy a technológiai sor elejére beépített kevert anaerob eleveniszapos medencét, a biológiai többletfoszfor eltávolítás iniciálására. Mivel feltételezik, hogy az anaerob medencében mintegy 0,5-0,75 óra hidraulikai tartózkodási időt kell biztosítani (szennyvíz és recirkuláltatott iszap együttes hozamára számolva) a mintegy 0,02-0,025 mg P / mg BOI₅, illetőleg 0,01-0,0125 mg P / mg KOI fajlagos foszfor eltávolításhoz, a további foszformennyiség eltávolítására szimultán vegyszeres foszfor kicsapatás alkalmazandó a megkívánt határértékek biztosítása érdekében. A kevert anaerob reaktorok hasonló hatásúak a fonalasok visszazoritására, mint az aerob szelektorok.

Ha a szennyvízben nagy részarányban van könnyen bontható KOI, illetőleg nagy a KOI / N arány, célszerű aerob szelektor beépítése is a fonalasok elszaporodásának visszazoritása céljából. A szelektor térfogatát úgy célszerű tervezni, hogy abban a fajlagos térfogati BOI₅ terhelés 10 kg BOI₅ / m³ · nap, vagy ennek megfelelően 20 kg KOI / m³ · nap érték legyen.

Sajnos sem az anaerob reaktor, sem az aerob szelektor nem alkalmas az olyan fonalasok elszaporodásának meggátolására, mint a *Microthrix Parvicella*.

Miután a biológiai tisztítási megoldás kiválasztásra került, az utóülepítő tervezésének első lépése az iszapindex megválasztása.

1. táblázat. Az iszapindex (SVI) választható értéktartománya.

	Ipari szennyvíz hatása	
	kedvező	kedvezőtlen
Nitrifikációval és denitrifikációval, vagy azok nélkül	100-150	120-180
Huzamos idejű levegőztetés (részleges iszapstabilizáció)	75-120	100-150

A kisebb érték akkor választható, ha

- nincs előülepítő a rendszerben,
- anaerob szelektor vagy anaerob zóna előzi meg a nitrifikáló - denitrifikáló szakaszokat,
- a reaktor együttes kaszkádszerűen van kiépítve (erősen csőreaktor jellegű).

A tervezés következő lépései:

- az iszapsűrűsödés időtartamának becslése az utóülepítő alsó rétegeiben ($t_{th} \leq 2,5$ óra), továbbá az utóülepítő fenekén várható iszapkoncentráció számítása az iszapsűrűsödés idejének és az iszapindexnek a függvényében:

$$X_{bot} = \frac{1000}{SVI} \cdot \sqrt[3]{t_{th}} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1)$$

– az eleveniszap koncentráció a recirkuláltatott iszapban $x_r \sim 0,7 \cdot x_{bot}$ értéknek vehető kotrólapos iszap eltávolítás, és $x_r \sim 0,5-0,7 \cdot x_{bot}$ értéknek vehető vákuumos iszapelvétele esetére,

– a recirkuláltatott iszap folyadék árama $\frac{Q_R}{Q} \leq 0,7-1,0$, az iszap koncentrációja pedig az utóülepítő belépő pontjára $XF = (X_R \cdot Q_R) / (Q + Q_R)$ összefüggés alapján számolható ki.

Az utóülepítő felülete ($A_{ST} - m^2$) a következő képlettel számítható:

$$A_{ST} = \frac{Q}{q_A} = \frac{Q \cdot X_F \cdot SVI}{q_{SF}} \quad (m^2) \quad (2)$$

Az utóülepítő felületi terhelését négyzet alakú medencék esetében $q_{SF} \leq 500 \text{ l/m}^2 \text{ óra}$ értéknek vehetjük, de a bukóélnél a folyadékterhelés (q_A) nem haladhatja meg az $1,6 \text{ m/óra}$ értéket. Az így számított folyadékterhelés (maximum) nedves időszaki vízhozamra számítandó.

Az ülepítő teljes mélysége ($h_{tot} - m$) szögletes utóülepítő medencéknél a következő képlettel számítható:

$$h_{tot} = 0,5 + q_A \cdot (1 + Q_R / Q) \cdot \left(\frac{0,5}{1 - X_F \cdot SVI / 1000} + \frac{0,45 \cdot X_F \cdot SVI}{500} + \frac{X_F \cdot t_{th}}{X_{bot}} \right) \quad (m) \quad (3)$$

A medence mélysége legalább 3 m kell, hogy legyen. Az oldalfalagnál mérhető vízmélység kör alaprajzú utóülepítő medencék esetében legalább $2,5 \text{ m}$ kell, hogy legyen. A 2 és 3 egyenletekből egyértelmű, hogy mind az utóülepítő felülete, mind annak mélysége nő a 30 perces ülepedési térfogat ($SSV_{30} = X_F \cdot SVI - \text{ml/l}$) növekedésével. Mivel gazdasági megfontolásból célszerű nagy iszapkoncentrációt tartani a reaktorokban, az iszapindex különösen fontos paraméter. A tervezési útmutató ezen túl az iszapgyűjtő rendszer, és a függőleges áramlású ülepítők tervezésére is megfelelő útmutatást ad.

A biológiai medencék méreteinek számítása.

A nitrogén-eltávolítás tervezésénél az első lépcső a denitrifikálható nitrát mennyiségének (koncentráció) számítása ($S_{NO3,D} - \text{mgN/l}$) száraz idejű vízhozam esetére.

$$S_{NO3,D} = C_{N,O} - C_{orgN,E} - S_{NH4,E} - S_{NO3,E} - X_{orgN,WAS} \quad (mg/l) \quad (4)$$

A következő értékek vehetők figyelembe a fenti számításához:

- az elfolyó víz szerves nitrogén koncentrációja ($C_{orgN,E} = 2 \text{ mg/l}$),
- az elfolyó víz ammónium-nitrogén koncentrációja ($S_{NH4,E} = 0-2 \text{ mg/l}$),
- a keletkező biomasza által felvett nitrogén mennyiség ($X_{orgN,WAS} = 0,05 C_{BOI5,0}$ illetve $0,025 C_{KOI,0}$).

Az elfolyó víz nitrát koncentrációját a befogadó határértéke, valamint a határérték ellenőrzési módja (napi átlagminta, vagy két órás minták átlaga) határozza be. A német előírások szerint a befogadó határértékének ($S_{inorgN,E,req}$) betartásához, ami 18 mg/l (napi átlagminta-ban), javasolható, hogy a napi átlagos elfolyó víz nitrát koncentrációját ($S_{NO3,E}$) a határérték $60-80 \%$ -ára válasszák. Mivel a befolyó víz BOI_5 koncentrációja ismert érték, a szükséges denitrifikációs kapacitás ($S_{NO3,D} / C_{BOI5,0} - \text{mgN/mg } BOI_5$) kiszámítható.

A tervezési útmutató egyenleteket ad meg a denitrifikációs kapacitás számítására, az oxigén felvételi sebesség, és az anoxikus reaktortér hányad (V_D/V) függvényében, amelyből a nagyüzemi vizsgálatoknak megfelelően a **2. táblázat** adatai javasolhatók, az anoxikus térfogat tervezésére.

2. táblázat: A relatív tápanyag ellátottság ($S_{NO3,D} / C_{BOI5,0}$) függvényében javasolható anoxikus medencetér fogathányad (V_D/V 10-12 °C hőmérséklet tartományra).

V_D/V	$S_{NO3,D}/C_{BOI5,0}$	
	Elődenitrifikáció és azzal ekvivalens folyamat*	Szimultán és váltakozó denitrifikáció*
0.2	0.11	0.06
0.3	0.13	0.09
0.4	0.14	0.12
0.5	0.15	0.15

* az anaerob zónába belépő nitrát a biológiai többletforrás eltávolítás esetén teljes mennyiségben eltávolításra kerül a szennyvízhőmérséklettől függetlenül.

Nem célszerű, illetőleg nem javasolt 50% -os anoxikus reaktortérfogat hányadnál nagyobb érték választása. Olyan esetben, ha a szennyvíz összetétele kedvezőtlen, viszonylag nagy az eltávolítandó nitrát/ BOI_5 / arány ($S_{NO3,D}/C_{BOD,0} 0,15$), célszerű az üzemeltetésnél külső szerves szénforrás adagolása. Annak kiépítését azonban a beüzemeltetést követő időszakra célszerű csak tervezni, amikor is az üzemi eredmények ténylegesen bizonyítják szükségességét.

Az iszapkort ($t_{ST} - \text{nap}$) az anoxikus térfogathányad (V_D/V) segítségével kell kiszámítani a **2. táblázat** értékeinek megfelelően.

$$t_{S,T} = SF \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15-T)} \cdot \frac{1}{1 - (V_D/V)} \quad (\text{nap}) \quad (5)$$

15 fokos szennyvíz hőmérséklet esetén $3,4$ napos iszapkor (vagy 10 °C esetén $5,55$ nap) biztosítja, hogy megfelelő mennyiségű nitrifikáló mikroorganizmus rendelkezessen a biológiai reaktorban. Állandó nitrogénterhelés és minden különösebb inhibitor hatás jelenléte nélkül ilyen iszapkorokkal teljes nitrifikáció biztosítható. A biztonsági tényező SF elsődlegesen a napi nitrogénterhelés-fluktuáció hatását veszi figyelembe, de bizonyos mértékben számításba veszi az autotrófok maximális növekedési sebességének fluktuációját, és a rövid idejű hő-

mérséklet és pH ingadozás hatását is. Célszerű az SF = 1,8 értéket választani 20 ezer lakos egyenértéknél kisebb, és SF = 1,45 értéket 100 ezer lakos egyenértéknél nagyobb kapacitású üzemek esetében. A köztes tartományra interpolációval kell meghatározni SF értékét.

Az 5. egyenletben a hőmérséklet (T - °C) a nitrogén-eltávolítás körülményeinek megfelelően választandó. Németországban pl. az ammónium-nitrogén eltávolítását csak 12 °C feletti hőmérsékleten kell biztosítani. Ha a levegőztetett iszap - víz elegy hőmérséklete a minimum-hőmérséklet esetén nagyobb mint 12 fok, az év leghidegebb 2 hetének átlagos hőmérsékletét kell figyelembe venni az iszapkor számításánál. Rendszerint azonban a 12 °C-nak megfelelő iszapkorral célszerű számítani. Ha a téli időszakban a reaktor vízhőmérséklete 9 °C alá csökken, a denitrifikáló reaktorhányad csökkentésével meggátolható még a nitrifikáló kimosódása.

$$V_D/V = 1 - \frac{SF \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15-T)}}{t_{S,12}} \quad (-) \quad (6)$$

Nagyon kis szennyvíz-hőmérséklettel üzemelő tisztítóknál negatív anoxikus térfogat is adódhat a számításból ($V_D/V < 0$). Ilyenkor az összes térfogatot levegőztetni kell ($V_D/V = 0$). A biztonsági tényező ilyen esetben SF = 1,2 értékre csökkenthető. Ha ekkor is negatív hányad adódik, illetőleg ez sem segít, az iszapkort tovább kell növelni.

Kis szennyvízhőmérséklet esetén az anoxikus térfogat nitrifikációra történő hasznosítása levegőztetésre alkalmas műtárgyak beépítését igényli az elkülönített anoxikus zónába.

Részleges aerob iszapstabilizáció esetén az iszapkor 25 naposra történő megválasztása javasolt ($t_{TS} = 25$ nap). Ez 20 napra is csökkenthető, ha az iszap utóstabilizálására, például iszapmedencében történő további kezelésére is sor kerül.

A napi iszapozam (WAS_d - kg száraz szilárd anyag/nap) külön számolandó a karbon ($WAS_{d,C}$) és a foszfor eltávolításra ($WAS_{d,P}$).

$$WAS_d = WAS_{d,C} + WAS_{d,P} \quad (7)$$

A száraz idejű vízhozam (Q_d - m³/d), az érkező szennyvíz BOI₅ koncentrációja (C_{BOI_5} - mg/l), a nyers szennyvíz lebegőanyag koncentrációja (X_0 - mg/l) figyelembevételével a szerves szennyezőkből keletkező napi iszapozam ($WAS_{d,C}$):

$$WAS_{d,C} = Q_d \cdot \frac{C_{BOD,0}}{1000} \cdot \{0,75 + 0,6 \cdot$$

$$\cdot \left(\frac{X_0}{C_{BOD,0}} \right) - \frac{(1-0,2) \cdot 0,17 \cdot 0,75 \cdot t_{TS} \cdot 1,072^{(T-15)}}{1 + 0,17 \cdot t_{TS} \cdot 1,072^{(T-15)}} \}$$

(8)

A fenti egyenletben szereplő konstansok Hartwig (1993) vizsgálatai alapján megadott értékek. Az eltérés a

korábbi, 1991-ben kiadott irányelvek iszapozam-számításának eredményétől elhanyagolható a $WAS_{d,C}$ tekintetében.

$$WAS_{d,P} = Q_d \cdot (3 \cdot X_{P,BioP} + 6,8 \cdot X_{P,prec,Fe} + 5,3 \cdot X_{P,prec,Al}) / 1000 \quad (9)$$

A számítás feltételezi, hogy egységnyi tömeg többlet-foszfor biológiai eltávolítása 3-szor akkora tömegű többlet iszapozam keletkezését jelenti. A 6.8 és 5.3 értékek a Fe³⁺ és Al³⁺ sókkal történő kicsapatás iszapozamának sztöchiometriai faktorai. A biológiailag és vegyszeresen eltávolítandó foszfor is mg/l P koncentrációban helyettesítendő a 9. egyenletben.

A biológia rendszerben tartandó iszaptömeg (M_{SS} - kg) a tervezés hőmérsékletén pl. 12 °C -on az alábbi egyenlettel számolandó:

$$M_{SS} = WAS_d \cdot t_{S,12} \quad (10)$$

$$V = \frac{M_{SS}}{X_{AT}} \quad (11)$$

Az iszapkoncentráció a levegőztető medencében (X_{AT} - kg/m³) a többlépcsős betáplálás esetét kivéve mindenütt megegyezik az utóülepítőbe belépő iszapkeverék koncentrációjával: $X_{AT} = X_F$. Több ponton történő nyersszennyvíz betáplálás esetén a reaktorok átlagos iszapkoncentrációja (X_{AT}) 15-20 %-kal is meghaladhatja az utóülepítőbe befolyó iszapkeverék (X_F) lebegőanyag tartalmát a betáplálási lépcsők számától és a szennyvíz egyes betáplálási pontokra történő megoszlásától függően.

Az oxigénigényt, vagy oxigénfelvétel sebességét a tervezésnél külön kell számolni a szén és nitrogén eltávolítás oxigénfelvételére. Az új irányelvek egyik legfőbb változása egy realisabb oxigénigény meghatározás a szerves szén oxidációjához ($OU_{d,C}$ - kg/nap) (Hartwig, 1993):

$$OU_{d,C} = Q_d \cdot \frac{C_{BOD,0}}{1000} \left(0,56 + \frac{0,15 \cdot t_S \cdot 1,072^{(T-15)}}{1 + 0,17 \cdot t_S \cdot 1,072^{(T-15)}} \right) \quad (12)$$

Mivel a számítás a KOI/BOI₅=2 arány feltételezésével történik, javasolható, hogy nagyobb KOI/BOI₅ aránnyal rendelkező szennyvizek esetén a KOI alapján is ellenőrizzék a számítást.

A csak nitrifikálható nitrogén napi oxigénigénye ($OU_{d,N}$ - kg/nap), illetőleg a denitrifikálásra is kerülő nitrogénhányad oxigénigénye ($OU_{d,D}$ - kg/nap) a következőképpen számítandó:

$$OU_{d,N} = Q_d \cdot 4,3 \cdot (S_{NO_3,D} - S_{NO_3,ZB} + S_{NO_3,AN}) / 1000 \quad (13)$$

$$OU_{d,D} = -Q_d \cdot 2,9 \cdot S_{NO_3,D} / 1000 \quad (14)$$

Feltételezve, hogy az oxigénigénynek a szerves szén oxidációja, valamint a nitrifikáció tekintetében is napi csúcsterhelése van, melyet f_C és f_N tényezőkkel vesszünk figyelembe, az órai maximális oxigénigény (OU_H -kg/óra) a következő:

$$OU_H = \{f_C \cdot (OU_{d,C} - OU_{d,D}) + f_N \cdot OU_{d,N}\} \div 24 \quad (15)$$

A szerves szén eltávolítás és nitrifikáció maximumait figyelembevevő súlyozó tényezők csakis kísérletileg, vagy dinamikus szimulációval határozhatók meg. A nitrifikáció tekintetében ez a tényező közelítőleg az órai csúcstérték, és a napi átlag hányadosának vehető. Ha nem ismeretesek adott esetben az utóbbi tényezők, azok a tervezési útmutatóban lévő táblázatból is választhatók. Mivel a nitrifikáció maximális oxigénigénye rendszerint megelőzi a szerves szén oxidációjának csúcsterhelését, javasolt két külön számítást végezni: az egyiket $f_C=1$, és $f_N=f_N$ értékekkel, míg a másikat $f_C=f_C$ és $f_N=1$ értékkel. Közülük a nagyobb értéket kell az oxigén maximumaként, s annak megfelelően a levegőztető berendezések kapacitásának tervezéséhez figyelembe venni.

Mivel a fentiek szerint számítható oxigénigény mintegy 20%-kal kisebb, mint az 1991-es útmutató alapján számítható érték, fontos az utóbbi irányelvben javasolt értékkel tervezni a maximális oxigénbeviteli igényt a túllevégőztetés elkerülésére.

Mélylevégőztetés esetén, finombuborékos levegőbevitelnél a kisebb széndioxid kifúvatás eredményeként a pH az inhibíciós tartományban is csökkenhet. A tervezési javaslat megfelelő táblázatot tartalmaz a várható pH számítására (Nowák, 1996) az oxigénátadás hatékonysága, valamint a maradó alkalinitás függvényében.

KOI alapján történő számítások.

A tisztításra érkező szennyvíz KOI-je ($C_{KOI,0}$) több frakcióból tevődik össze. Egyrészt oldott KOI ($S_{KOI,0}$ a 0,45 mikron pórusméretű membránon átszűrődő rész), másrészt lebegő KOI ($X_{KOI,0} = C_{KOI,0} - S_{KOI,0}$). A $C_{KOI,0}$ tovább bontható, egy biológiailag oxidálható oldott KOI ($S_{KOI,bio,0}$), és egy biológiailag oxidálható lebegő KOI ($X_{KOI,0}$), frakciókra, valamint inert, biológiailag nem bontható oldott KOI ($S_{KOI,inert,0} = S_{KOI,inert,E} \sim 0.05 - 0.1 C_{KOI,0}$) és egy inert lebegő KOI ($X_{KOI,inert,0} \sim 0.2 - 0.35 \cdot X_{KOI,0}$) frakcióra.

Az iszaphozam ($X_{KOI,BM}$) számítása az $Y=0,67$ és a $b = 0.17 \cdot 1.072^{(T-15)}$ összefüggés alapján történik (Henze és társa, 1987). A sejtelhalás következtében jelentkező veszteségnek mintegy 20 %-a marad a tovább már nem bontható iszaphozamban ($X_{KOI,BM,inert}$). A naponta elvételre kerülő fölösiszap ($X_{KOI,WAS}$) számítása a következőképpen történhet:

$$X_{KOI,WAS} = X_{KOI,inert,0} + (C_{KOI,0} - S_{KOI,inert,0} - X_{KOI,inert,0}) \cdot Y \cdot \frac{1}{1 + b \cdot t_s} + 0.2 \cdot X_{KOI,BM} \cdot t_s \cdot b \quad (16)$$

A KOI egyenértékben kifejezett fölösiszap átszámítása iszaptömegre az 1,45 mg KOI/mg szerves lebegőanyag fajlagos értékkel történik, figyelembe véve, hogy a szerves anyag az elvételre kerülő iszapnak csak 80 %-a. (A nyers szennyvízzel érkező szerves lebegőanyag mennyiség is a fölösiszapba kerül.)

A KOI eltávolításhoz történő oxigénfelvétel vagy igény (OU - mg O_2/l):

$$OU = C_{KOI,0} - S_{KOI,inert,E} - X_{KOI,WAS} \quad (17)$$

A KOI alapján történő számítás nagy problémája, hogy a tisztítandó szennyvíz oldott KOI szennyezettsége ($S_{KOI,0}$) nem rutinszerűen mért jellemzője a szennyvizeknek.

Összefoglaló

Az A 131 számú ATV tervezési útmutató tudományos ismereteken és gyakorlati tapasztalatokon alapuló "sztatikus" tervezési eljárás eleveniszapos szennyvíztisztító méretezéséhez. A tisztítandó szennyvíz napi 2 maximummal jelentkező fluktuációját - ami a kommunális szennyvíztisztítóknál általános - a tisztított szennyvíz ammónia és nitrát koncentrációjának tervezéséhez megfelelő biztonsági faktoriall kell figyelembe venni. Az oxigénfelvételt a levegőztetés tervezéséhez hasonlóan ketős napi terhelési maximum alapján kell számításba venni. Ha a reggeli és a délutáni csúcsok nagyobbak mint az átlagos érték, célszerű az eredményeket dinamikus szimulációval ellenőrizni.

Számottevő szezonális terhelésingadozás esetén a tervezést a megfelelő terhelési csúcsoknak megfelelően kell végezni. Előfordulhat, hogy a levegőztető medence térfogatát a téli időszak kisebb terhelésére és alacsonyabb hőmérsékletére kell tervezni, ugyanakkor az oxigénigény a nyári időszakban a télinél nagyobb értékkel is jelentkezhet.

Az utóülepítőt minden esetben a legnagyobb csapadékhozamú folyadékterhelésre kell tervezni. Nagyon fontos megfelelően összehangolni a záporvíz-tárolók, a csatornarendszer és a szennyvíztisztító hidraulikai terhelhetőségét, mivel a biológiai reaktorok túlterhelése a kritikus időszakokban elégtelen tisztítást eredményezhet.

Irodalomjegyzék

- ATV(1991), Arbeitsblatt A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 Einwohnerwerten. GFA, Hennef.
 ATV(1999), Entwurf Arbeitsblatt A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, GFA, Hennef.
 Hartwig, P. (1993): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen mit Stickstoff- und Phosphorelimination. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover. Heft 84.
 Henze, M.; Grady, C.P.L.Jr.; Gujer, W.; Marais, G.v.R. and Matsuo, T. (1987): Activated Sludge Model No. 1. IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWPRC, London.

Ludzack, F.J. and Ettinger, M.B. (1962): Controlling operation to minimize activated sludge effluent nitrogen. *Journal WPCF* 35, 920-931.

Matsché, N.F. (1977): Removal of nitrogen by simultaneous nitrification-denitrification in an activated sludge plant with mammuth rotor aeration, *Prog. Wat. Tech.*, 8 (4/5) 625-637.

Mijaki, Y.; Iwasaki, M. and serviga, Y. (1980): Biological nitrogen removal by step-feed process. *Prog. Wat. Tech.*, 12 (6) 193-202.

Nowak, O. (1996): Nitrifikation im Belbungsverfahren bei masgebendem Industrie-abwassereinflus. *Wiener Mitteilungen Wasser, Abwasser, Gewässer.. Band 135.*

Tholander, B. (1977): An example of design of activated sludge plant with denitrification. *Prog. Wat. Tech.*, 8, (4/5) 661-672.

KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZ ÚJRAHASZNOSÍTÁSA BEMERÍTETT MEMBRÁNOS ELEVENISZAPOS ELJÁRÁSSAL

Pierre Coté, Hervé Buisson Anjou Recherche Chemin de la Digue, BP 76 78603 Maisons-Lafitte Cedex, France
Charles Pound, Greg Arakaki BMetcalf and Eddy 701B Street, Suite 1100 San Diego, CA 92101, USA

Összefoglalás

A cikk bemutatja a membrános eleveniszapos eljárással végzett két félüzemi kísérlet eredményeit mutatja be. Az eljárás a bioreaktorok és a mikroszűrő membránok az összekapcsolása, ahol a mikroszűrő üreges szálai közvetlenül beáramolnak a bioreaktorba.

Az egyik üzemi kísérlet színhelye Valley Sanitary District, Indio, California, a másiké Maisons-Lafitte, Franciaország, időtartamuk 5 hónap, ill. 1 év volt. A kísérletek célja az volt, hogy demonstrálják az eljárást igen nagy biomassza koncentráció (5 – 15 g/l) és 10 – 50 napos iszapkor esetén.

Az eljárás igen nagy tisztítási hatásfokot eredményezett a lebegő (100 %) és szerves anyagok (>96% KOI) tekintetében. Amikor nitrifikációs / denitrifikációs üzemmódban dolgozott, 99% ammónia és 80% összes-nitrogén eltávolítást eredményezett. A coli baktériumok eltávolítása jobb volt mint 6 log, a természetes előfordulású baktériumölő vírusoké pedig jobb volt mint 4 log. A távozó tisztított víz fordított ozmózisra megfelelően előkezelte volt, a membrán eltömítés képességét tekintve. Az iszap-termelés 0,25 kg száraz anyag/(kgKOI.d) volt, ami 50 %-kal kevesebb, mint a hagyományos eleveniszapos eljárásoknál szokásos mennyiség.

Beigazolódott, hogy a bemutatott membrán szűrő rendszer a membrán modulok vegyi tisztítása nélkül képes volt működni, és a szűrés energiaigénye mindössze 0,3 kWh egy m³ tisztított szennyvízre vetítve.

Az eljárás biztosítja a membrán szűrés előnyeit (minőség, biztonság, tömörség), a szokásos hátrányok (nagy energia-felvétel, gyakori tisztítási igény) nélkül. Ezek a tulajdonságok teszik korszerű, de egyszerű eljárássá.

Kulcsszavak: víz újrahaznosítás, eleveniszap, bemutatott membránok, mikroszűrés, membrános bioreaktor, fordított ozmózis.

1. Bevezetés

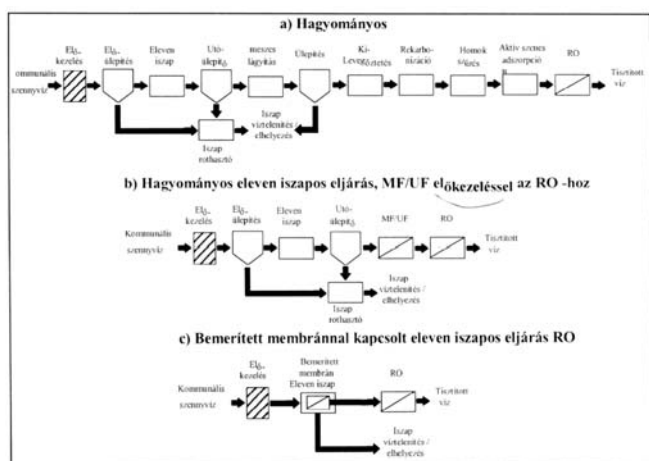
A víznyerő helyek világszerte növekvő terhelésének hatására, fejlődik a víztisztítás és újrahaznosítás öntözési, mezőgazdasági, közvetett és közvetlen ivóvíz felhasználás céljából. A probléma megközelítése mindeddig úgy történt, hogy egy fejlett módszerrel újramezítették a biológiailag tisztított vizet, az újrahaznosítás szabványainak teljesítése érdekében. Öntözési felhasználás esetén ez a kiegészítő kezelés korlátozódhat csak szűrésre és fertőtlenítésre. Talajvízdúsításnál a kiegészítő kezelésbe a fordított ozmózis (RO) is beletartozik, és még összetettebbé válhat, mint az az **1a ábrán** látható, mely Orange megye (USA) Water Factory 21 folyamati sémáját mutatja. Ez az eljárás nagy teljesítményű eleveniszapos tisztításon alapul, mely a lebegő és szervesanyag döntő többségét eltávolítja. Ezt követi a meszes lágyítás, üleptetés és homokszűrés, melyek a fordított ozmózis (RO) előkészítő fázisai. Cellulóz acetát RO membránt használnak, mivel az ellenáll a lerakódásnak. Az eljárás nagymennyiségű nyers, biológiai és kémiai iszapot termel.

A Water Factory 21-ben még csak demonstrációs méretű a fejlesztés alatt álló séma, mely az RO előtti fizikai-kémiai előkezelést ultraszűréssel helyettesíti (**1b ábrán**). Ez a fejlett előkezelés lehetővé teszi vékonyfilm kompozit (TFC) RO membránok alkalmazását, melyek alacsonyabb nyomáson is jobban eltávolítják az oldott szerves anyagot. Ebben a sémában megszűnik a kémiai iszap termelése, de – az MF/UF membránok visszamosási igénye miatt – az előkezelést 10-20 %-kal túl kell méretezni.

Az **1c ábrán** látható, egyszerű tisztítási séma ugyanolyan vízminőséget produkál, mint a két előző. Ez azon az új technológián alapul, melyben az eleveniszapos eljárás és membrán-szűrés egy lépésben történik. Ebben az

eljárásban a membránok helyettesítik a hagyományos rendszerben az utóülepítést. A bemejtett membrános eleveniszapos eljárás egyszerű előszűrés után is lehetővé teszi a nyers szennyvíz tisztítását, nagy biomasza koncentrációval és hosszú iszapkorral. Ez azt eredményezi, hogy megszűnnek a folyadék mellék-áramok (homok és/vagy membránszűrő visszamosás), jelentősen csökken az iszaptermelés és javul az RO előtti kezelt víz minősége.

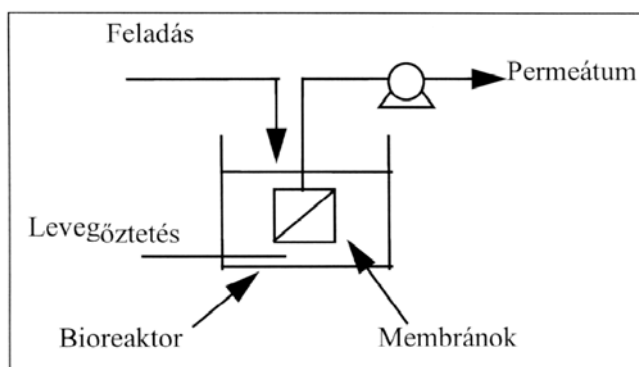
Jelen tanulmány leírja a bemejtett membrános eleveniszapos eljárást, és bemutatja a két félüzemi kísérlet eredményeit.



1. ábra: Vízisztítási sémák fejlődése a víz újrafelhasználás területén

2. Bemejtett membrános eleveniszapos eljárás

Néhány, a 2. ábrán bemutatott, bemejtett membrános eleveniszapos rendszer leírása megtalálható az irodalomban [1 – 5]. A bemejtett membrános eleveniszapos rendszerek köpeny nélküli kapilláris, vagy síkmembránokat alkalmaznak. Jellemző tulajdonságaik a következők: 1) mikroszűrő membránok 0,1 – 0,4 mikron közötti pórusmérettel, 2) közvetlen bemejtés a reaktorba, ahol a biológiai tisztítás végbemegy, 3) negatív nyomás alatti, kívülről-befelé történő üzemmód, 4) a szűrendő biomasza frissítése levegőztetéssel gerjesztett keringtetéssel.



2. ábra: A bemejtett membrános eleveniszapos eljárás elve.

A membránok eleveniszappal való kombinálása egymást segítő hatásokat vált ki. Ezek közül a legjelentősebb a tisztított víz minőségének stabilitása és a biomasza veszteség elleni védelem, amit a membrán biztosít. A hagyományos, eleveniszapos eljárásoknál a befolyó vízben lévő mérgező anyagok, tömeg-, vagy hidraulikai terhelés-változások, valamint iszapduzzadás, tisztítás-folyamati zavarokat okoznak. Az eljárás lehetővé teszi a hosszú iszapkorú (> 20 nap) működést, ami kedvez a lassú növekedésű mikroorganizmusok kifejlődésének, ez pedig a nitrogén származékok és ellenálló szerves anyagok jobb eltávolítását eredményezi. A hagyományos eleveniszapos rendszereknél hosszú iszapkor nem érhető el, mert akkor a termelt iszap rosszul ülepedhető. Végül, a membránok alkalmazása nagyon kompakttá teszi a folyamatot, megszünteti az elő- és utóülepítést, az iszaprothasztás is sokkal kisebb tartályokat igényel (alkalmazott biomasza koncentráció 15 – 20 g/l). A bemejtett membrános eleveniszapos eljárásban a membránokat kiterjedten alkalmazzák, kis nyomáson és a kritikus fluxus alatt, ahol az eltömődés minimális. Ez egyszerű, megbízható és gazdaságos működést biztosít.

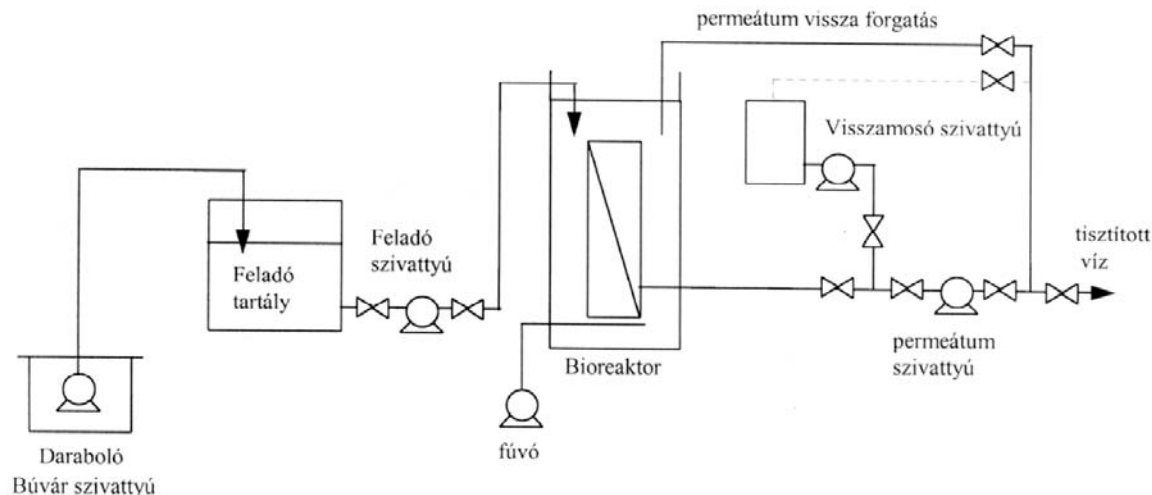
3. Félüzemi kísérletek

Két félüzemi kísérletet folytattak le: egyiket Metcalf & Eddy, Valley Sanitary District (VSD)-ben, Indio, California, a másikat Anjou Recherche, Maisons Laffitte-i kutató központjában (CRML), Franciaországban.

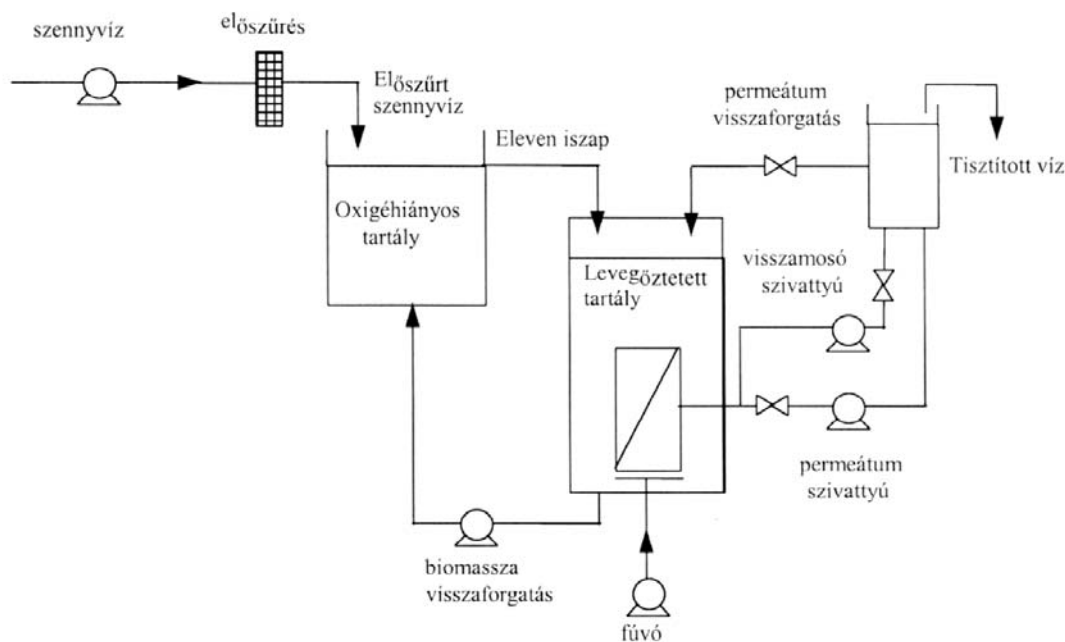
A VSD kísérlet 1996. szeptember és 1997. január között történt, előszűrt/homoktalanított szennyvízzel. A kísérlet célja annak bizonyítása volt, hogy az eljárás ki tudja elégíteni a tisztított vízre vonatkozó, California Title 22 kritériumot, 2 órás tartózkodási idő mellett. A kísérlet folyamán az eljárást különböző biomasza koncentráció (MLSS) mellett értékelték, mely 5 – 14 g/l között változott, ami 5 – 10 napos iszapkor (SRT) felel meg. A biomasza hőmérséklete 26 – 33 °C között változott.

A CRML tanulmány 1 évig tartott, 1995. és 1996. májusa között, 1 mm-es résméretű előszűrőn szűrt szennyvízzel. A kísérlet célja az volt, hogy meghatározza a biológiai tisztítás és a membránszűrés hatékonyságát 50 napos iszapkor és 15 g/l-es eleveniszap koncentráció (MLSS) mellett, ami 9 órás hidraulikai tartózkodási időnek felel meg. A biomasza hőmérséklete 17 – 21 °C között változott.

A Valley Sanitary District-ben használt félüzemi kísérleti berendezés egy levegőztető tartályból állt, mint az a 3 a) ábrán látható. A Maisons-Laffitte-i félüzemi kísérleti berendezés két, nitrifikációs / denitrifikációs tartályt tartalmazott, mint ahogyan azt a 3 b) ábra mutatja. Mindkét berendezés fel volt szerelve egy olyan rendszerrel, mely lehetővé tette a szűrletvíz egy részének visszaforgatását a levegőztető tartályba abból a célból, hogy függetleníse a membrán-áramlás tanulmányozását a hidraulikai tartózkodási időtől.



a) Valley Sanitary District



b) Maisons-Laffitte Research Centre

3 ábra: A félüzemi kísérleti berendezések folyamatábrái.

Mindkét kísérleti berendezés a ZENON Environmental Inc. /Burlington, Kanada/ által gyártott, ZW-150 típusú, ZeeWeed® membránokkal volt felszerelve. Ezekből két modul volt a VSD kísérleti üzemben, és egy a CRML-ben.

A ZeeWeed® köpeny nélküli, üreges szálás membrán, melynek a névleges molekulásúly vágási értéke 200.000 Dalton. A szálak 1,83 m hosszú és 0,5 m széles keretre voltak erősítve, melyből a szűrletvíz az alsó és felső szűrletgyűjtőkön keresztül távozik. A membránokat alulról folyamatosan levegőztetik a szűrendő biomassza frissítése ill. az üreges szálak mozgatása céljából. Az üreges szálak szűrletvízzel visszamoshatók.

4. Az eredmények ismertetése

4.1 Tisztítási eredmények

Az analitikai elemzések eredményeinek összegezése az 1. táblázatban látható.

A részecskék eltávolítása gyakorlatilag mindkét kísérletben teljes volt, mivel a mérhető szint alatt maradt. Az átlagos zavarosság a VSD kísérlet esetében 0,14, a CRML esetében pedig 0,24 volt.

A szerves anyag eltávolítás igen nagymértékű volt, a BOI_5 teljesen eltávolított, míg a KOI értéke a VSD-nél 16mg/l, a CRML kísérletben pedig 10 mg/l volt. A fenti eredmények összevethetők az ugyanazon helyeken

Paraméter	VSD félüzemi kísérlet				CRML félüzemi kísérlet			
	Minták száma	Feladás	Permeátum	Eltávolítás	Minták száma	Feladás	Permeátum	Eltávolítás
Össz. Leb. anyag (mg/l)	42	118	ND	> 99 %	43	120	ND	> 99 %
Zavarosság (NTU)		---	0,14	---	41	148	0,24	99,8 %
KOI (mg/l)	40	356	16	96 %	44	482	10	98 %
BOI ₅ (mg/l)	3	187	< 5	> 97 %	3	220	< 5	> 98 %
Ammónia-N (mg/l)	12	28	5,6	80 %	44	39	0,4	99 %
TKN-N (mg/l)	12	39	7,6	81 %	32	54	2,0	96 %
Nitrát-N (mg/l)	21	---	26	---		---	9,9	---
Össz-N (mg/l)	12	42	27	36 %		54	11,0	80 %
Foszfor (mg/l)	---	---	---	---	32	9,2	8,1	15 %
Össz Coliform (CFU/100 ml)	21	5,6 x 10 ⁷	20	6,4 log	12	5,9 x 10 ⁷	43	6,1 log
Baktériumölő vírusok (PFU/10ml)	21	3,7 x 10 ⁴	---	> 4,5 log	2	1,48 x 10 ⁴	---	> 3,8 log

1. táblázat: A félüzemi kísérletek analitikai eredményeinek összefoglalása

működő hagyományos, biológiai eljárásokéval (eleveniszap a VSD-nél és bioszűrők a CRML-nél), ahol a távozó víz KOI értéke 40, ill. 50 mg/l volt. A különbség természetesen a szilárd anyag részecskék és kolloid eltávolításnak, valamint az ellenálló összetevők a koncentrált biomassza általi, jobb lebontásának tudható be.

A VSD kísérletben igen jó nitrifikáció volt megfigyelhető, 80 %-os TKN és ammónia eltávolítással, pedig az iszapkor (5-10 nap) és a hidraulikai tartózkodási idő (2 óra) igen rövid volt. A bejövő szennyvíz változékonysága és a kisszámú minta ebben a kísérletben nem tette lehetővé a teljes nitrogén mérleg felállítását.

Sokkal jobb volt a nitrogén eltávolítás a CRML kísérletben, mely nagyobb iszapkorral (50 nap), és nitrifikációs / denitrifikációs fokozatokkal működött.

A nitrifikáció lényegében teljes volt, mivel az ammónia 99 %-át eltávolította. Az összes-nitrogén eltávolítás 80 % volt, ami megfelel a 300 %-os iszap recirkuláció elméleti határának.

A VSD kísérlet alatt a foszfort nem ellenőrizték. A CRML kísérletben 15 %-os foszfor eltávolítást mértek, ami lényegében a biomassza szintézissel magyarázható. Ebben az eljárásban a foszfor eltávolítás könnyen megvalósítható vas, vagy alumínium sóknak közvetlenül a levegőztető tartályba való adagolásával, ami együttes kiválást eredményez, mint az máshol is olvasható [1,4].

A bakteriológiai paramétereket mindkét kísérletben ellenőrizték. A Coli baktériumok eltávolítása mindkét kísérlet során 6 és 7 log között volt. A CRML kísérlet során kimutatták, hogy baktérium újraképződés a memb-

rán szűrletvíz oldalán előfordulhat. Ezért a szűrletvíz rendszert 200 mg/l nátrium hipoklorittal fertőtlenítették, melyet a szűrletvíz tartályba adagoltak. A fertőtlenítést hetenként egyszer végezték, a klór oldatnak a membrán szűrletvíz oldalán történő, 15 perces átáramoltatásával. Ez kismértékű klór beszűrődést eredményezett az eleveniszapos tartályba, ami szemmel láthatóan nem volt káros a biomasszára.

Bár a membránpórusok nagyobbak mint a vírusok és baktériumölő vírusok mérete, a VSD kísérletben 4,5 log, a CRML kísérletben 3,8 log természetes baktériumölő vírus eltávolítás volt megfigyelhető. Ez az eredmény a nagykoncentrációjú, bioreaktorban levő lebegő anyag jelenlétének tudható be, melyekhez a baktériumölők hozzátapadnak.

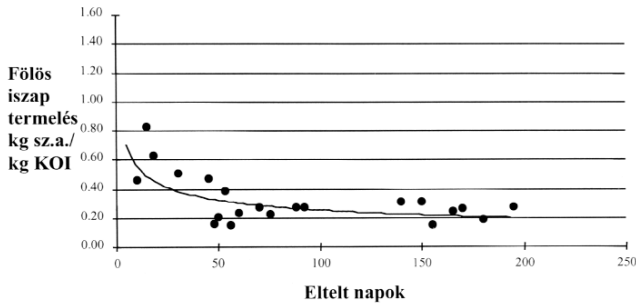
A VSD kísérlet folyamán az iszaptermelést nem ellenőrizték. A CRML kísérletben az iszaptermelés idővel lecsökkent egy viszonylag állandó értékre, ami azt jelenti, hogy kb. 100 nap után értéke 0,25 kg sz.a/kg eltávolított KOI volt (4. ábra). Ez az iszaptermelés kb. 50 %-kal kevesebb, mint a huzamos idejű levegőztetett, eleveniszapos eljárásé.

A CRML kísérlet során mérték az SDI indexet, hogy kiértékeljék az eljárásnak RO előkezelésként való alkalmazhatóságát. Az SDI átlagértéke 1,4 volt, de mindig 2,0 alatt maradt.

4.2 Hidraulikai eredmények

A bemeztett membrános szűrő rendszert úgy tervezték, hogy három, alapvető működési követelményt teljesít-

sen: 1) ne kelljen vegyileg tisztítani, sem ki-be szerelni a membrán modulokat, 2) csillapítsa a feladott víz ingadozásait, 3) minimalizálja az energiaigényt. Ebben az alfejezetben ezeket vizsgáljuk.



4. ábra: Az iszaptermelés az idő függvényében, a CRML kísérletben

A két félüzemi kísérlet membránszűrő rendszereinek működési paraméterei a 2. táblázatban láthatók. A membránok mindkét helyen kb. 20 kPa-os, alacsony transzmembrán nyomáson működtek, ami a VSD kísérletben 35, a CRML kísérletben 25 l/m²/h átlagos pillanatnyi fluxusnak felel meg. A VSD-nél elért jobb működés az erőteljesebb membrán levegőztetésnek, továbbá annak tudható be, hogy a biomassza kb. 10 °C-kal melegebb volt.

	VSD kísérlet	CRML kísérlet
Pillanatnyi fluxus (l/m ² /h)	35	25
Nyomás (kPa)	20	20
Membrán levegőztetés (Nm ³ /h/modul)	12,0	8,0
Visszamosás gyakorisága (min)	16	5
Visszamosás időtartama (s)	30	15

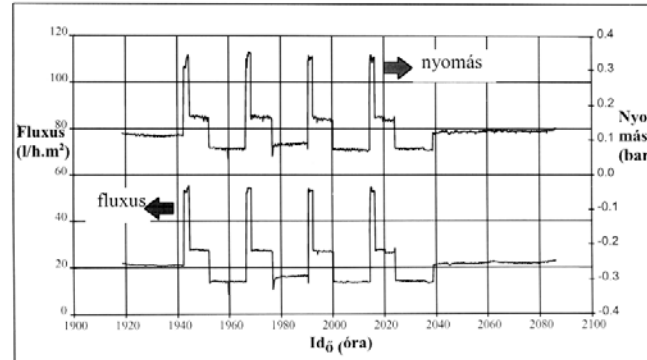
2. táblázat: A bemező membránok átlagos, üzemi paraméterei

A VSD kísérletben a membránokat óránként négy-szer, 30 s-ig visszamosták; a CRML kísérlet során a membránok visszamosása óránként 12-szer, 15 s-ig történt. Ezen rövid visszamosások alatt szűrletvíz került vissza a levegőztető tartályba, mely ismét szűrésre kerül; mindkét szűrő rendszer hidraulikai határfoka (a tényleges és a pillanatnyi fluxus aránya) kb. 0,9 volt.

Egyik kísérlet során sem volt szükség a membránokat az eleveniszap tartályból – tisztítás céljából – eltávolítani. A következő műveletek elegendők voltak az állandó fluxus és stabil üzemi nyomás fenntartására: A VSD kísérletben alapos, 15 perces szűrletvízes visszamosás, hetenként egyszer, a CRML kísérletben 15 perces klórozott szűrletvízes visszamosás, hetenként egyszer.

Mindkét kísérletben kiértékelték a membrán szűrő rendszer rugalmasságát a befolyó szennyvízáram változásainak szempontjából. A VSD kísérletben a membrán

fluxust naponta, 1-2 óra időtartamra, a duplájára, 70 l/h/m²-re növelték. A CRML kísérletben szimulálták a napi térfogatáramlás-változást, hónapokon keresztül; a csúcsterhelés, az átlag 2,5-szerese volt. Az eredmények kivonata – mely az 5. ábrán látható – azt mutatja, hogy a nyomás és fluxus görbék teljesen egyformák, ami azt jelenti, hogy eltömődés nincs.



5. ábra: Szennyvízáram szimuláció a CRML kísérletben.

A 2. táblázatban felsorolt működési paraméterek alapján a szűrés energiaigénye 0,30 kWh/m³- tisztított szennyvízre tehető, mindkét rendszerben. Ez a szám két részből tevődik össze: a szűrlet szivattyú energia fogyasztása 0,02 kWh/m³, a maradék 0,28 kWh/m³ pedig a membránokat levegőztető fúvó fogyasztása. Ez óvatos becslés, mivel nem számol a membrán levegőztetőktől származó oxigén-átadással.

5. Következtetés

Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a bemező membrános eleveniszapos eljárás mind magában, mind RO-val kombinálva, jól alkalmazható víztisztításra és újrahasznosításra.

Nagymértékben eltávolítja a lebegő és szerves anyagokat. A nitrogén származékok eltávolítására, a rendszer működtethető nitrifikáció / denitrifikáció üzemmódban is, és kombinálható foszfor eltávolítással, megfelelő koaguláns hozzáadásával. Nagyfokú fizikai fertőtlenítést biztosít, valamint olyan szűrletvizet, mely megfelelő előkezelést kapott a fordított ozmózis eltömődési veszélyének kiküszöbölésére.

A bemező membrános eleveniszapos eljárás hosszú iszapkort tesz lehetővé, aminek a kicsi fölősiszap-termelés a haszna (kb. 50%-a a hagyományos eleveniszapos eljárásnak), továbbá leegyszerűsíti az iszapkezelési eljárást.

A folyamat biztosítja a membrán szűrés minden előnyét (minőség, biztonság, kompaktság), annak hátrányai (nagy energia felvétel, gyakori tisztítási igény) nélkül. Ezen tulajdonságai „modern de egyszerű eljárássá” teszik.

HIVATKOZOTT IRODALOM

[1] Buisson, H, Côté, P, Praderie, M and Paillard, H (1997). The use of immersed membranes for upgrading wastewater treatment plants. *In Proceedings of IAWQ Conference « Upgrading of Water and Wastewater System »*, Kalmar, May 25-28, 1997.

[2] Churchouse S, (1997). Operating experiences with the Kubota submerged membrane activated sludge process. *In Proceeding of 1st International Meeting on Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*, Cranfield University, 1997.

[3] Ishida, H, Yamada, Y, Tsuboi, M and Matsumura, S (1993). Submerged Membrane activated sludge process : its application into activated sludge process with high concentration of MLSS. *Second International Conference on Advances in Water and Effluent Treatment*. BHR Group series publication, n°8, pp 321-330.

[4] Mourato, D, Behmann, H and McGinn, G (1996). The Zenogem® process for municipal sewage treatment plant upgrades. *In Proceedings of WEF Technical Program, Dallas Convention Centre, Texas, USA. October 5-9, 1996.*

[5] Ueda, T, Hata, K, Kikuoka, Y and Seino, O (1997).

Kedves Kollégák! Tisztelt Igazgató Úr/Asszony!

A HÍRCSATORNA szerkesztősége felhívja szíves figyelmüket,
hogy helyet kívánunk biztosítani az Önök hirdetéseinek.

Két színben megjelenő hirdetéseink ára a következő:

MÉRET	Szöveg között	Belső borítón	Külső borítón
1/1 álló 183.260 mm fekvő 260.183 mm	100 000 Ft	180 000 Ft	200 000 Ft
1/2 álló 89.260 mm fekvő 183.128 mm	60 000 Ft	100 000 Ft	120 000 Ft
1/3 álló 58.260 mm fekvő 183.84 mm	50 000 Ft	70 000 Ft	85 000 Ft
1/4 álló 89.128 mm fekvő 128.89 mm	45 000 Ft	60 000 Ft	60 000 Ft
1/6 álló 58.128 mm fekvő 120.62 mm	30 000 Ft	-	-
1/8 álló 42.128 mm fekvő 89.62 mm	25 000 Ft	-	-

Az árak az ÁFÁT nem tartalmazzák. A hirdetéseket nyomdakész filmen kérjük.
Egyéb esetben 10% technikai költséget számítunk fel.

A Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség tagjai –20%-os árkedvezményt kapnak az árlista áraiból.

Az egy naptári éven belül másodszer megjelenő hirdetés –20%-os,
és minden további megjelenés újabb –10%-os árkedvezményt kap.

Információ a Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség Titkárságán.

Fax: 463 37 53, telefon: 463 37 11 Vajda Katalinnál.

DIRECT – LINE KFT.

2000. szeptemberében szeretettel meghívja Önt telephelyére – Dunaharaszti, Ipartelep 22. – az alábbi RENDEZVÉNYSOROZATRA

szeptember 14.

Kommunális szennyvíziszap – kezelés

10 óra

Direct- Line Dunaharaszti telepén regisztráció, rövid szakmai ismertető

11 óra

Bemutató a Dunaharaszti Szennyvíztelepen található referencia berendezésekkel

12 óra

Üzemlátogatás, konzultáció, állófogadás

Helye: Direct – Line Kft.

szeptember 15.

Sörgyári szennyvíziszap – kezelés

10 óra

Direct- Line Dunaharaszti telepén regisztráció, rövid szakmai ismertető

11 óra

Bemutató a Dunaharaszti Szennyvíztelepen található referencia berendezésekkel

12 óra

Üzemlátogatás, konzultáció, állófogadás

Helye: Direct – Line Kft.

szeptember 21.

Nagykonyhai szennyvíziszap – kezelés

10 óra

Direct- Line Dunaharaszti telepén regisztráció, rövid szakmai ismertető

11 óra

Bemutató a Dunaharaszti Szennyvíztelepen található referencia berendezésekkel

12 óra

Üzemlátogatás, konzultáció, állófogadás

Helye: Direct – Line Kft.

szeptember 28.

Papírgyári szennyvíziszap – kezelés

10 óra

Direct- Line Dunaharaszti telepén regisztráció, rövid szakmai ismertető

11 óra

Bemutató a Dunaharaszti Szennyvíztelepen található referencia berendezésekkel

12 óra

Üzemlátogatás, konzultáció, állófogadás

Helye: Direct – Line Kft.

A rendezvénnyel kapcsolatos információkkal szívesen állnak rendelkezésre:

Titkárság: 06/23-492-111/117

Molnár István : 06/30-9841-601

Bedy Viktória: 06/23-492-111/128

Finta János: 06/23-492-111/124

Részvételi szándékát kérjük jelezze faxon! FAX: 06-24-496-112

Tisztelt Kollégák!

Tekintettel arra, hogy az utóbbi időben jelentős az érdeklődés Szövetségünk – a Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség – tagsága iránt, jelen számunkban közöljük a belépési nyilatkozat formáját mind a természetes személyek, mind a jogi személyek számára. Kérjük ezek másolatát szíveskedjenek érdeklődő kollégáinak rendelkezésre bocsátani. A tagsági díjakról a HÍRHOZÓ nyújt tájékoztatást.

A kitöltött jelentkezési nyilatkozatot kérjük a **Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség (BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék) 1111 BUDAPEST, Műegyetem rkp. 3** címre megküldeni szíveskedjenek.

Belépési nyilatkozat (természetes személy részére)

NÉV:

LAKCÍM:

□□□□ település utca házsám

MUNKAHELY

megnevezése:

címe: □□□□

TELEFON: lakás munkahely

MŰVELT

SZAKTERÜLET:

Alulírott nyilatkozom, hogy a **Magyar Szennyvíztechnikai Szövetségbe** tagként belépek.

....., 2000 hó én

.....
aláírás

Belépési nyilatkozat (jogi személy részére)

GAZDASÁGI SZERVEZET/INTÉZMÉNY MEGNEVEZÉS:

CÍM:

□□□□ település utca házsám

Telefon/Fax:

A cég képviselőjét ellátó:

.....

Alulírott nyilatkozom, hogy a fenti cég a **Magyar Szennyvíztechnikai Szövetségbe** tagként belép.

....., 2 000 hó én.

.....
cégszerű aláírás



ZENON SYSTEMS KFT.

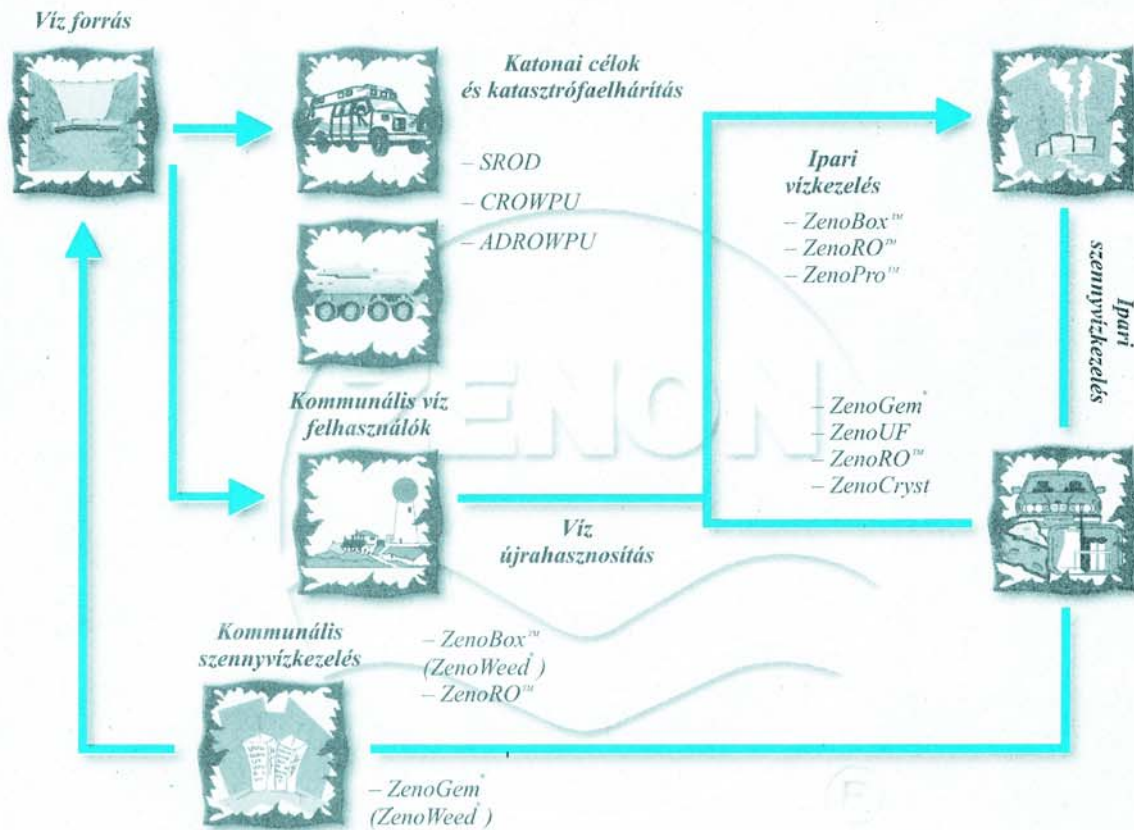
2803 TATABÁNYA, VIGADÓ U. PF. 353

Telefon: (34) 512-520 – Fax: (34) 512-525

E-mail: tblanka@zenonsystems.hu – http://www.zenonenv.com

IPARI ÉS KOMMUNÁLIS VÍZKEZELÉS MEMBRÁN TECHNOLÓGIÁVAL

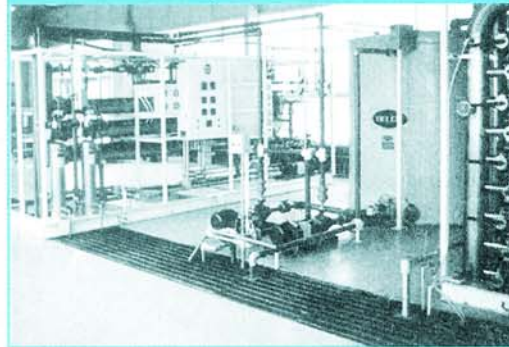
Termékek és szolgáltatások



Vízkezelés



Szennyvízkezelés



Water for the World