

A szennyvíztisztítás követelményei és a tisztítótelep típusválasztási lehetőségei Magyarországon

Dr. Kárpáti Árpád

Veszprémi Egyetem, 8201 Veszprém, Pf. 158.

Bevezetés

A szennyvíztisztítás típusának megválasztását egyik oldalról a tisztítási igény, azaz a befogadóba kibocsátható tisztított szennyvíz minőségi követelményei (jogi előírásai), másrészt a kor tudományos, műszaki ismeretei határolják be. A szennyvíztisztítás lehetőségeit illetően az elmúlt évtizedben számos áttekintő kiadvány került az olvasók elé (Öllös, 1991; Sedlak, 1992; Czákó és Miháltz, 1993; Sorensen és Jorgensen 1993; Kárpáti, 2002a; Seviour et al. 2002;). Ezek alapján egyértelmű, hogy a fejlettebb, nagyobb lakos sűrűségű országokban, napjainkban a szennyvíztisztítás mintegy 90 % -ában eleveniszapos rendszerekkel történik. A szóba jöhető különböző változatokat ezek a kiadványok igen részletesen leírják, a szennyvíztisztítással szemben támasztott regionális követelményeket azonban nem részletezik. Ez országoként és időben is változó. Magyarországon az 1984-től elvileg 2002. december 31-ig érvényben volt, majd lejárt előtt tíz nappal ismét életbe léptetett, vagy 274/2002 (XII. 21.) rendelettel további két évre hatályos rendelkezés 1991 évi EU előírásokkal (271/1991) történő szinkronizálása mintegy 10 évet vett igénybe. Mint hatálybalépése előtti visszavonásából is látható, elkészültével is kellő bizonytalanságban hagyta az érdekelteket. A 9/2002 (III. 22.) KöM-KöViM rendelet ugyanis a korábbitól lényegesen eltérő szabályozást jelentett, melyet éppen a korábbival történő összehasonlításával lehet kellően elemezni, értékelni, bár ezek után kérdéses, hogy érdemes-e. Hogy 2005 -től mi lép érvénybe, az utóbbi időszak szennyvíztisztítási jogszabály alkotási gyakorlata miatt talán még kevésbé érdemes találgatni.

A szennyvíztisztító típusválasztása az elvi lehetőségeken túl a megfelelő hazai háttérpar lehetőségeinek is függvénye, bár éppen most kezdődik az az időszak, amikor a külföldi vállalkozók is nagy eséllyel indulhatnak versenybe ezen a területen. Az áttekintő csak az elvi lehetőséget elemzi. A végső döntés ezen túl a mindenkorai hazai jogi és gazdasági szabályozás (központi támogatási rendszer) függvénye is.

Szennyvíztisztítási követelményeinek alakulása Magyarországon

Magyarországon 2005. január 1-ig a (4/1984. (II. 7.) OVH rendelet) határértékei érvényesek a meghatározó szennyező, illetőleg növényi tápanyag tartalmat (kémiai és biológiai oxigénigény -KOI, BOI₅-, lebegőanyag, nitrogén-formák és az összes foszfor) illetően. Ezeket az 1. táblázat pontosítja. Egyértelmű, hogy a korábbi szabályozás visszaállításával a hatóságoknak azt a jogát is visszaállították, hogy ezeket az értékeket a helyi érdekek függvényében bárhol szigoríthassák. A határértékek ennek megfelelően inkább csak tájékoztató jelegűek, s mindenhol a regionális felügyelőség kezében van a szabályozás, végső döntés joga.

1. táblázat: A 4/1984. (II. 7.) OVH rendelet jelenleg is érvényes határértékei befogadóinkra.

Jellemzők	Térségi kategóriák – kijelölt osztályok					
	I	II	III	IV	V	VI
KOI	50	75	100	100	150	200
Lebegőanyag	100	100	200	200	500	200
NH ₄ -N	2	5	30	10	30	10
NO ₃ ^{-a)}	40	50	80	80	-	80
Összes P – TP ^{a)}	1,8	2	2	2	-	2

a) III – IV, valamint a VI osztályokban csak állóvízbe, vagy abba torkoló kisebb befogadóba történő bevezetés esetén érvényes a határérték, egyebekben nincs korlátozás.

Az 1984 évi szabályozás láthatóan üzemmérettől, tehát a technológiai lehetőségektől függetlenül, csakis a befogadók szennyezettsége, terheltsége és vízhozamai (hígító hatása) figyelembevételével differenciált. A 271/1991-es EU javaslat ezzel szemben éppen az utóbbiak figyelembevétele nélkül, az üzemméret függvényében alakította ki a határértékeket (2. táblázat), megjegyezve, hogy az egyes országok befogadók érzékenységének megfelelően regionális szigorításokat alkalmazhatnak.

2. táblázat: Az EU javaslat a kommunális szennyvíztisztítók kibocsátási határértékeire.

EU 271/1991 Kategória	Lakos egyenérték osztály (LE - 60 g BOI ₅ /fő nap)		
	1	2	3
Jellemzők (mg/l)	< 10 ezer LE	10 - 100 ezer LE	> 100 ezer LE
BOI ₅	25	25	25
KOI	125	125	125
Összes lebegő anyag - TSS	60	35	35
Összes nitrogén - TN*	-	15**	10
Összes foszfor - TP	-	2	1

* - TN = TKN + NO₃-N + NO₂-N ahol TKN = szerves N + NH₄-N

** - vízhőmérséklet > 12 °C esetén

A tervezett hazai törvény (2003. jan. 1.-től bevezetésre tervezett, de be nem vezetett) a hosszú előkészítési időszak ellenére sem tűnt igazán sikeresnek (3. táblázat).

3. táblázat: A felszíni vízi környezetbe közvetlenül bevezetésre kerülő szennyvizek országos területi kibocsátási határértékei és a vízminőség-védelmi területi kategóriák:

Megnevezés	(1.) Balaton és vízgyűjtője	(2.) Egyéb védett területek	(3.) Általános
PH	6,5 – 8,5	6,5 – 9	6 – 9
Szennyező anyagok	Határérték mg/l		
Bikromátos oxigénfogyasztás - KOI _k	50	75	150
Biokémiai oxigénfogyasztás - BOI ₅	15	25	50
Összes nitrogén - N _{összes}	15	30 ¹	50
Összes foszfor - P _{összes}	0,7	2	10
Összes lebegőanyag - SS	35	100 ¹	200
Szulfidok -S ²⁻	0,01	0,01	2
Szerves oldószer extrakt - (olajok, zsírok)*	2	5	10
Ammónia-ammónium-nitrogén -NH ₄ -N	2	5	10
Coliform szám(i=individuum=egyed) ²	10 i/cm ³	10 i/cm ³	10 i/cm ³

* - állati és növényi zsiradék esetén a határérték háromszoros

- (1) A Velencei-tó és a Fertő-tó és vízgyűjtője területén a 240/2000. (XII. 23.) Kormányrendelet alapján az (1.) kategória határértéke érvényes.
- (2) A közegészségügyi hatóság által fertőtlenítésre kötelezett üzemek esetében előírandó határérték.

Az új területi behatárolás a következők szerint tervezték:

1. A Balaton, valamint vízgyűjtőterülete a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtőterületük kijelöléséről szóló 240/2000. (XII. 23.) Kormányrendelet szerint.
2. Egyéb védett területek (befogadók):
 - 2.1. A Velencei-tó valamint vízgyűjtőjük a Kormány 240/2000. (XII. 23.) rendelete szerint, és a Tatai-tó vízgyűjtő területe.
 - 2.2. A Fertő-tó, valamint vízgyűjtőjük a Kormány 240/2000. (XII. 23.) rendelete szerint. Továbbiakban számos kisebb behatárolt, ivóvíz kinyerése tekintetében veszélyeztetett térség.

A környezetvédelmi és a közlekedési és vízügyi miniszternek a használt- és szennyvizek kibocsátási határértékeiről és alkalmazásuk szabályairól szóló együttes rendeletének (9/2002 (III. 22.) KöM / KöViM) az 1. sz. melléklete szerint annak érvényességétől a felszíni vízi környezetbe közvetlenül bevezetett szennyvizek országos területi kibocsátási határértékei és a vízminőség-védelmi területi kategóriák a 3. táblázatban láthatóan alakultak volna.

A rendelet 2. sz. mellékletének I. része szerint ugyanakkor a települések szennyvízelvezetésével, szennyvízkibocsátásával kapcsolatos technológiai határértékek a 4. táblázat adatainak megfelelően alakultak volna.

4.táblázat: A hatályba nem lépett 9/2002 (III. 22.) rendelet települések szennyvízelvezetésével, szennyvízkibocsátásával kapcsolatos technológiai határértékei.

Komponens	Koncentráció, (mg/l)	Minimális csökkentési hatásfok, (%)
Kémiai oxigénigény (KOI)	125	75
Biokémiai oxigénigény ⁽¹⁾ (BOI ₅ , 20 °C-on nitrifikáció nélkül)	25	70 – 90 ⁽²⁾ között
Összes lebegőanyag ⁽⁵⁾	35	90
Összes foszfor (Pösszes) ⁽³⁾	2 (10.000–100.000 LE között)	80
	1 (> 100.000 LE)	80
Összes nitrogén (Nösszes) ⁽³⁻⁴⁾	15 (10.000 – 100.000 LE között)	70 – 80 ⁽²⁾ között
	10 (> 100.000 LE)	70 – 80 ⁽²⁾ között

⁽¹⁾ A BOI₅ más paraméterrel helyettesíthető: összes szerves szén (TOC) vagy teljes oxigénigény (TOD), ha összefüggés állapítható meg a BOI₅ és a helyettesítő paraméter között.

⁽²⁾ Vízjogi engedély szerint.

⁽³⁾ A határértékeket csak a 240/2000. (XII. 23.) Kormányrendelet szerinti érzékeny területeken kell betartani, 10 ezer LE terhelés felett. (A rendelet hatálya alá nem eső területeken az 1. sz. mellékletben meghatározott vonatkozó határértékeket kell figyelembe venni.)

⁽⁴⁾ Ez a követelmény a szennyvíztisztító telep biológiai reaktorának 12 °C és ennél magasabb vízhőmérsékleten történő működésére vonatkozik. Alternatívaként a napi átlag nem haladhatja meg a 20 mg/l N-t.

⁽⁵⁾ Tavasi szennyvíztisztítás után vett víz-mintákat a vízminőségi vizsgálatokat megelőzően szűrni kell, azonban a szűrletlen víz összes lebegőanyag koncentrációja nem haladhatja meg a 150 mg/l-t.

Egyértelműnek vélhető a rendeletből, hogy a 3. táblázat értékei a 10 ezer LE alatti terhelésű szennyvíztisztítókra vonatkoztak, a 4. táblázaté pedig az annál nagyobb terhelésűekre. A terhelést egyébként az év során mért két maximális heti átlag alapján kellett volna, a 271/1991-es EU ajánlathoz hasonlóan behatárolni. Egyértelműnek tűnt a rendeletből, hogy ha egy tízezer LE feletti terhelésű telep 1 és 2 kategóriába tartozó (védett) befogadóba bocsátja a tisztított szennyvizét, arra is a fokozott védelem előírásai, határértékei vonatkoztak volna.

A tervezett hazai rendelkezés szigorításai

Az EU csatlakozás jogi feltételeinek teljesítése érdekében készített 9/2002 (III. 22.) rendelet szabályozása a nitrifikációs igényre (ammóniumtartalom csökkentés) vonatkozóan a korábnál, s így a most két évre meghosszabbítottnál valamivel szigorúbb volt. A téli időszakban a kistelepülések szennyvíztisztítóinál is gyakorlatilag tökéletes nitrifikációt követelt meg ($\text{NH}_4\text{-N} < 10 \text{ mg/l}$), ami a hazai kontinentális éghajlatnál teljesíthetetlen. A 10000 lakos egyenérték (LE) terhelésnél nagyobb telepekre is szigorúbb volt az előírás a korábnál, de az megfelelő telepkiépítéssel (nitrifikációval és denitrifikációval, valamint biológiai és/vagy vegyszeres többletfoszfor eltávolítással) és üzemeltetéssel teljesíthető lett volna.

A kis telepeknél a téli időszakban megkövetelt, gyakorlatilag teljes nitrifikáció ($\text{NH}_4\text{-N} < 10 \text{ mg/l}$) csakis a telepek irreális, többszörös (mintegy 5-10-szeres) túlméretezésével lehetséges. A kis településeknél felmerülő óriási többletköltség igény miatt ilyen szabályozást, előírásokat az ilyen településekre, vagy szennyvíztisztító telepekre egyébként az EU saját tagországainál sem alkalmaz. Szerencsés lenne ezért országunknak minél előbb az EU tagjává válni, hogy annak javaslatát akár egy az egyben is átvehessük, s ezzel komoly költségeket takaríthassunk meg a kis tisztítótelepek kiépítésénél. Igaz ugyan, hogy ugyanez a rendelkezés javaslat nálunk a nagyobb, különösen a százezer LE fölötti telepeknél számottevő beruházási igényt jelentene, ezt azonban az eddigi befogadó-védelmünk puhaságának, a nagyvárosi szennyvíztisztító kiépítés túlzottan lassú, a kor igényétől elmaradó fejlesztésének köszönhetjük.

Érdekes azonban a hivatkozott, s most legalább két évre hatályon kívül helyezett rendelkezést a nagyobb szennyvíztisztítók (> 10 ezer LE) kibocsátási határértékeit illetően a határfok előírás alapján is pontosabban megvizsgálni. Ez a KOI -re 75, a foszforra 80 %-os eltávolítást ír elő. A tisztítás hatásfokát a tisztítóba érkező nyers szennyvízre kell számítani. A KOI 75 %-os csökkentése az eleveniszapos tisztítással a lakossági szennyvizeknél, illetőleg biológiailag jól bontható szennyezőket tartalmazó élelmiszeripari szennyvizeknél is nagy biztonsággal elérhető. A biológiailag bonthatatlan, ugyanakkor a bikromátos oxidációval elroncsolható, oxidálható szerves vegyületek (ipari szennyezések) okozhatnak ebben a tekintetben csak problémát. Az ilyen anyagokat tartalmazó szennyvizeket tehát nem szabad ezeknek a szennyezőknek a megfelelő, előzetes eltávolítása, átalakítása nélkül a közcsatornába engedni. Ez a közcsatorna rendeletének, előírásaival, határértékeivel biztosítható. Az 1000 mg KOI/l -e közcsatorna korlátozás önmagában nem kellő garancia a fentiekre, de a többi komponensek egyidejű limitálása már megfelelőnek tűnik. A biológiailag jól bontható szerves anyagok kibocsátásának korlátozása azonban nem egyértelmű hatású. Azok angol, vagy német előírásokhoz hasonló szabályozása és a belőlük számítható terhelés alapján történő költségtelezése talán szerencsésebb lenne.

Tulajdonképpen a BOI₅ esetében is hasonló a helyzet. A százalékos határfokkal behatárolható határérték ilyen értelmű elérése egyáltalán nem látszik problémának az olyan üzemeknél, ahol

nitrifikációt is kell alkalmazni. Márpedig mind a tervezett, mint a reaktívált rendelet szerint erre gyakorlatilag az összes hazai szennyvíztisztítóban szükség van.

A foszfor esetében a fenti igény azt jelenti, hogy a százezer LE-nél nagyobb terhelésű telepeknél is a gyakorlatban 1,5 mg/l körül lehet a tisztított vizek összes foszfor tartalma, hiszen a hazai, városi szennyvizeink foszfortartalma nem igen van 7,5 mg/l koncentráció alatt. Más kérdés, ha a befogadó a kiemelten védett kategóriába esik, amikor is 0,7 mg/l az összes foszfor tartalom határértéke. Ilyen nagyobb telep azonban talán egyedül csak a keszthelyi. Ott viszont a Balaton miatt már most is fokozott foszforeltávolítás a követelmény.

A 9/2002 rendelet szerinti foszfor határérték azért a nagyvárosok esetén mégis fejlesztést igényelt volna. Némileg segít ugyan, hogy az oda települt élelmiszeripari üzemek szennyvizei a KOI/összes P arányt rendszerint megnövelik a szennyvízben, ami a biológiai úton történő foszforeltávolítás hatásfokát javítja. Ellene hat ennek az ugyanitt általánosan alkalmazott előülepítés biológiára kerülő szennyvíz KOI/összes P arányát csökkentő hatása. Az előülepítést persze a biológiai kapacitás csökkentése, s a primer iszapból kinyerhető nagyobb gázhozam érdekében preferálják az üzemek. A különböző érdekeltségek ellenére az optimum kialakításával azonban a jövőben az ilyen mérettartományba tartozó telepeknek sem valószínű, hogy komoly problémái legyenek a százalékos hatásfokkal behatárolt határértékek elérésénél.

Természetesen más a helyzete a korábbi rendelet reaktíválásával valamennyi III-VI kategóriába tartozó szennyvíztisztítónknak (üzemmérettől függetlenül), hiszen azok gyakorlatilag mind folyóvízbe vezetik a tisztított vizeiket, ahol elvileg nincs foszfor határérték. Ebbe a határértékbe azonban mint már utalás történt arra a regionális hatóságoknak is van némi beleszólási lehetősége.

Az összes nitrogén határérték tekintetében a nagyvárosok a 9/2002 rendelet alapján is ugyancsak kedvezőtlenebb helyzetben látszottak lenni a jövőben a százalékos nitrogén eltávolítás figyelembevételével, mint a számszerű határérték alapján. A hatásfokkal megkövetelt mérték, vagy határérték a nitrogénnél is kedvezőbb, hasonlóan a foszfor esetéhez. Fontos, hogy a hatásfokot a tisztítóba érkező nyers szennyvízre számolják. A rendelet rosszabb értékét, a 80 %-os eltávolítás követelményét figyelembe véve is, a 10 mg TN/l kibocsátási határérték csak 50 mg/l körüli befolyó szennyvíz összes nitrogéntartalom esetén követelmény, ami azt jelenti, hogy a tisztítóba érkező szennyvizeknek ekkor 40 mg/l körüli ammónium tartalma kellene legyen. Nos a hazai szennyvizek a tapasztalatok szerint ennél általában töményebbek, így a kibocsátási határérték is valamivel nagyobb lehet a 10 mg TN/l értéknél.

Hasonlóan még kedvezőbb a helyzete a korábbi rendelet reaktíválásával valamennyi III-VI kategóriába tartozó szennyvíztisztítónknak (üzemmérettől függetlenül) a nitrogéneltávolítás (meghatározóan a denitrifikáció) tekintetében, hiszen azok gyakorlatilag mind folyóvízbe vezetik a tisztított vizeiket, ahol elvileg nincs nitrát határérték. A regionális hatóságok ezt befolyásoló lehetőségeit illetően azonban a nitrátnál is ugyanaz a helyzet, mint a foszfor esetén.

Az új rendelet időszakos, különleges értelmezése

Az elmúlt hónapokban terjedni látszott olyan vélemény is, miszerint a 9/2002 sz. rendeletet úgy kell értelmezni, hogy a 10000 LE feletti üzeméret esetén csak az első három paramétert (KOI, BOI₅ és lebegőanyag határértékeket) kell a rendelet 2. melléklete alapján (4. táblázat)

figyelembe venni, a további mutatókat pedig az 1. melléklettel szabályozott befogadó határértékeknek megfelelően is lehet teljesíteni (3. táblázat).

Ez a változat jelentősen enyhítette volna a nagyobb szennyvíztisztítók (>10000 LE) tisztítási követelményeit, s ezzel költségeit is. A 15 és 10 mg NH₄-N/l határértékkel szemben az egyéb védett kategóriában csak 30, az általánosban pedig csak 50 mg/l, illetőleg a foszfor esetében a 2, valamint százezer LE üzemméret fölött 1 mg összes P/l értékkel szemben az egyéb védett kategóriában üzemmérettől függetlenül 2, az általánosban pedig minden esetben csak 10 mg/l határértéket követelt volna meg.

A rendelet ilyen értelmezése azonban a lakossági és állami költségek csökkentésére való törekvés mellett jogsértő lett volna, és a gyakorlatban csakis a rendelet megfelelő módosítása után lett volna alkalmazható. Ellenkező esetben a beruházók az üzemeltetőkkel és a hatóságokkal egyetemben igen rövid időn belül súlyos jogi következményekkel számolhattak volna. Az első probléma talán csak akkor jelentkezett volna, ha hivatalosan csatlakozunk az EU-hoz, hiszen az erre készített rendeletünk csak írásban felelt volna meg a közösség előírásának. Budapest a kellő szennyvíztisztító-kapacitásának a hiánya, s a kiépítésére rendelkezésre álló kevés idő miatt valószínűleg mindenképpen elmarasztalásra kerül, netán Brüsszelhez és Milánóhoz hasonlóan jelentős pénzbírságra is számíthat, ha a derogációs tárgyalásokon a csatlakozásig ezt valahogy nem sikerül kivédeni. A többi nagyobb városunkat és nagyobb szennyvíztisztítóinkat azonban nem lenne célszerű hasonló jogi következményeknek kitenni. Ezt a különös értelmezést ezért minél előbb célszerű elfelejteni.

Gondot jelent persze reaktívált rendelet is, hiszen az nem konform az EU 271/1991-es javaslatával. A kritikus ütközőpontjuk a nagy telepen nitrogén és foszfor eltávolításának eltérő igénye. Igen nagy hibája ugyanakkor a több mint húsz évet is megérő hazai rendeletnek, hogy a tisztítás téli időszakban üzemmérettől erősen függő lehetőségeit nem hajlandó figyelembe venni.

EU előírás és más országok toleranciája

Egyértelmű az EU javaslatból, hogy bármely ország annál messze szigorúbb követelményeket is előírhat saját területére, környezetének, természeti adottságainak a fokozott védelmére. A szigorításban azonban talán nem kellene az élen járnunk. Elég lenne a jelenlegi szomszéd EU országok, mint Ausztria vagy Németország követelmény-rendszerét átvennünk, melyek kellően szigorúak ugyan, de a kis településeik téli szennyvíztisztításával szemben nem illuzórikusak. Az üzemméretet és a szennyvíz hőmérsékletét a 10 ezer LE alatti terhelésű üzemeknél is figyelembe veszik (Kirchner et al., 1997).

A nitrifikáció sebessége a kisebb környezeti hőmérsékletnél (<10-12 °C) igen rohamosan csökken, ami azzal fordítottan arányos iszapkor, illetőleg levegőztetett medence-térfogat növelést igényel. (Az iszapkor 15-20 nap fölött csaknem lineárisan arányos a rendszerben "működtetett" eleveniszap tömegével, vagy a medence térfogatával.) 7-8 °C közötti szennyvíz hőmérsékletnél (medencevíz hőmérséklet) mintegy 30-40, 6 °C körül már 50-60 napos iszapkor is kell a megfelelő nitrifikációhoz. Ennél kisebb hőmérsékleten a nitrifikáció teljesen leáll. Az EU ajánlás éppen ezért az utóbbi hőmérsékleteknél (<12 °C) nem követeli meg a nitrifikációt. Mivel a szennyvíz ilyen mértékű lehűlése csak a kisebb telepeknél következik be, az említett országok (Ausztria és Németország) az 5000 LE terhelés alatti telepekre a különösen védett térségeket kivéve egyáltalán nem írják elő a nitrifikációt / denitrifikációt. Ez

komoly költségtakarékosság a szennyvíztisztításuknál (5. és 6. táblázatok) (Kirchner et al., 1997).

5. táblázat: Ausztria szennyvízbefogadóra előírt határértékei.

Jellemzők	Határértékek / üzemméretnek megfelelően /LE - 60 g BOI ₅ /fő d/, mg/l			
	1 50-500 LE	2 500-5 000 LE	3 5 - 50 ezer LE	4 >50 ezer LE
BOI ₅ ^{f)}	25	20	20	15
KOI ^{f)}	90	75	75	75
TOC	30	25	25	25
NH ₄ -N ^{a)}	10	5	5	5
Összes N eltávolítás ^{a)}	c)	c)	70% min.	70% min.
Összes N eltávolítás ^{b)}	c)	c)	60% min.	60% min.
Összes P	c)	1,5 ^{d)}	1,0 ^{e)}	1,0 ^{e)}
(PO ₄) ³⁻	c)	1,0 ^{d)}	0,8 ^{e)}	0,8 ^{e)}

a) ha a tisztított víz hőmérséklete >12 °C -nál,

b) ha a tisztított víz hőmérséklet e 8-12 °C között van,

c) nincs határérték,

d) 1 000 LE felett érvényes, alatta c) előírás van érvényben,

e) kiemelten védett területeken 30 000 LE felett a határértékek a következők:

TP - 0,3 mg P/dm³, (PO₄)³⁻ -P - 0,2 mg P/dm³, foszforeltávolítás hatékonysága > 95 %,

f) A lebegő és ülepedő anyagok mennyiségét a BOI₅ és KOI limitálja.

6. táblázat: A németországi szennyvízbefogadókra előírt határértékek.

Jellemzők	Határértékek / üzemméretnek megfelelően /LE - 60 g BOI ₅ /fő d/, mg/l				
	1 <1 000 LE	2 1 000-5 000 LE	3 5 - 20 ezer LE	4 20-100 ezer LE	5 <100 ezer LE
BOI ₅	40	25	20	20	15
KOI	150	110	90	90	75
NH ₄ -N ^{a)}	-	-	10	10	10
összes-N ^{a)}	-	-	18 ^{b)}	18 ^{b)}	18 ^{b)}
összes-P	-	-	-	2	1

a) ha a tisztított víz hőmérséklete meghaladja a 12 °C értéket, hőmérséklet helyett a május 1 - október 31 időszak is tekintheti korlátozás mentesnek,

b) 25 mg/dm³ értékig is engedélyezhető, ha a tisztító összes-nitrogén eltávolítási hatékonysága 70 % fölött van.

A korábbi hazai befogadó-orientált vízminőség szabályozás is figyelembe vette, hogy a hidegebb időszakban a befogadóba kerülő tápanyagterhelés abban az időszakban nem okoz azokban súlyosabb következményeket a természetes hígulás és jobb oxigénellátottság, no és a hidegebb vízben lelassuló káros biológiai folyamatok (algatevékenység hatására jelentkező eutrofizáció) eredményeként. Az üzemméret meghatározó hatását azonban a rendelet

megfelelő módosításával két évtized alatt sem volt képes figyelembe venni. Először tehetne volna ezt az EU harmonizált új hazai rendelet, ha abban az üzemméret kritikus hatását (nitrifikáció/denitrifikáció) a tízezer LE terhelés alatt is figyelembe veszik.

Hazai szennyvíztisztítás típusválasztása

A hazai kontinentális éghajlat miatt télen ($<10\text{ }^{\circ}\text{C}$ szennyvíz, illetőleg talajvíz hőmérséklet esetén) az ammónium-tartalom téli, 10-30 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ koncentráció alá történő csökkentése természetes szennyvíztisztító rendszerekkel lehetetlen. Ennek megfelelően az ilyen rendszerek építését hazánkban a rendelet hatályba lépésétől kezdődően nem szabadna engedélyezni, sőt a már megépítettek üzemeltetését is le kellene állítani. Az EU országokban napjainkban ugyanakkor éppen az ilyen tisztítók kiépítését támogatják különös figyelemmel, természetesen az osztrák, vagy német (5. és 6. táblázat), vagy azokhoz hasonló elvárásokat támasztva azok tisztításával szemben (5000 LE terhelés alatti üzemeknél általában nem kell nitrifikáció, denitrifikáció és többletfoszfor eltávolítás sem) (Kirchner et al., 1997).

A korábban megépített, többnyire nyárfás öntöző, elszivárogtató rendszereket persze értelmetlen lenne nálunk megszüntetni, de gondos felülvizsgálatuk az új rendelkezés teljesítését illetően elengedhetetlen. Megfelelően kis fajlagos terhelés esetén a legegyszerűbb technológia is alkalmas lehet a szükséges tisztításra, kivéve a téli nitrifikációt / denitrifikációt, és a foszfor csaknem teljes mértékű eltávolítását. Szükség esetén azonban gondoskodni kell jobb hatásfokú tisztítással történő helyettesítésről.

A hazai gyakorlatban megépített csepegtetőtestek a téli, alacsony hőmérsékletre, a természetes szűrőrendszerekhez hasonlóan fokozottan érzékenyek, tehát nem teljesítik a jelenlegi igényeket. Amelyik ide sorolható biofilmes szennyvíztisztító típusra ez nem igaz (elárasztott biofilmes, rögzített ágyas, vagy hibrid rendszerek), hazánkban csak elvétve található egy-egy példa. Ezért a jelenleg érvényes rendelet mellett a hazánk gyakorlatában szinte kizárólagosan szóba jöhető szennyvíztisztító típus csakis az olyan nitrifikáló / denitrifikáló eleveniszapos rendszer, melyekben a többletfoszfor eltávolítása vagy speciális biológiai megoldással, vagy vegyszeres kicsapatással, esetleg a kettő kombinációjával történik.

Az eleveniszapos tisztításnál a megfelelő nitrifikáció eléréséhez lakossági szennyvizek esetében a $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ téli szennyvízhőmérsékletig átlagosan 10 napos oxikus (levegőztetett) iszapkor biztosítása szükséges. Ezzel közelítőleg azonos átlagos terhelés értékek a napi mintegy 0,1-0,15 kg BOI_5/kg iszap szárazanyag fajlagos iszapterhelés, a napi 0,5-0,7 kg BOI_5/m^3 fajlagos (eleveniszap) térfogati terhelés, illetőleg az érkező szennyvíz átlagos koncentrációjától függően az összes eleveniszapos medencetérre számítható 2/3 - 4/3 napos átlagos hidraulikus tartózkodási idő. A medencetérfogatok legalább felét levegőztetni kell, a többit (anoxikus és anaerob medencetér) kevertetni. A tisztító BOI_5 (biológiailag bontható szerves anyag) terhelésének számításához feltételezhető, hogy a közcsatornán lakosonként naponta 55-60 g BOI_5 egyenértéknyi szennyezés érkezik a tisztítótelepre. Ez azt is jelenti, hogy a lakossági rákötések üteme annak megfelelően változtatja a tisztító terhelését, ami annak a tisztítási hatásfokát is szükségszerűen változtatni fogja.

A megfelelő denitrifikáció érdekében mintegy 4-7 napos anoxikus iszapkor kell a rendszerben. Az utóbbi nem levegőztetett, de folyamatosan jól átkevert eleveniszapos medencével biztosítható, ahol a szerves anyag bontása a nitrát oxigénjével történik, egyidejűleg nitrogénné redukálva, és eltávolítva a befogadó víztestek potenciális növényi

tápanyagát, minimalizálva a nappali algaprodukción (szerves anyag terhelést), majd éjszaka azt lebontó bakteriális tevékenységet eredményező nitrátot.

A foszfor teljesebb biológiai eltávolításhoz az oxikus és anoxikus medencéken túl olyan anaerob medencetér is szükséges, ahol további 2 nap körüli átlagos iszapkor (átlagos iszap tartózkodási idő) is rendelkezésre áll. Itt az oxigén és nitrát kizárásakor speciális, úgynevezett foszfor akkumuláló heterotróf mikroorganizmusok elszaporodására (szelekció) nyílik lehetőség. Ezeknek a lényegesen nagyobb foszforfelvétele a teljes rendszer jobb átlagos foszfor eltávolítását eredményezi. Az eltávolításra kerülő fölösiszap nélkülük 1,5 , kellő részarányuknál 4-5 % foszfort tartalmaz.

A három eltérő medencetér kombinációjakor a rendszer teljes iszapkor igénye így 10-12 °C vízhőmérsékletnél 18-20 nap körüli. Alacsonyabb vízhőmérsékletnél ennél is nagyobb, amire azonban a gyakorlatban csak igen ritkán terveznek szennyvíztisztítót, éppen az egyes nemzeti előírások téli nitrifikációs igényeinek az értelemeszerű mérséklése következtében. Nyáron a melegebb vízhőmérsékletnél természetesen az így adódó oxikus és anoxikus térfogatok 2/3-a is elegendő lenne a kellő nitrogén eltávolításhoz.

Kisebb szennyvíztisztítók (agglomerációk) üzemeltetési problémái

Mivel sem az EU szinkronizált hazai, sem az új-régi hazai szabályozás a nitrifikáció részletezett problémáit nem vette figyelembe, mindegyik igen súlyos terhet jelent a kis települések, kisebb agglomerációk napjainkban kiépítendő szennyvíztisztítására. A tisztítandó folyadékterfogatra számolható nagy fajlagos csatornahossz, a szennyvíz egyértelmű lehülését eredményezi a már korábban részletezett következménnyel. Ezen túl a csatornarendszer nagy folyadék tartózkodási ideje miatt a szennyvíz anaerob berothadása is jelentkezhet annak minden káros következményével. Az átemelő állomások betonkorróziója mellett a szennyvíz szulfid tartalma a nitrifikációt is folyamatosan károsíthatja a biológiai tisztításnál. Télen a kedvezőtlen hatások együtt jelentkezhetnek, de a berothadás nyáron a berothadás szaghatása miatt is igen zavaró lehet a környezetre. Ez nem csak a költségek további növekedését, többszöröződését jelenti, de a nem kellő biztonsággal megépített telepeknél az előírások téli teljesíthetetlenségét is. Ebben az időszakban az ilyen méretű telepeknél igen nagy valószínűséggel szennyvízbírságot kell majd fizetniük.

Elvileg a rendeletileg szabályozott bírságnak a nagyságától függ, hogy az egyes ilyen telepeknél célszerűbb lesz-e majd a bírságot fizetni (üzemeltetési költség), vagy a korszerűsítésben, túlméretezésben (beruházási költség) gondolkodni. A fajlagos bírságtétel (adott komponens határértékének túllépése alapján kiszabható bírság) az eddigi tapasztalatok szerint a pénz folyamatos inflálódásával időnként korrekcióra szorul, ami a fenti döntést ugyancsak befolyásolja. A lakossági szennyvíztelepeknél azonban a határértékek túllépése miatt az ipari szennyvizek tisztítóitól eltérően elvileg sem lehet rendeletileg leállítani a tisztítást (üzemet), mert az a lakosság elköltöztetésének az igényét (utasítását) jelentené.

Hazánkban a fenti rendeletek hatása az előzőek miatt különösen összetett. A bírsággal jelentkező többletköltség egyértelműen a fogyasztót, a lakosságot terheli üzemeltetési költségként, vagy vízdíjként. Ehhez az önkormányzatok, illetőleg a lakosság eddig állami támogatást kapott. Az EU-hoz történő csatlakozásunkkal a támogatás megszűnik. Ez a szennyező fizessen elv fokozott érvényesítése, s egyben az adó visszacsatolás ilyen formájának a megszüntetése lesz. A bírság kiküszöbölésére szóba jöhető kapacitásbővítés ezzel szemben beruházási költség. Ahhoz a jelenlegi gazdaságpolitika csak igen sarkos

elbírálás alapján ad támogatást. Többnyire csakis új beruházások esetén. Az állam ezért a 9/2002 sz. rendelettel jelentősen szigorított volna (fokozott nitrifikációs, denitrifikációs és foszfor eltávolítási igény). Az előrelépés költségeinek az adókból történő kompenzációjával ugyanakkor látszólag egyáltalán nem kívánt foglalkozni.

Az "EU szinronizált" és a régi-új szabályozás egyéb hatásai

A tervezett hazai szabályozás a kisebb üzemeknek a nagyobbakhoz képest látszólagosan engedményt tett az összes nitrogén- és foszfor határértékek tekintetében az általános kategóriába sorolt, kevésbé védett területek befogadójánál. (A nitrogén és a foszfor a befogadók eutrofizációjáért felelős tápanyagok). A tízezer LE-nél kisebb terhelésű szennyvíztisztítóknál a nem védett (általános) kategóriában (területeken), ha arra egyéb szigorítást a helyileg illetékes környezetvédelmi hatóságok (regionális felügyelőségek) nem írtak volna elő, 50 mg TN/l, illetőleg 10 mg TP/l (összes nitrogén és összes foszfor) koncentrációig a tisztított szennyvizek bírság nélkül bebocsáthatók lettek volna a befogadóba.

Az 50 mg TN/l fajlagos mennyiségből 10 mg/l ammónium-nitrogénként lehetett volna jelen. A többi kötött nitrogénből így mintegy 40-50 mg nitrát-N/l koncentráció maradt volna megengedhető. Az utóbbi csaknem 175-220 mg NO_3^- /l koncentrációjú tisztított szennyvíz kibocsáthatóságát jelentette volna. Ez egyrészt enyhébb, másrészt szigorúbb a régi-új hazai előírásnál. A III-VI kategóriákban ugyanis a folyóvíz befogadóknál nincs határérték a nitrát koncentrációjára. Az I-II kategóriákban 40-50 mg/l ez az érték, míg a többi kategória állóvízeinél 80 mg nitrát/l a megengedett bebocsátási koncentráció.

Hazánkban egy viszonylagosan kis fajlagos vízfelhasználással rendelkező falusias agglomerátumban a tisztítandó szennyvíz összes redukált nitrogén koncentrációja jelenleg mintegy 100-150 mg TKN/l körül alakulhat. Az utóbbi értékek a lakos egyenértéknek (LE) megfelelő napi nitrogénszennyezésből (12 g/fő nap), és a napi mintegy 75 - 125 l/fő fajlagos vízfelhasználás hányadosából adódnak. A szennyvíziszapba kerülő nitrogéntartalom nem csökkentheti olyan mértékben az összes nitrogénből kialakuló nitrát koncentrációját, amivel a 40-50 mg NO_3^- -N/l (175 - 220 mg/l nitrát) határérték elérhető lett volna. Ennek megfelelően valamennyi ilyen hazai szennyvíztisztító telepünknek denitrifikációt is kellett volna biztosítani, mégpedig a téli időszakban is. A nagyobb fajlagos vízfelhasználású (gazdagabb) térségekben kisebb mértékűt, a kisebb vízfelhasználásúaknál (szegényebbeknél) fokozottabbat. Ez azt is jelenti, hogy a szegényebb térségek fajlagos szennyvíztisztítási költsége szükségszerűen nagyobb lett volna. A tisztítás fajlagos költsége egyébként az üzemmérettel már önmagában is fordítottan arányos, ami az előző hatást tovább erősíti.

A foszfor eltávolítására vonatkozóan hasonló a tendencia. Biológiai többletfoszfor eltávolítás, vagy kémiai foszfor kicsapatás nélkül a kis települések szennyvíztisztítói csak ritkán tudták volna teljesíteni a 10 mg TP/l határértéket. A fajlagos tisztítási költséget illetően ezért ennek is hasonló hatása érvényesült volna, mint a nitrogén eltávolítási igényének.

A gyakorlatias német szabályozás éppen azzal javítja a kis szennyvíztisztítóinak a téli nitrifikációját (ATV 131A, 2000), hogy a 12 °C alatti szennyvízhőmérsékletnél az ilyen tisztítók denitrifikációt végző, nem levegőztetett (anoxikus), illetőleg biológiai többletfoszfor eltávolítás fokozására alkalmazott anaerob tereit is levegőztetni, azaz nitrifikációra hasznosítani javasolja. Ezzel javítja télen a nitrifikációt, de rontja a denitrifikációt és a biológiai többletfoszfor eltávolítást. Az utóbbi egyébként vegyszeradagolással kompenzálható a hideg időszakban. A téli időszakban a befogadóba kerülő, nyári időszaknál nagyobb

nitrogénszennyezés ugyanakkor a melegebb időszak beköszöntéig ki is kerül az adott befogadóból, folyami vízszállító rendszerből (országból), nem terhelve azt különösebb eutrofizációval a melegebb időszakban.

A fentiekkel alapján megállapítható, hogy mindegyik hazai szabályozásnál mind a kis, mind a nagyobb hazai szennyvíztelepeinken is, meghatározóan a nitrifikáció továbbra is általános téli igénye miatt, gyakorlatilag csakis az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás jöhet szóba elfogadható megoldásként. A régi-új rendelkezés gyakorlatilag csak a denitrifikációt, és a többletfoszfor eltávolítást nem írja elő további két évig (azt viszont üzemmérettől függetlenül). Ez utóbbiak jelentenek igen nagy kedvezményt, gyakorlatilag a rekonstrukciók elhalasztását a megfelelő denitrifikációra és biológiai többletfoszfor eltávolításra alkalmatlan nagyobb szennyvíztisztító telepeinknél. Vigyázni kell azonban a fejlesztési költségek ütemezésével, mert az EU az igényeivel a fejlesztéseket mindenképpen ki fogja követelni, s nem biztos, hogy a feladat átütemezése anyagilag is jövedelmező lesz.

Az eleveniszapos szennyvíztisztítók kiépíthető változatai

Az eleveniszapos rendszerek meghatározója a lebegő állapotban élő, szaporodó, s egyidejűleg lassú ütemben pusztuló mikroorganizmus tömege. Ez tevékenysége során mind a lebegő, mind az oldott formájú szennyező anyagokat hasznosítja, saját anyagává és sejtfal maradványává, valamint széndioxiddá alakítja. Minél kisebb a tisztító relatív szerves anyag terhelése (nagyobb iszapkor), annál nagyobb mértékben oxidálja a szerves anyagot CO_2 -vé, és annál kevesebb lesz a tisztítás iszapmaradék (fajlagos fölösiszap hozam - kg iszapmaradék / kg BOI_5). A biológiai bonthatatlan szennyezők részben bezáródnak az iszapszerkezetbe (bonthatatlan szerves és szervetlen, ásványi lebegő anyagok), részben az iszap felületén is megkötődnek a molekulák adszorpciója, vagy az ionok elektrosztatikus kölcsönhatásai révén. Az utóbbiak közül hatásában a bonthatatlan szerves anyagok adszorpciója a fontosabb. Az iszapon a toxikus anyagok is adszorbeálódnak valamilyen mértékben, miközben nem csak káros szennyezést jelentenek, de a biológiai folyamatokat is károsítják.

Az iszapot az utóülepítő választja el a tisztított víztől. Az iszap recirkulációjával a mikroorganizmusok biológiai munkája sokszorosán kihasználásra kerül, ami egyidejűleg a mindenkori szennyező anyagokhoz történő kellő adaptációját is biztosítja. Az ilyen tisztítóknak a korábban már említett, valamennyi szükséges mikroorganizmus csoportnak a megfelelő arányban kell elszaporodni, hogy a tisztítás a kívánt hatásfokot mindegyik szennyezőanyag (szerves anyag, ammónium, nitrát, foszfát) eltávolítására vonatkozóan biztosíthassa.

Mint eddig már többször megállapításra került, az ammóniát oxidáló, s szerves anyagot nem fogyasztó, úgynevezett nitrifikáló mikroorganizmusok (autotrófok) a hőmérsékletre a legérzékenyebbek, mivel ezek energianyerése messze kisebb a szerves szén oxidációját végző heterotrófokénál. A nitrifikálókat ezért az oxigénellátottság is jobban befolyásolja, mint a heterotrófokat. A nitrifikáció csak nagyobb oxigénkoncentráció esetén kellő sebességű, amiért a levegőztetést annak a mindenkori oxigénigénye szerint szabályozni is kell.

A nitrát redukciójára a heterotrófok nagy része képes. Oxigén hiányában a nitrát oxigénjét hasznosítják. Ezt azonban csakis oxigén hiányában teszik. Elsődlegesen azok is az elemi oxigént hasznosítják, de az oxigénnek a nitrát bontásában egyéb gátló hatása is van. Ezért kell a denitrifikáláshoz anoxikus, vagy oxigénmentes környezet. A már ugyancsak említett többletfoszfort akkumuláló fajok ugyanakkor csak az oxigén, és a nitrát egyidejű hiánya

esetén fejtik ki áldásos tevékenységüket. A kialakítandó rendszereknek tehát okvetlenül három ilyen eltérő környezetet magába foglaló technológiának kell lenniük.

A levegőztetett, nem levegőztetett (de nitrátot tartalmazó), valamint sem oxigént, sem nitrátot nem tartalmazó környezet azonban nem szükséges, hogy térben kövesse egymást. Lehet azokat időben is váltogatni, akár egyetlen reaktorban is. A felsorolt mikroorganizmus fajok át tudnak vészteni bizonyos időtartamot a nekik kedvezőtlenebb, másik fajoknak ideális környezetben is. Ilyen képességük nélkül a kombinált rendszerek üzemképtelenek lennének, nem fejlődhetett volna ki. Mivel az egyes szerves anyagot fogyasztó csoportok (szerves anyag oxidáló, nitrát redukáló és többletfoszfor akkumuláló) szerves tápanyag érzékenysége is különböző, a térben ciklikus rendszereknél előbb az anaerob, majd az anoxikus, s végül a levegőztetett tér sorrend a célszerű. Az időben ciklizált megoldásnál a tápanyag szakaszos adagolásának ugyanennek az elvnek megfelelően kell történnie. A nem levegőztetett tereket kevertetni kell, hogy az iszap ne ülepedjen ki, s a mikroorganizmusok folyamatos, jó tápanyag ellátottsága biztosítva legyen.

Mindezek alapján belátható, hogy az ilyen, három eltérő tápanyag-ellátottságot biztosító rendszerek sokféle változatban kiépíthetők. Az egyes medencerészek formái (csőszerű, vagy teljesen kevert tank) kialakítása, a tisztítandó nyers szennyvíz egy, vagy több ponton, programozottan, szabályozottan történő bevezetése, a visszaforgatott iszap (iszapos folyadékáramok) hasonló bevezetési lehetősége (ciklizálása, szabályozása), a levegőztetés eltérő típusai, valamint ciklizálása, szabályozása mind olyan tényezők, melyek a technológiai variációk számát növelik. Hazánk gyakorlatában a világszerte alkalmazott változatoknak napjainkig csak a kisebb hányada került kiépítésre.

Az iszapmaradék kérdése

Tovább komplikálja a rendszer kiválasztását a keletkező szennyvíziszap továbbfeldolgozásának, hasznosításának a szükségessége is (Juhász és Kárpáti, 2002). Kis telepeknél az anaerob iszapstabilizálás (biogáz gyártás) túlzottan drága, ott az utólevegőztetéssel történő (oxikus) stabilizálás szükséges, hacsak nem kellően túlméretezett a tisztító ahhoz, hogy abban az iszapstabilizálás is megtörténhessen. Az így keletkező iszap víztelenítés nélkül csak injektálva kerülhet a talajba, annak a felszíne alá. A talajfelszínre csak a víztelenítést követően további fél éves tározás, érlelés után szabad azt kijuttatni, kiszórni, biztosítva egyidejűleg annak a közvetlen aláforgatását.

A víztelenített iszapokat (primer, szekunder, valamint anaerob rothasztott) ugyanakkor komposztálni is lehetséges. Történhet ez segédanyagokkal, vagy azok nélkül is. Ilyenkor az oxidáció olyan szabad (mintegy 30%) gáztérfogatot tartalmazó, szó szerint halmaz (halom, kupac) állapotban történik, ahol a baktériumok mellett meghatározó szerepet játszanak a gombák és sugárgombák is. Gyakorlatilag az utóbbiak bontják le azokat a cellulóz, hemicellulóz és lignin komponenseket, sejtfal maradványokat, melyeket a baktériumok nem tudnak lebontani. Ezzel előbontott tápanyagot szolgáltatnak a baktériumok egyidejű tevékenységéhez. A humusz kialakításának a pontos részfolyamatai az átalakításoknál még nem kellően ismertek, de évezredek tapasztalata bizonyította az átalakítás tényét, hasznosságát.

Napjaink hulladék újrafelhasználásának tervezésénél ezért fontos a komposztálás tervezése, mert az égetéssel szemben a maradéka nem jelent további környezeti veszélyt, sőt egyértelműen kívánatos a növény- és élelmiszer-gazdálkodásnál (Kárpáti, 2002b). A

komposzt hasznosítására azonban a köregetegben, legyen az sziklás talaj, vagy nagyvárosi lakókörnyezet, csak igen korlátozott lehetőség nyílik. Az előzőben persze a népsűrűség is kicsi s így a szennyvíztisztítás igénye sem jelentős. Az utóbbinál a szállítási költség irrealitása teheti ugyanakkor célszerűvé a környezet szempontjából kedvezőtlenebb iszapégetést.

Összefoglalás

A hosszútávon fenntartható szennyvízgyártás, szennyvíztisztítás és iszaphasznosítás (tisztított víz és iszapmaradék elhelyezés) biztosítása érdekében a szennyvíz és iszapkezelést a tervezés megindításától szerves egységként kell kezelni. Az iszap hasznosítására, mely magában foglalja a megelőző iszapkezelési lépéseket és az iszap végső elhelyezését, felhasználást is, a folyadék kezelési vonal tervezését megelőzően készítenő megfelelő koncepciót. Az iszap stabilizálásának igényét is a szennyvíz és iszapvonal tervezését megelőzően kell pontosítani az üzemméret és az iszaphasznosítás helyi adottságainak megfelelően. A szennyvíztisztítás és iszapkezelés, elhelyezés, hasznosítás tervezése ennek megfelelően egymástól nem választható el, azokat csakis szerves egységben, a környezet adottságainak a figyelembe vételével lehet optimalizálni.

Hivatkozások

- ATV - DVWK A 131 Munkafüzet (2000) Egylépcsős eleveniszapos berendezések méretezése. ATV 2000 május - Fordítás: MASZESZ, Budapest, 2001.
- Czakó L., Miháلتz P. (1993) Trendek és szemléletváltás a szennyvíztisztításban. Magyar Kémikusok Lapja, XLVIII, (10-11) 453-462.
- Juhász, E. - Kárpáti, Á. (2002) Szennyvíziszap keletkezése, kezelése, elhelyezési lehetőségei. (Lakossági szennyvizek aerob tisztítása eleveniszapos és más módszerekkel. Ismeretgyűjtemény, No. 3. Szerk.: Kárpáti, Á) VE, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 18-29.
- Kárpáti, Á. (2002a) Az eleveniszapos szennyvíztisztítás fejlesztésének irányai. I-II. (Eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek és ellenőrzése. Ismeretgyűjtemény No. 2. Szerk.: Kárpáti, Á) VE, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 1-26.
- Kárpáti, Á. (2002b) A szennyvíztisztító - iszapkezelő együttes jövője. (Aerob szennyvíztisztítás vizsgálata, modellezése - anaerob szennyvíztisztító rendszerek - iszapkomposztálás. Ismeretgyűjtemény, No. 5. Szerk.: Kárpáti, Á.) 86-94; Komposztálás. (Szennyvíziszap rothasztás és komposztálás. Ismeretgyűjtemény. No. 6. Szerk.: Kárpáti, Á) VE, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 19-96.
- Kirchner, A., Poeltner R., Kárpáti Á.: Ausztria, Németország, Lengyelország és Magyarország szennyvíztisztítási követelményeinek az összehasonlítása. MHT-VE KmKTT Szeminárium, Veszprém, 1996. május 30. Kiadványkötet (Szerk.: Kárpáti, Á.) 1-9.
- Öllös G. (1991) K+F eredmények. II. Szennyvíztisztítás. AQUA Kiadó, Budapest, p. 1299.
- Sedlak R. (1992) Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater - Principles. and Practice 2nd ed., Lewis Publisher, New York, p. 240.
- Seviour, R.J. - Lindrea, K.C. - Griffith, P.C. - Blackall, L.L. (2002) Az eleveniszapos szennyvíztisztítás mikrobiológiája. (Eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek és ellenőrzése. Ismeretgyűjtemény No. 2. Szerk. Kárpáti, Á) VE, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 27-45.
- Sorensen B. H., Jorgensen S. E. (1993) The Removal of Nitrogen Compounds from Wastewater, Elsevier, Amsterdam, p.443.