

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás részműveletei, méretezésük és kiépítésük

Dr. Kárpáti Árpád

karpatia@almos.vein.hu

Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék

Bevezetés

A lakossági szennyvizek tisztításának jelenlegi lehetőségei alig több mint 100 éves intenzív fejlesztés eredménye. A lakosság kiválasztási hulladékainak (széklet, vizelet) az elhelyezése az ipari forradalmat követően, a nagyvárosok kialakulásával, a 19. század közepén vált igazán kritikussá. A vízöblítéses megoldás (WC) elterjedése lényegesen megnövelte a hulladék térfogatát, amit a rendelkezésre álló talaj már nem tudott kellőképpen befogadni, feldolgozni. Akár csak egy évszázaddal később a mezőgazdasági talajok a túlzott dózisú hígtrágya kihelyezést. A nagyvárosok közcsatornáinak kiépítése éppen ezért a 19. század második felének égető feladata volt. Hamarosan kiderült azonban, hogy az azokkal a felszíni vizekbe került szennyezés igen gyorsan felborította az utóbbiak biológiai egyensúlyát. Oxigénhiányt, majd a víztest berothadását, súlyos károsodását eredményezte.

Mivel a szennyvizek öntözésének már ekkor is évszázados hagyományai voltak, a szennyvizek tisztítását is először annak analógiájára, talajszűrővel próbálták megoldani, intenzifikálni. Egy-két évtized múlva, a 19. század végére azonban kidolgozták a biofilmes (csepegtető testes) és eleveniszapos szennyvíztisztítás technikáit is. Az előbbi igen érzékenynek bizonyult a biológiai és a hidraulikus terhelés mértékére. Kicsit zavaros elfolyó vizet is eredményezett, iszapfozama azonban igen kevés lett. Más kérdés, hogy az ilyen tisztítók előtt annak eltömődését megelőzendően a lebegőanyag tartalom döntő hányadát előüleptítéssel kellett eltávolítani. Ez természetesen iszaptermelést, maradékot jelentett. Az eleveniszapos biológiai tisztítás kidolgozásával mind a hidraulikus, mind a biológiai terhelésre kevésbé érzékeny rendszert sikerült kialakítani. Ennél is kedvező ugyan az előüleptítés a biológia terhelésének és iszapfozamáinak a csökkentése tekintetében, de igazán csak a nagyobb, darabos részeket, a gyorsan ülepedő homokok és a felúszó zsír részeket szükséges eltávolítani kiülepedésük, illetőleg iszap felúszató hatásuk elkerülésére. Különösen a kisebb telepeknél tűnt egyszerűbbnek az előüleptítés elhagyása, mert akkor csak egyféle, s jobban stabilizált iszap maradt a kezelésnél.

Az eleven iszapos biológiai szennyvíztisztítás a lebegő iszapot tartalmazó szennyvíz levegőztetését jelenti. A pelyhekké összeálló mikroorganizmusok a szerves szennyező anyagból oxigén segítségével részben széndioxidot, részben saját sejtanyagot (szennyvíziszap) állítanak elő. A mikroorganizmusok szaporodása, elhalása folyamatos, ami a sejtközi állomány újrahasonosítását, s a sejtfal maradék iszapban történő felhalmozódását jelenti. Az élő sejtek és a sejtfal maradék aránya a dinamikus egyensúlyi rendszerben a relatív biológiai terheléstől függő értékre áll be. Ugyan ez igaz az iszap nitrogén és foszfortartalmára is. A maximális sebességgel szaporodó sejt elvileg mintegy 11,5 % nitrogént tartalmaz, míg a megfelelő ammónia oxidációt is biztosító, kisebb iszapterhelésű rendszereknél az iszap nitrogéntartalma csak 5-6 %. A foszfortartalom az iszapban hasonló körülmények között 1,5 % körüli. Ez az átlagos iszapösszetétel határozza meg, hogy a keletkező iszapmaradék a szennyvízzel érkező nitrogén és foszfor terhelés milyen hányadát képes eltávolítani.

Az emberek speciális tápanyag-hasznosításának eredményeként, melynek során csak a hasznosítható szerves anyag szénttartalmát oxidálják, a hulladékaikba (széklet és vizelet) kerülő, a nitrogén és foszfor kibocsátása negyedének, ötödének a beépítéséhez szükséges szerves anyag maradék áll csak rendelkezésre az átlagos lakossági szennyvizekben. A többlet nitrogén és foszfor ezért a technológia fejlesztésének a kezdeti időszakában a szerves anyag jó hatásfokú eltávolítását követően is a tisztított szennyvízben marad ammónium és orto-foszfát formájában. Ennek a hatása a múlt század 30-as, 40-es éveitől jelentkezett komolyan a befogadónál, előbb az ammónium toxicitása, majd a nitrát okozta methemoglobinémia, végül a foszfor eutrofizációs hatása és annak áttételes következményei miatt.

A múlt század negyvenes éveitől a többlet ammónium oxidációját helyenként már szükségesnek vélték. A denitrifikáció csak a 60-as évektől vált feladattá, míg a foszfor fokozott eltávolítására csak a biológiai többletfoszfor eltávolítás felismerésétől, a 70-es évek elejétől fordítottak igazán jelentős figyelmet. Persze a különböző országok eltérő frissvíz készletei, befogadó szennyezettsége, s egyéb adottságai a szigorítások mértékét mindig is meghatározták. A fejlettebb országok szennyvíztisztítási előírásai a nagyobb tisztítóknál ma már valamennyi tápanyagfajtának (komponensnek) a 70-80 %-os eltávolítását követelik meg. Ez csakis az ammóniumnak a szerves anyaggal egyidejűleg történő oxidációjával, majd a keletkező nitrát redukációjával (elemi nitrogénné), valamint a már említett biológiai többletfoszfor akkumulációval, eltávolítással lehetséges. Az eleveniszapos tisztítóknál ezekhez az átalakításokhoz eltérő környezet, iszapterek (levegőztetett, oxigénmentes, valamint oxigén- és nitrát-mentes) kialakítására van szükség. Napjaink telepei ezeket a feltételeket térben, vagy időben változtatva alakítják ki, lehetővé téve valamennyi részfolyamat optimális sebességű végbemenetelét. Csak így érhető el a megkívánt tisztítási hatásfok és egyidejűleg a minimális beruházási költség. Az üzemeltetés további szabályozással történő optimalizálása mindezekén túl is jelentős költségmegtakarítást eredményezhet.

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás egyes műveletei, műtárgyai

A tisztítóba befolyó szennyvíz sok idegen tárgyat is magával hozhat, melyeket a tisztító műtárgyainak, berendezéseinek a védelme érdekében abból előzetesen el kell távolítani. Ilyenek a vízzel részben görgetett, részben úszó nagyobb tárgyak, fa és kődarabok, a finomabb méretű homok, felúszó zsíros, olajos részek, és egyéb, rendellenesen oda kerülő használati tárgyak. Az utóbbiakra legyen csak egyetlen példa a fülpiszkáló műanyag pálcika. Hogy az miért a szennyvízbe kerül, nehéz megmagyarázni. Ezeket a **kőcsapda, a durva, majd finomabb rácsok, szűrők, valamint a homok és zsírfogó műtárgyak** távolítják el. Mindegyik darabos szennyezőanyag-fajta eltávolításának megvan a saját szerepe. Azok a technológiai sor legkülönbözőbb elemeit károsíthatják. A homok kiülepedése, valamint a zsírdarabok lassú bomlása, oxigénbevitelt rontó hatása, majd felúszása a fázisszétválasztásnál általánosan ismert üzemzavarokhoz vezethet.

A kis telepek esetén, mint már a bevezető is érintette, célszerű az **előülepítés** elhagyása. Az ott említett egyféle iszap keletkezésének előnye mellett szükség van arra a jobb tápanyag arány (szerves-szén : TKN, illetőleg szerves-szén : összes-P) fenntartása érdekében is. Ez egyrészt az anaerob zóna jobb acetát, másrészt az anoxikus medence jobb szerves anyag ellátottsága (denitrifikáció gyorsítása) végett célszerű (Kayser, 2002).

A népesebb városok nagy kapacitású telepeinél, ahol az üzemméret következtében az anaerob iszaprohasztás kiépítése is célszerű lehet, az előülepítés mintegy 30 %-al is csökkentheti a

biológiai tisztítás térfogatigényét. Az ilyen üzemeknél azért is favorizálják az előülepítést, mert az iszapjának jóval nagyobb a fajlagos energiataralma (metántermelő potenciálja), mint a szekunder iszapnak.

Az **előülepítés tervezésénél** annak a felületi folyadékterhelése határozza meg a fő méreteket. Az ülepítő felületére számított folyadékterhelés célszerűen 1,5-3 m/h között javasolható. A vízmélység a kör és négyzet alakú keresztmetszet kiépítésénél is átlagosan 2-3 m között változhat. A medencefenékre üledő iszapot alkalmas kotrószerkezetnek kell a szívócsonk közelébe összegyűjteni. Az iszapelvétele szivattyúkkal történik, mert az iszap sűrűsödése jelentős.

A nagyobb telepeknél a három eltérő feladatú biológiai medencét a fonalások visszaszorítását segítő, koncentráció-gradienst eredményező több medencéből álló kaszkádként is kiépíthetik. Ilyenkor a tápanyaggal jobban ellátott, első levegőztetett medencét oxikus **szelektornak** is szokás nevezni. A Johannesburg rendszerénél, illetőleg annak a későbbi módosításainál is szokásos az anaerob medence előtt egy gyakran ugyancsak **szelektornak** nevezett medence beiktatása. Ebben az utóülepítőből visszaforgatott iszap oxigén és nitrát tartalmát kell az anaerob térbe történő bevezetés előtt "elreagáltatni", hogy ott a foszforcserét ne gátolják az annak tápanyagát képező acetát gyors "elégítésével", oxikus, vagy anoxikus felvételével. A szelektornak az oxigénforrások kimerítéséhez belső (endogén), vagy friss szerves tápanyag kell (sejtanyag hidrolízis, vagy érkező szerves szén), valamint megfelelő keverés. Mivel ez a megoldás végül is a foszfor akkumuláló heterotrofok jobb elszaporodását, kellő szelektóját szolgálja, a megnevezés nem is helyteleníthető.

A biológiai medencék térfogatának a tervezését, pontosabban a szükséges iszapkor megválasztását a szennyvíztisztító típusválasztásáról készített korábbi anyag ugyan már részben ismertette, a részletesebb közelítő számítás ismertetésére a következőkben kerül sor. Az eleveniszapos biológia térfogatigénye a napi biológiai terheléstől, s a különböző szennyezőkre elvárt tisztítási hatásfoktól (KOI, ammónium-N, nitrát-N és összes foszfor koncentrációk) függ. Alapvető célja a szükséges iszapkor biztosítása (részletek a típusválasztásnál). A **napi biológiai terhelésből** ($B_d = Q_{be} BOI_{5be}$) a napi iszapozam közvetlenül számítható ($P_x = B_d Y_b$). A terhelés számításánál elhanyagolható a tisztított szennyvízben maradó szerves anyag BOI_5 egyenértéke, mert az rendszerint 15-20 mg/l között alakul, s így az érkező szennyvíz hasonló mutatójának csak maximálisan is a huszada. Elhanyagolása tehát nem okoz jelentős hibát, egyben biztonság a tervezésnél. A **fajlagos iszapozam** (Y_b) ugyanakkor a tisztítandó víz 0,45 mikron méretűnél nagyobb "lebegőanyag" tartalmának, és az iszapkornak a függvénye. Együttes hatásukat a szerves anyagból adódó iszapozamra jól mutatják az ATV (ATV 131 A, 2000) megfelelő tervezési javaslatának a fajlagosai (1. táblázat)

1. táblázat: A BOI_5 -ként mérhető szerves anyag fajlagos iszapozama (Y_b - kg iszap szárazanyag/kg BOI_5) az iszapkor és a lebegőanyag/ BOI_5 - hányad ($X_{TS,ZB}/C_{BSB,ZB}$) függvényében.

$X_{TS,ZB}/C_{BSB,ZB}$	Iszapkor napokban kifejezve					
	4	8	10	15	20	25
0,4	0,79	0,69	0,65	0,59	0,56	0,53
0,6	0,91	0,81	0,77	0,71	0,68	0,65
0,8	1,03	0,93	0,89	0,83	0,80	0,77
1	1,15	1,05	1,01	0,95	0,92	0,89
1,2	1,27	1,17	1,13	1,07	1,04	1,01

Ahol $X_{TS,ZB}/C_{BSB,ZB}$ - a 0,45 mikron méretűnél nagyobb "lebegőanyag" koncentráció/ C_{BOI5be}

A fajlagos iszaphozam láthatóan az iszapkorral, tehát az iszap oxidációjának mértékével csökken. Az ehhez szükséges oxigén, illetőleg levegőmennyiség ellenben értelemszerűen nő, amit az oxigénigény számításánál kell figyelembe venni. A teljes iszaphozam számításához azonban még a foszfor eltávolításával keletkező iszapmennyiséget is figyelembe kell venni, bár annak mennyisége viszonylagosan kisebb.

A biomasszába felvett foszfor iszaphozama 3g szárazanyag / g így eltávolított foszfor. A vegyszerrel eltávolított részre vassal történő kicsapatáskor 6,8 g/g, alumínium esetén pedig 5,3 g/g további iszaphozam számítandó. Belátható, hogy minden lakos után a napi 60 g BOI_5 , illetőleg alig valamivel kisebb nagyságú lebegőanyag mennyiség ($X_{TS,ZB}/C_{BSB,ZB} \cong 0,8$) fajlagos biológiai iszaphozama a teljes tápanyag eltávolításnál 0,8 g iszap szárazanyag /g eltávolított BOI_5 , illetőleg 48 g iszap szárazanyag /fő d. Ugyanez az átlagos napi 1,5-2 g lakosonkénti foszforterhelésre 4,5-6 g iszap szárazanyag /g eltávolított foszfor.

Ha az iszap a teljes foszformennyiséget felveszi, akkor számíthatóan az iszap foszfor tartalma 3-4% körüli. Biológiai többletfoszfor eltávolítás (anaerob teres tisztító) nélkül azonban csak 1,5 % körüli foszfortartalom alakul ki az iszapban, s a többletet vegyszerrel kell kicsapatni. A vegyszerigény mértékétől függően a foszfor eltávolításából adódó vegyszeriszap-hozam láthatóan csaknem meg is duplázódhat, de akkor is csak maximálisan 10 g/fő d körül marad. Ez mutatja, hogy az eleveniszapos szennyvíztisztításnál a foszfor iszaphozama a szerves anyag iszaphozamának csak a 10-20 %-a. Ennyivel kell azt az iszapkor számításánál figyelembe venni.

A fentiek alapján a fajlagos iszaphozamokkal, illetőleg a napi biológiai és foszforterheléssel a **teljes iszaphozam** kiszámolható ($P_x = B_d Y_{BOI} + P_d Y_p$). A biológiai tisztítóban a szükséges iszapkor (Θ_x) biztosításához éppen a napi iszaphozam ennyiszeres mennyiségének megfelelő iszaptömeg ($M_x = P_x \Theta_x$) szükséges. Ez pedig az átlagosan fenntartható 4-5 kg/m³ iszapkoncentráció (X) mellett az azzal számolható ($V_r = M_x / X = P_x \Theta_x / X$) medencetér fogatban biztosítható. A biológiai és foszforterhelés nagysága (B_d és P_d) a fenti, lakosszámmal történt számításhoz hasonlóan a tisztítótelep napi szennyvízhozama és annak BOI_5 és összes foszfor koncentrációja alapján is kiszámolható ($B_d = Q_{be} C_{BOI5, be}$, illetőleg $P_d = Q_{be} C_{P, be}$).

Megjegyzendő, hogy az 1984-es rendelkezés visszaállításával a foszforeltávolítás igénye, a kialakítandó technológia értelemszerűen, a vegyszerigény, iszapszennyezés, illetőleg iszaphozam a fenti összefüggéssel számítható módon változik. Nagyon sok tisztítóknál, ha csak egyedi foszfor határértéke nem kötelezi, szükségtelen az anaerob medencetér. Ennek megfelelően az iszapkort és a korábban javasolt értelemben kisebbre, mintegy 18 naposra lehet csökkenteni.

A **összes szükséges eleveniszapos medencetér fogat** meghatározása egyben a szükséges anaerob, anoxikus és oxikus reaktortér fogatok meghatározását is jelenti. Ezek megosztása a korábbi típusválasztásról készített anyagban fő vonalaiban, az ATV megfelelő tervezési javaslatában (ATV 131 A, 2000) részleteiben is megtalálható. A lakossági szennyvizeknél ez átlagosan 2 : 6 : 12 napos anaerob : anoxikus : oxikus iszapkor arányokat, illetőleg reaktortér fogat arányokat jelent, illetőleg az éppen említett hazai igénynél elvileg csak 6+12=18 naposat. A későbbi megfontolásoknál belátható, hogy elvileg még ennél kisebb

iszapkor is elegendő lehet, hiszen a nitrát határérték hasonló szabályozása miatt esetleg denitrifikációra sincs szükség.

A **medencék mélységét** ugyanakkor a napjainkban legjobb oxigén-kihasználást biztosító finombuborékos levegőbevitel levegőellátására alkalmas fűvók korlátozott szállítómagassága határolja be. Ez általában 4,2 - 4,5 méter. A szükséges medencefelület ennek alapján a reaktorok térfogatából közvetlenül számítható.

Az **anoxikus és anaerob medencéknél** a mélységi korlátozás ugyan nem áll fenn, a telepeket azonban az egyszerűbb kiépítés miatt célszerű azonos mélységű medencékkel építeni. Ezekben a medencékben az iszapos víz folyamatos mozgásban tartása, **keverése elengedhetetlen**. A kitűzött cél egyébként többféle konfigurációban (reaktor-elrendezésben) kiépített rendszerrel is biztosítható.

A tervezést ismertető anyagok rendszerint nem tárgyalják részleteiben a **levegőbevitelt** biztosító **levegősűrítő, szállító és elosztó rendszer** tervezését sem. Erre azért nem kerül sor, mert rajtuk kívül más, mechanikus levegő diszpergálás elvén működő levegőztető rendszerek is alkalmasak arra, mint az ejektoros és mechanikus lapátkeverős levegőztetők. Mindegyik típus gyors és folyamatos fejlesztés alatt áll, ezért tervezésük egységesítése sem alakulhatott ki kellő mértékben, illetőleg az utóbbiak későbbi beépítésére is bármikor lehetőség adódhat.

A **levegőigényt** egyébként a biológiai átalakítások oxigénigényéből lehet kiszámítani. Ez részben a szerves anyag, részben az ammónium oxidációjának az oxigénszükséglete. Az utóbbi azonban a denitrifikációnál részben ismételten felhasználásra kerül a szerves anyag oxidációjára, ezért azt az összes oxigénigényénél korrekcióként figyelembe kell venni. A **szerves anyag oxigénigénye** az iszaphozam számítására használt képlethez hasonló formula alapján is számolható, de ekkor az ott bemutatotthoz hasonlóan a fajlagos oxigénigény iszapkor függését is figyelembe kell venni (2. táblázat).

1. táblázat: A szerves anyag átalakításához szükséges oxigénigény (OC_{BOI5} , kg O_2 /kg BOI_5) meghatározása az átlagos iszapkor és a vízhőmérséklet függvényében.

($C_{KOIbe}/C_{BOI5be} < 2,0$ esetén)

	Iszapkor napokban					
T (°C)	4	8	10	15	20	25
10	0,85	0,99	1,04	1,13	1,18	1,22
12	0,87	1,02	1,07	1,15	1,21	1,24
15	0,92	1,07	1,12	1,19	1,24	1,27
18	0,96	1,11	1,16	1,23	1,27	1,30
20	0,99	1,14	1,18	1,25	1,29	1,32

A szerves anyag átalakításának a fajlagos oxigénigénye láthatóan 0,9 és 1,3 kg O_2 /kg BOI_5 között változik. Ehhez adódik a csak nitrifikálendő, valamint a nitrifikálendő, majd denitrifikálendő nitrogénterhelésnek az oxigénigénye. A **többletnitrogén eltávolításának az oxigénigénye** (ON) a tisztítandó szennyvíz szerves anyag (BOI_5) és TKN koncentrációja, valamint a befogadóra előírt ammónium és összes nitrogén határértékek alapján számítható. Az utóbbiak számítása 4,6 és 1,8 kg O_2 /kg TKN fajlagos értékekkel történhet. Közülük az első az ammónium nitráttá történő alakításának, a második az elemi nitrogénné alakításának a fajlagos oxigénigénye.

A számítást a következő **egyszerűsített példa** érzékelteti. A lakossági szennyvizek nitrát tartalma rendszerint elhanyagolható. A lakosonként feldolgozandó szerves anyag terhelésből (lásd korábban) mintegy 48 g/d fölösiszap keletkezik. Ennek a nitrogén tartalma átlagosan 5-6 %, bár ez is az iszapkor függvénye. Az iszapba így alig 2,5 g/fő d redukált formájú nitrogén kerül felvételre. Mivel a lakosság átlagos nitrogén kibocsátása naponta 12-14 g/fő, mintegy 10 g/fő d további kezelése szükséges. Napi 120 liter vízfogyasztást tekintve átlagosnak, ez a maradék ($10 \text{ g/fő d} / 0,12 \text{ m}^3/\text{d} = 83 \text{ mg/l}$ ammónium maradékot jelent).

A számítást bonyolítja a régi-új hazai szabályozás, amely szerint maximálisan 10-30 mg/l maradhat a határérték miatt ammónium-nitrogén formában a tisztított elfolyó vízben, ami igen laza előírás, de a korábban már említettek miatt a kis telepeken a téli szennyvízhőmérsékletnél ettől függetlenül tarthatatlan. Komplikáltsága miatt ezért a kis telepek esetét nem is számolva egy olyan példát vizsgáljunk, amely az EU 271/1991 >10 ezer terheléstartományba tartozik. Ennél nincs ammónium határérték, de a TN 10-15 mg/l határértéke behatárolja, hogy jól kell nitrifikálni (<5 mg NH₄-N /l tartása célszerű), s emellett jó hatásfokú denitrifikálás is szükséges (5-10 mg NO₃-N/l maradhat az elfolyó vízben).

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás persze úgy működik, hogy vagy megfelelő a nitrifikáció, s akkor 1-2, maximum 5 mg/l ammónium marad csak a tisztítás után a kommunális szennyvízben, vagy nem, amikor viszont a nitrifikáció akár teljesen leáll. A hazai 10-30 mg NH₄-N /l tartása a tisztításnál tehát nem egyszerű feladat. Mint látható a fenti számításból, a nitrifikáció leállása esetén ott 83 mg/l ammónium maradék jelentkezik. Ekkor persze nincs is mit denitrifikálni sem, miközben a határértékek többszörösének megfelelő ammónium koncentrációval kerül a szemre egyébként kristálytisza elfolyó víz a befogadóba.

Az EU 271/1991-es előírás szerint ilyenkor (10 ezer LE feletti terhelésű telepeknél) a mintegy 83 mg/l ammónium-nitrogénből maximálisan csak 5 mg/l lesz az a nitrogén rész, amit nem kell nitrifikálni, hanem ammóniaként a befogadóba mehet. A befogadó összes nitrogén határértéke miatt ilyenkor 5-10 mg/l nitrogén rész kerülhet ki nitrátként ugyanoda. 68-73 mg/l eredeti TKN-t ugyanakkor nitrifikálni és denitrifikálni is kell. A fajlagos vízfelhasználással megszorozva ezeket az értékeket, megkapható, hogy a lakos egyenértéknyi TKN szennyezés iszapba nem kerülő részét milyen részarányban kell nitráltá, illetőleg nitrogénné alakítani a tisztításnál. $5 \text{ mg/l} \times 120 \text{ l/fő d} = 0,6 \text{ g/fő d}$ mennyiség ammóniaként távozhat (az érzékeny befogadónál ennek csak a két ötöde), $5-10 \text{ mg/l} \times 120 \text{ l/fő d} = 0,6-1,2 \text{ g/fő d}$ nitrátként kerülhet a befogadóba, $68-73 \times 120 \text{ l/fő d} = 8,16-8,76 \text{ g/fő d}$ pedig denitrifikálandó. Ez a 10-100 ezer LE határértékeire számolva oxigénigényben $1,2 \times 4,6 + 8,16 \times 1,8 = 5,5 + 14,7 = 20,2 \text{ g O}_2/\text{fő d}$ fajlagos oxigénigényt jelent egy lakos átlagos nitrogén-szennyezésének a feldolgozására.

Mivel a gyakorlatban inkább a 15 mg/l értékhez lesz közelebb a nitrát koncentráció, ugyanakkor 5 mg/l alatti ammónium kibocsátás a jellemző, a számított értéknél nagyobb, inkább 25 g O₂/fő d az előbb számított fajlagos oxigén-felhasználás. Tovább növeli ezt, hogy az iszapban megkötött nitrogén fele az anaerob iszaprothasztásnál visszaoldódik, csaknem 20%-al megnövelve a rothasztóval üzemelő telepek belépő ammónium koncentrációját, s így a nitrogéntávoltításra fordítandó oxigénigényt, ami így már átlagosan 30 g O₂/fő d körüli lesz. A fenti fajlagosoknak megfelelően ugyanakkor ennél is nagyobb mértékben növelheti az oxigénigényt a rossz denitrifikáció, amit pedig a régi-új rendelet nálunk megengedhet. Ez igen nagy oxigénpazarlást, többletvegőztetést, energiapazarlást eredményezhet. Ennek ellentételeként jelentkezik az anoxikus medencék kisebb térfogatigénye, beruházási költség megtakarítása.

Megállapítható azonban a fenti megfontolások alapján, hogy a lakosonkénti átlagos **összes oxigénigény** a szennyvíztisztításnál a szerves anyag $60 \text{ g BOI}_5/\text{fő d} \times 1,25 \text{ g O}_2/\text{g BOI}_5 = 75 \text{ g O}_2/\text{fő d}$, valamint a nitrogén eltávolításának az előbb számított $25\text{-}30 \text{ g O}_2/\text{fő d}$ fajlagos értékeiből adódik össze. Ez összességében $100\text{-}105 \text{ g/fő d}$ oxigénigény. Látható az is, hogy rendes nitrifikáció/denitrifikáció (befogadó védelem) esetén nem a nitrogéneltávolítás fajlagos oxigénigénye a nagyobb, az csak az összes oxigénigény mintegy 30% -a. Ha azonban azt a szélsőséges esetet számítjuk, amikor egy hazai telepnek 10 mg/l ammónium határértékre kell tisztítania nitrát határérték nélkül, ezek a fajlagos értékek egészen másként alakulnak. Figyelembe kell azonban ilyenkor is venni, hogy a levegőztetett medencében a keletkező nitrátnak átlagban a negyede szimultán folyamatban (iszappelyhek belsejében fellépő oxigénhiány eredményeként) nitrogénné redukálódik. Ez persze csak megfelelő oxigénbevitel szabályozás, s nem a szükségtelen túlvegőztetés esetén jogos.

Ilyen számításnál a 83 mg/l ammóniumból 10 mg/l a tisztított vízben marad ($10 \text{ mg/l} \times 120 \text{ l/fő d} = 1,2 \text{ g/fő d}$), a nitrifikált 73 mg/l -ből pedig 18 denitrifikálódik, 55 mg/l pedig $\text{NO}_3\text{-N}$ formájában, 243 mg/l nitrát koncentrációt eredményezve a befogadóba kerül. Ennek a változatnak a fajlagos oxigénigénye $(55 \times 120 \text{ l/fő d}) \times 4,6 + (18 \times 120 \text{ l/fő d}) \times 1,8 = 30,36 + 3,9 = 34,3 \text{ g O}_2/\text{fő d}$ fajlagos oxigénigényt jelent egy lakos átlagos nitrogén-szennyezésének a feldolgozására. Értelemszerűen ez is nő mintegy 20% -al az iszaprothasztás miatt, amivel már $41 \text{ g O}_2/\text{fő d}$ fajlagos oxigénigényt jelet. Ez a nitrogéneltávolítás oxigénigényében az ilyen üzemeltetés esetén 35% körüli növekedést, de a teljes oxigénigényben csak 10% körüli oxigénigény növekedést jelent.

A fajlagos oxigénigény **fajlagos levegőigényre** is átszámolható. A levegő bevitelére alkalmazott berendezések fajlagos hatékonyságának az ismeretében ($1\text{-}2,5 \text{ kg O}_2/\text{kWh}$) azonban egyszerűbb közvetlenül **villamos teljesítmény igényre**, vagy a levegőztetés **elektromos áram költségére** átszámolni. Láthatóan azok százalékos növekedése a különböző technológia változatok esetén megegyezik az oxigénigény növekedésével.

További eszköz és költségigényt jelent a tisztításnál a **levegőztető berendezések vezérlése, szabályozása** is. A levegő-beviteli kapacitást általában jóval a napi átlag fölé, annak többszörösére kell tervezni (Kayser, 2002), hogy a csúcsterhelés időszakában is elegendő oxigénkoncentrációt legyen a levegőztetett medencékben a nitrifikáció biztosítására ($1,5 \text{ mg/l} < \text{DO} < 2,5 \text{ mg/l}$). A kisebb terhelésű időszakokban ugyanakkor a túlvegőztetés megakadályozására, azaz ugyanolyan oxigénkoncentráció tartására a levegőbevitelt vissza kell szabályozni a mindenkori igénynek megfelelően. Ehhez oxigénkoncentráció mérő műszerre, jelfeldolgozó egységre, PLC-re, számítógépre, a fűvő, vagy az egyéb levegő beviteli egységek megfelelő szabályozására van szükség. A korszerű telepeken a levegőztetés ilyen optimalizálása, költségcsökkentése ma már elengedhetetlen igény, ami nem csak költségmegtakarítás, de egyidejűleg beruházási és üzemeltetési költség is.

A denitrifikáció érdekében a levegőztető medencéből a nitrátot tartalmazó iszapos vizet általában a befolyó vízhozam többszörösének megfelelő áramban folyamatosan vissza kell vezetni az anoxikus medencetérbe (**belső recirkuláció**), annak a nitrát szükségletének a kielégítésére. Ez biztosítja értelemszerűen a megkívánt denitrifikációt. A recirkuláció nagysága (mértéke - R_b) ezért éppen a denitrifikációs hányadból ($\eta_{\text{den}} = R_i + R_b / 1 + R_i + R_b$) számítható, de itt is figyelembe kell venni, hogy a levegőztetett medencében a keletkező nitrátnak átlagban a negyede szimultán folyamatban nitrogénné redukálódik. Az iszaprecirkuláció hányad (R_i) általában egy körüli (100%), ugyanakkor az R_b értéke

rendszerint ennek a többszöröse, ha van nitrát, vagy TN határérték. Mivel a régi-új követelmények esetén folyóvizeknél elvileg nincs, csak a hatósági módosítás (egyedi határérték) esetén jelent ennek a tervezése feladatot szennyvíztisztítóinknak. Ha a 9/2002 netán mégis életbe lépne a jövőben, a 10 ezer LE terhelés feletti telepeknél nagyobb, 3-4 körüli, az általános kategóriájú befogadóba vezetett kisebb telepeknél ugyanakkor lényegesen kisebb, 1-1,5 körüli R_b értéket kellene tartani.

A biológiai rész után mindig szükség van **utóülepítőre** a biológiai munkát végző iszap elválasztására, visszaforgatására, sokszori ciklikus munkára fogására. Ennek a méretezése az előülepítőhöz hasonlóan a felületi folyadékterhelés alapján történik. Az ülepítő felületére számított folyadékterhelés célszerűen 0,4-0,6 m/h között javasolható. Szokásos azt a mértékadó átlagos folyadékterhelésre számolni, de a nagyobb telepek esetén a 24 órás átlagos vízhozam is használható. A vízmélység ezeknél is átlagosan 2-3 m között változhat. A medencefenékre ülepedő iszapot ennél is alkalmas kotrószerkezetnek kell az iszapzsompa összegyűjteni. A Dortmundi-típusú ülepítőknél a nagy fenékfal meredekség miatt az iszap magától lecsúszik a legmélyebb pontra, ahonnan a recirkuláltatás (R_i) a legcélszerűbb. Az iszapelvétele történhet gravitációsan és szivattyúzással is az iszap gyengébb sűrűsödési hajlamának megfelelően. Ez az **iszap** kerül **visszavételre** (R_i) **az eleveniszapos medencesorra**, közelítőleg hasonló nagyságú folyadékárammal, mint amennyi a telepre érkező szennyvíz. A recirkuláltatott iszap mennyiségének szabályozása hazánkban nem gyakorlat.

Az utóülepítőben azon túl, hogy fő feladata a lebegő részek fizikai szeparációja, elválasztása, egyidejűleg biológiai folyamatok is folynak a mindenkori tápanyag-ellátottságnak megfelelően, illetőleg sebességgel. Zavaró lehet ott a denitrifikáció olyan sebessége, vagy mértéke, amely a keletkező nitrogén kiválása miatt az iszap flotációját, felúszását eredményezheti. Ez az iszap elválasztását zavarja, iszapkihordást okozhat az elfolyó vízzel, ami elsődlegesen a KOI, és foszfor koncentrációját növeli a tisztított vízben. Az utóülepítő felszínén kialakuló vastag iszapréteg ezen túl az iszapjának a hidrolízise miatt az elfolyó víz ammónium tartalmát is növelheti. Az utóülepítő fenekén kialakuló pangó iszapréteg is eredményezhet hasonló hatást, sőt a rendszerben kialakuló ciklikus foszfor leadást és felvételt is nagymértékben befolyásolhatja, tönkretelheti. A rothadó rétegben keletkező szulfid a nitrifikáló mikroorganizmusok tevékenységére is igen káros, mérgező, ezért azt amennyire csak lehet, meg kell akadályozni.

A **tisztított víz elvételének** a részletei a torlófal, bukók és a gyűjtőcsatorna kialakítását érintik. Az esetleges iszapfelúszás és lebegőanyag kihordás miatt ezek megfelelő méretezése elengedhetetlen. A utóülepítő felületén kialakuló iszapréteget vissza kell juttatni az eleveniszapos medencékbe, ami megfelelő gyűjtő, esetleg szállítórendszert is igényelhet. A felúszó iszapot lefölvő alkalmatlóságok az előző részegységei.

Az esetek többségében elengedhetetlen műveleti igény az utóülepítőből elfolyó, tisztított víz **fertőtlenítése** is, amely azonban egy viszonylag egyszerű, mintegy fél órás hidraulikus tartózkodási időt biztosító medencében a szükséges vegyszer adagolásával akár statikus keveréssel (statikus mixer, labirintus) is kivitelezhető.

Az eleveniszapos rendszerből folyamatosan, vagy ciklikusan elvételre kerülő **főlősiszap** (iszapkoncentráció, s azzal az iszapkor megkívánt értéken tartása) az előülepítés elhagyása esetén (nem keletkezik primer iszap) többnyire kellően stabilizált biomassza. Ellenkező esetben a primer és szekunder iszapok keverékét további levegőztetéssel (oxikus stabilizáció)

célszerű a kis telepeken utókezelné. Anaerob iszaprothasztóval rendelkező nagyobb telepeknél az iszapok stabilizációja abban történik. Ezeket a műveleteket megelőzően azonban az ilyen iszapokat 4-6 % szárazanyag tartalomra kell sűríteni gravitációs, vagy gépi elővíztelenítéssel. Mindkét esetben a keletkező iszapvizet a rendszer elejére, vagy közvetlenül az első biológiai medencébe célszerű visszavezetni. Ezt a telep elején levő átemelő medencéből biztosíthatják

Nem foglalkoznak különösebben a szennyvíztisztítás tervezését részletező anyagok a **folyadékmozgatás berendezéseivel** sem, hiszen beépítésük a piaci ajánlat függvénye. Egyszerűen megadják a szükséges szállítókapaacitást (Q_{be} , R_i , R_b). Mindegyik áram lehet vezérelt, vagy szabályozott is. Nagyságát illetően az első a szennyvízhozamtól, második a szennyvíziszap ülepedési jellemzőitől, harmadik pedig a szennyvíz koncentrációjától, összetételétől és a befogadó ammónium és nitrát határértékeitől függ. A mennyiségeknek, valamint az emelőmagasságoknak az ismeretében kiválaszthatók és beépíthetők a szükséges folyadék és iszapszivattyúk. Ezek különböző típusainak a garantált használati ideje, üzembiztonsága, garanciális szervizelése is nagyon eltérő, így a szivattyúk kiválasztása a fűvókéhoz (levegőbevitel) hasonlóan csakis megfelelő szakmai tapasztalat alapján történhet, s talán ezért is nem képezheti az általános ismeretek tárgyát. Az üzemeltetőnek ugyanakkor pontosan ezekkel a gyakoribb meghibásodásra hajlamos gépészeti berendezésekkel gyűlik meg nap, mint nap a baja (javítások, cserék, karbantartások és felújítások, illetőleg kisebb technológiai módosítások esetén).

Az eleveniszapos szennyvíztisztítók különös, de újabban ismét egyre jobban kedvelt típusát jelentik a **szakaszos betáplálású, ciklikus üzemű rendszerek**. Ezeknél az utóülepítés is magában a biológiai reaktor terében történik. Az ülepítés idején a rendszernek háborítatlannak kell lennie. Számos megoldásnál ugyanakkor ebben az időszakban az iszapréteg alá, egyenletes, lassú elosztásban friss szennyvizet vezetnek be a biológiai többletfoszfor eltávolítás fokozására. Az ülepítést rövid tiszta víz eltávolítási, vagy dekantálási szakasz követi. Ekkor célszerű a fölősiszap elvétele is, amikor arra szükség van. Ezt követően kezdődik a medenceterek gyors, ismételt feltöltése a tisztítandó szennyvízzel, megfelelő kezelési program szerint, az anoxikus / anaerob / aerob szakaszok célirányos váltogatásával (Morgenroth és Wilderer, 2002).

A térben ciklikus eleveniszapos rendszerekkel szemben az időben ciklikus üzemeltetésű telepeknél nem kell az iszap visszaforgatására (R_i) és a belső folyadékmozgatásra (R_b) az iszapos medencébe külön szivattyúkat beépíteni. A folyadék időben programozott átkeverése, amit keverőkkel, vagy éppen keverést végző szivattyúkkal kell megoldani, ugyanakkor elengedhetetlen. Ma már ennél a típusnál is alkalmaznak szelektorteres megoldást, amely az iszapduzzadás visszaszorítását segíti elő, s ugyanakkor a fogadótér elkülönítése révén szeparált anaerob teret, és laminárisabb folyadék bevezetést is biztosít az ülepítési ciklusban a lényegesen nagyobb térfogatú fő egységbe.

A tisztítás során keletkező **fölősiszap megfelelő ütemű eltávolítása és feldolgozása** mindenféle nem természetes szennyvíztisztító rendszer szükségszerű velejárója. A fölősiszap elvétele vagy a recirkuláltatott iszaptól, vagy a levegőztető medence kevert, iszapos folyadékából történik. Az előző víztartalma általában 99 %, az utóbbi 99,5 % körüli. Ilyen híg formájában az iszap gyakorlatilag semmire nem alkalmas, s elhelyezése is lehetetlen. Tovább feldolgozása előtt mindenképpen sűríteni kell, legalább 5-6 % szárazanyag tartalomig, ami egyben térfogatának az 5-6-szoros csökkenését is jelenti. Ebben a formájában már akár közvetlenül kihelyezhető a mezőgazdasági talajokba talajfelszín alá történő injektálással, akár anaerob iszaprothasztással biogáz (hasznosítható energia) előállítására is

hasznosítható. Az első esetben a szállítási költség csökkentése miatt szükséges az iszap sűrítése, a második esetben pedig a kialakítandó anaerob rothasztó térfogatának csökkentése teszi azt elengedhetlenné.

A **nyers iszap talajban történő közvetlen hasznosítása** csakis injektálással lehetséges. Egyébként fél éves tározás, stabilizálás van előírva a kihelyezést megelőzően. Az ilyen híg (5-8 % szárazanyag tartalmú) iszap kihelyezése a talajba tározással együtt is, csakis injektálással lehetséges. Nagyobb száraz anyag tartalomig azért nem célszerű vízteleníteni a nyers iszapot, mert az részben technológiailag is bonyolultabb, költségesebb, másrészt olyan konzisztenciájú terméket eredményez, amelynek a szivattyúzása már drágább berendezéseket igényel. Az utóbbi iszap trágyaszóróval történő kihelyezése is szinte lehetetlen, mert az iszap rátapad a berendezésre, s annak a megfelelő működését lehetetlenné teszi. Kiszórható konzisztenciájú termék ugyanakkor csak a jól vízteleníthető vegyes (primer és szekunder, vagy anaerob úton rothasztott, stabilizált) iszapok sűrítözónás dekanteres, vagy táskás szűrőprésses víztelenítésével érhető el. Az ilyen víztelenítés már újra messze költségesebb.

Lehetőség van ugyan a jól víztelenített (15-20 % szárazanyag tartalmú) de nyers szekunder szennyvíziszapok komposztálására is, de az ilyen iszapot termelő kis telepek ritkán vannak berendezkedve, megfelelően gépesítve a komposztálásra. Ezeknél az iszap a hosszabb levegőztetési idő (iszapkor), vagy hosszabb víztelenítés utáni tározás során stabilizálódik, majd azt követően többnyire a termőterületeken hasznosul.

Az **anaerob iszaprothasztásnál** (nagyobb szennyvíztelepek esetében) a nyers iszap szerves anyagának mintegy 40-45 %-a metánná és széndioxiddá alakítható. A metántermelés energiatermelés. A csökkent mennyiségű szilárd rész jobban vízteleníthető iszap, további feldolgozása így kisebb fajlagos költséget igényel. Az anaerob rothasztóban az elővíztelenített (5-6 % száraz anyag tartalmú) nyers iszap átlagos hidraulikus tartózkodási ideje 25 nap körül kell, legyen. Ez behatárolja az adott iszapmennyiség feldolgozásához építendő rothasztó térfogatát. Az anaerob szennyvíziszap-rothasztás ismeretanyaga azonban csak a szakemberek kisebb részét érdekelheti, mert az nem általánosan használt a szennyvíztisztításban. Fejlettebb országokban is csak a 20 ezer LE feletti kapacitásnál javasolják annak a kiépítését, de hazánkban inkább 50 ezer ez a határérték. Ennek megfelelően csak néhányszor tíz ilyen egység üzemel a hazai gyakorlatban. A nagyobb szennyvíztisztítóink közel felének nincs ilyen iszapkezelő egysége.

Az anaerob iszaprothasztás általában a mezofil hőmérséklet-tartományban (35°C) történik. Ehhez a feldolgozandó iszapot a rothasztóból kikerülő meleg iszappal hőcserélni kell, a hőtartalom optimális hasznosítása érdekében. Többnyire a keletkező biogáz egy részének a nyers iszap felfűtésére történő felhasználására is szükség van. A hőcsere berendezés igényes. A rothasztó kialakítása, kevertetése, s a távozó vízből történő lebegőanyag eltávolítása is további jelentős költségigényt jelent. Ezért is gyakorlat az ilyen rothasztók csakis nagyobb szennyvíztelepeken (20000 LEÉ terhelés fölött) történő kiépítése. A kisebb telepeknél az anaerob helyett aerob iszapstabilizációval célszerű a kedvezőbb iszapminőség biztosítása.

Az **aerob és anaerob szennyvíztisztításnak** is megvannak a maga **termofil változatai** (50-55 °C közötti folyamat hőmérséklet), melyek az anaerob iszapstabilizációhoz hasonló eredményt biztosítanak. Az oxidáció a nagyobb hőmérsékleten aktív mikroorganizmus fajokkal teljesebb és gyorsabb, így ott is sokkal kisebb iszaphozam lesz az eredménye. Az első azonban csak a biológiailag jól bontható, nagy szerves anyag koncentrációjú (> 4-5 ezer mg KOI/l), elsősorban élelmiszeripari, esetleg gyógyszeripari szennyvizek esetében, a második pedig a

szennyvíziszapok komposztálásánál lehet csak gazdaságos. Mindkét esetben ugyanis a szennyező anyag energiataralmának kell biztosítani a folyamat hőmérsékletének a fenntartását. Az ilyen tisztítás fajlagos költsége egyébként a külső fűtés igénye esetén irreális. Az ilyen eljárások gyakorlati megvalósítása azonban azt bizonyítja, hogy kedvező szennyezőket tartalmazó tömény élelmiszeripari szennyvizeknél a beruházás és üzemeltetés költségei elviselhetők.

Az anaerob iszaprothasztóból kikerülő, mintegy 4 % körüli száraz anyag tartalmú rothasztott iszapot ismételten sűríteni, vízteleníteni kell bármiféle elhelyezése, hasznosítása esetén. Az iszapkihelyezés, hasznosítás egyébként ilyenkor is lehet a sűrítés, elővíztelenítés utáni közvetlen, talajba történő injektálás, a víztelenítés és fél éves tározás utáni talajra terítés, majd közvetlen aláforgatás, valamint a komposztálást követő ugyanilyen megoldású hasznosítás. Közülük az injektálást mindig külső megbízott végzi (speciális géppark igénye). Igaz ez akkor is, ha a tisztítótelep építi meg a híg iszap időszakos tározására (szezonális kihelyezés) szükséges medencéket, iszaptározókat saját, vagy a mezőgazdaság fogadó területén. A komposztálást ezzel szemben a felhasználó az eddigi gyakorlat szerint soha nem vállalta magára, így annak a beruházási és üzemeltetési költségei is a szennyvíztisztítókra terhelik.

A **szennyvíziszap komposztálása** a szennyvíz tisztításához hasonlóan meglehetősen összetett folyamatsor (Horváthné és társai, 2002). A komposztálás alapvető feladata az iszap és/vagy egyéb szerves anyag biokémiai és termikus stabilizálása. Az első a talajban gyorsan lebomló szerves anyagok mesterséges körülmények közötti lebomlásának meggyorsítását, s így az iszapmaradék gyorsabb biológiai stabilizálását szolgálja. Fő célja, a szerves anyag célirányos átalakításával biológiailag stabil, kis oxigén-felvételű, vízben gyengén oldódó, humifikált termék előállítását. Ez a cél egyébként elérhető lassú, természetes anyagátalakulással is, de annál lényegesen nagyobb sebességű, mesterséges körülmények között történő komposztálással is. Az utóbbi ugyanolyan mesterséges folyamat-intenzifikálás, mint a szennyvizek környezetkímélő eleveniszapos, vagy biofilmes szennyvíztisztítása.

A megfelelően szabályozott komposztálás a természetes komposztálódástól alapvetően a folyamat optimalizálásában és a vele járó "termikus hőszínezetében" különbözik. Az utóbbi meghatározó a biológiai átalakítás sebességénél. Ha a komposztálás során hosszabb időtartamban 55 °C, vagy azt meghaladó hőmérsékletre sikerül emelni a "stabilizáció" hőmérsékletét, a biológiai és kémiai folyamatok gyorsításával egyidejűleg a patogén kórokozók **termikus inaktiválása, fertőtlenítése** is bekövetkezik. Ez utóbbi azért elengedhetetlen, hogy a mezőgazdaságban, kertészetben, vagy akár a virágnevelésnél a háztartásban is felhasználásra kerülő termék fertőzőképessége nagyságrendileg csökkenjen. Hasonlóan csökken ugyanis ezzel a talajon, növényi termékeken keresztül történő visszafertőződés veszélye, közegészségünk biztonsága is.

A szennyvíziszap fenti igényű komposztálásához az alapanyag jó **víztelenítése** mindenképpen elengedhetetlen. Az anaerob rothasztás iszapjánál azonban legtöbbször ez is kevés, és a hőmérséklet megfelelő emeléséhez **külső tápanyag vagy segédanyag** adagolására is szükség van. Ez legtöbbször fűrészpor, faapríték, vagy szalma. A többféle alapanyag összekeverése, megfelelő szabad gáztérfogatú halmokba, prizmákba történő összerakása, és ciklikus átforgatása, esetleg statikus levegőztetése és annak szabályozása a szennyvíztisztítás műveleteihez hasonlóan költséget, bár annál fajlagosan kisebb beruházási és üzemeltetési költséget jelent a szennyvíztelepnek.

A **komposzt értékesítése** a bevétel egyéb költségigényt is jelent. Csak megfelelő küllem, stabilitás és tápanyagtartalom esetén nyerheti ugyanis meg ez a termék a kiselhasználók tetszését, akik a régi beidegződés miatt a klasszikus, tőzeg alapú termékekért, virágföldért ma még lényegesen nagyobb árat hajlandók fizetni. A kiskereskedelmi forgalmazás persze részben növeli, másrészt csökkentheti a termelő árbevételét a kereskedők túlzott haszonéhsége miatt. A mezőgazdasági nagytermelőkhez történő komposzt elhelyezéskor ugyanakkor többnyire azok monopolhelyzete minimalizálja a termelő iszapkomposztálásból keletkező árbevételét. A kis tételű kiszéreléshez azonban a megfelelő előkezelésen (komposztálás, rostálás, nedvesség- és tápanyagtartalom beállítás) túl a megfelelő csomagoló berendezések beruházási és üzemeltetési költségigénye sem látszik ma még beépíthetőnek a szennyvíz tisztításának a költségkeretébe. A termékminőségért felelős szervezetek pozitív hozzáállásának hiánya persze legalább ilyen probléma. Mint ahogy azonban a fejlettebb országokban, hazánkban is arra vezet a fejlődés útja, hogy ami elvileg hasznosítható, annak a hasznosítását ne gátoljuk, hanem megfelelő fejlesztéssel igyekezzünk elősegíteni.

Összefoglalás

A szennyvíztisztítás a fentiekből láthatóan igen összetett műveletsorozat, amely döntően a mikroorganizmusok tevékenységének az üzemesített hasznosítása. Célja, hogy az emberi tevékenység által megbontott természeti egyensúlyt a természet célirányos munkába fogásával hozza valamiképpen egyensúlyba. Ezeknél az egyensúlyoknál azonban nagy figyelmet kell fordítani a bioszféra csúcstermékének a szerves anyagnak az átalakulásaira, a bioszféra körfolyamataira. Ezek az átalakítások a mikroorganizmusok, a növények és állatok világát, fajgazdagságát, s ezzel az ember örök táplálék vadászterületeit érinti. Éppen ezért itt minden fejlesztés, korlátozás a tápanyaglanc megfelelő, de leggyakrabban áttételes hatásaiban alig ismert változásait eredményezheti. Éppen ezért különös gonddal kezelendő.

Az ember élelmezési hulladékait mindig is a természet bontotta le, hasznosította. Talán ezért is lehet kevésbé zavaró hatású, ha azt a megfelelő körülmények biztosításával továbbra is arra bízzák, s a természetidegen technológiai lépéseket, műveleteket kevésbé alkalmazzák.

Hivatkozások

- ATV - DVWK A 131 Munkafüzet (2000) Egylépcsős eleveniszapos berendezések méretezése. ATV 2000 május - Fordítás: MASZESZ, Budapest, 2001.
- Kayser, R (2002) Eleveniszapos szennyvíztisztítás és tervezése. (A szennyvíztisztítás fejlődése a XX. században - eleveniszapos tisztítás tervezési irányelvei) Ismeretgyűjtemény. No. 1. Szerk.: Kárpáti, Á) VE, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 16-62.
- Horváthné, K. V. - Kiss, Zs. - Kárpáti, Á. (2002) A szennyvíziszap komposztálásának lehetősége és nyílt rendszerű kialakítása. (Aerob szennyvíztisztítás vizsgálata, modellezése - anaerob szennyvíztisztító rendszerek - iszapkomposztálás.) Ismeretgyűjtemény. No. 5. Szerk.: Kárpáti, Á) VE, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 60-85.
- Morgenroth, E. - Wilderer, P. A. (2002) Folyamatos és szakaszos átfolyású, vagy betáplálású (SBR) eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek összehasonlítása. (Eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek és ellenőrzése.) Ismeretgyűjtemény. No. 3. Szerk.: Kárpáti, Á. VE, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, Veszprém, 64-82.

A szennyvíztisztítás beruházási és üzemeltetési költségei

Domokos Endre - Kárpáti Árpád,

Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék

Bevezetés

A szennyvíztisztítás költségei részben a lakáson kívüli szennyvízgyűjtő, részben a szennyvíztisztító rendszer költségeiből adódnak. Az elsőbe rendszerint nem tartozik bele az a csőszakasz, amely a lakásokból a lakossági gyűjtőcsatornába bevezeti a szennyvizet.

A közcsatorna kiépítésének a fajlagos költsége a lakos sűrűségétől függ, így az a falusias településszerkezetű helységek lakosságát viszonylagosan jobban terheli. A közcsatorna kiépítési költsége egyébként rendszerint a szennyvíztelepének a duplája, de kedvezőtlen, nagy térségi rendszereknél annak a többszöröse is lehet. Az utóbbiak további kedvezőtlen hatása a szennyvíz hosszas tartózkodása, lehülése, berothadása a gyűjtőrendszerben. Az utóbbiak a tisztítás lehetőségeit, költségeit növelik meg jelentős mértékben.

A szennyvíztisztító kialakításáról, technikai megvalósításáról a sorozat két korábbi munkája már részletesen szólt. Ezúttal inkább csak összefoglaló jelleggel, de a szennyvíztisztítók beruházási és üzemeltetési költségeit vesszük sorra.

A szennyvíztisztítás beruházási költségei

A szennyvíztisztítás beruházási költségei a mindenkori kiépítettségnek megfelelően a következő résztételekből adódnak:

szennyvíz mennyiségmérők és átemelők (áramlásmérő, medence és szivattyúk, szintszabályozók),
rácsok, szűrők, homokfogók,
biológiai medencék vagy rendszer,
levegőztetés (fűvók, levegőelosztás, levegőbevitelt biztosító elemek, keverők, oxigénszint érzékelő és szabályozó berendezések),
elő és utóülepítők, iszapaknák és iszapmozgató szivattyúk,
iszapsűrítők, elővíztelenítők,
esetlegesen anaerob rothasztók,
biogáz felhasználását biztosító egységek (gáztisztítók, kéntelenítők, égetők, hőcserélők, áram fejlesztésére alkalmas gázmotorok, iszapszárító berendezések)
utóvíztelenítők,
fedett, vagy fedetlen iszapkomposztálás betonfelület és földemigénye,
komposzt alapanyag előkészítő, keverő berendezések,
komposztálás levegőztető berendezései (statikus esetben levegőztető csatornák, levegőfűvók, hőmérséklet és oxigénkoncentráció mérő és szabályozó elemek, dinamikus komposztálásnál a berendezés és a keverést biztosító kiegészítő berendezések),
komposzt utókezelő, csomagoló berendezések.

Nem foglalkoztunk itt azzal az esettel, ami pedig a kisebb telepeken igen gyakori, a szippantott szennyvíz fogadására, tározására, átemelésére, kezelésére alkalmas berendezések. Ezek további kiegészítő költségigény.

Hasonlóan nem részleteztük a szennyvíztisztító rendszer olyan szükségszerű tartozékainak költségigényét mint az alábbiak:

- műveleti egységek közötti csőrendszer,
- áramellátást biztosító villamos rendszer,
- berendezések és vegyszerek tárolására, üzemeltetésére szolgáló helyiségek (fűvógépház, centrifugaház, vegyszerraktár, stb.),
- irányító helyiségek,
- szociális helyiségek,
- közlekedéshez szükséges úthálózat,
- telep kerítése, parkosítás,
- környezettől történő növényzetes takarás, árnyékolás (csepp-diszperzió csökkentése),
- a mindezekhez, valamint a műtárgyak kialakításához szükséges tereprendezés.

A soktételű beruházási költségből a fentieknek megfelelően elég nehezen számítható ki kellő pontossággal az összes beruházási költség. Az egyes részegységek költségei ezen túl a berendezés, műveleti egység, illetőleg a szennyvíztisztító méretétől, kapacitásától is nagymértékben függenek. A kisebb tisztítóknál a szükséges térfogatok kiépítése csak nagyobb fajlagos költséggel lehetséges. Ugyanez érvényesül a folyadékmozgató berendezéseknél, valamint a szükséges vezérlő, szabályozó egységek fajlagos költségeinél is. Ennek megfelelően a szennyvíztisztítók kiépítése esetén nem gyakorlat a kivitelező részéről a beruházó fele történő tételes költségelés, hanem csak egy keretösszegben adják meg a beruházás összes költségét. Ez egyébként más beruházásoknál is hasonló, s ennek megfelelően nehezen értékelhető. Az összehasonlítás javítására szolgál a közbeszerzési törvény, amittől persze az ilyen komplikáltságú rendszerek összehasonlítása továbbra is leginkább csak formális számszaki összehasonlítás lesz. A túlköltekezéseket ettől függetlenül valamelyest mérsékeli.

Hazánkban azonban a szennyvíztisztítók kiépítésének helyéhez hasonlóan a beruházási költségeit is rendeletileg szabályozták. Ez automatikusan behatárolta a tisztítás beruházási költségének az árszintjét. A rendelet szerint ez az üzemnagyság függvényében a szennyvíztisztító telep építésének a fajlagos költsége a következő lehet - (LEÉ kapacitás saját becsült adatunk, egyébként a rendelet szó szerinti idézete a táblázat):

Kapacitás, m³/d	Közelítő LEÉ kapacitás¹, LEÉ	Fajlagos költség, ezer Ft /m³
0 - 100	0 - 1 000	520
101 - 200	1 000 - 2 000	420
201 - 500	2 000 - 5 000	370
501 - 750	5 000 - 7 500	320
751 - 1 000	7 500 - 10 000	280
1 001 - 2 000	10 000 - 15 000	260
2 001 - 3 000	15 000 - 20 000	230
3 001 - 4 000	20 000 - 30 000	210
4 001 - 5 000	30 000 - 40 000	180
5 001 - 10 000	40 000 - 70 000	150
1 001 - 15 000	70 000 - 100 000	130
1 5001 - 20 000	100 000 - 130 000	110
20 001 -	130 000 -	Egyedi elbírálás

A fajlagos költség tartalmazza a mechanikai tisztítás, biológiai tisztítás, iszapkezelés és egyszeri forgóalappal feltöltés és próbaüzem költségeit is.

Alkalmazható szorzók a kiépítésre kerülő technológia függvényében:

Foszfor és nitrát eltávolítása esetén	1,20
Komposztálás	1,15
Központi üzemirányítás és analizátorok kiépítése esetén	1,10

A szennyvíztisztító telep fajlagos költsége a tisztított szennyvíznek a telepről a befogadóig történő elvezetését nem tartalmazza, ezt a szennyvízcsatorna szakaszt a csatornahálózat fajlagos költségeivel kell figyelembe venni. A szennyvíztisztító telep kétoldalú energia betáplálása esetén további 1,1 szorzó alkalmazható.

A szennyvíztisztító telep technológiai kapacitás-bővítésénél a beruházással megvalósuló és a meglévő kapacitás összegéhez tartozó fajlagos költséget kell alkalmazni és a bővítmény kapacitását kell figyelembe venni.

A szennyvíztisztító telep technológiai szakaszos kiépítése esetén fajlagos költséget az alábbi szorzókkal kell figyelembe venni:

Mechanikus tisztítás	0,33
Biológiai tisztítás	0,34
Biológiai tisztítás foszfor-nitrát eltávolítással	0,40
Izapkezelés, elhelyezés	0,33

A szennyvíztisztító telep technológiai korszerűsítése: A telep hidraulikai kapacitás-bővítésével nem járó technológiai korszerűsítését, hatásfoknövelés esetén az alábbi szorzókat kell alkalmazni:

Mechanikus tisztítás	0,15
Biológiai tisztítás	0,20
Foszfor-nitrát eltávolítás	0,20
Izapkezelés, elhelyezés	0,20

Szállított szennyvizet előkezelő technológia építése esetén a műtárgy kapacitásával azonos szennyvíztisztító telep kapacitás fajlagos költségének + 30%-kal növelt értéke vehető figyelembe. Ekkor a szennyvíztisztító telep kapacitását a fogadó műtárgy kapacitásával csökkentve kell figyelembe venni. (Idézet vége - Önkormányzatok Közlönye, 2001 (9) 654-655.)

A rendelkezés felülről láthatóan behatárolja a technológiai kivitelező vállalkozók lehetőségeit. A kivitelezői tendereknél, illetőleg a realizálásnál ezeknél kisebb értékek nem is jelentek meg ajánlatként, de a technológiai tervezők és a kivitelező együttműködésében elkészített pályázatoknak is ehhez igen közeli érték kell legyen a minimum variánsa, hiszen a jogszabály azért olyan hatalmas rátartással nem dolgozik. Aki tehát jelentősen aláigér, azt csakis a minőség rovására teheti. Sajnos a szakmailag nem eléggé felkészült megbízó ezt nem veszi észre, az ellenőrzésért hivatott engedélyezési rendszer pedig nem védi meg ellene őt.

A szennyvíztisztítás üzemeltetési költségei

Az üzemeltetési költségek több csoportba sorolhatók. Ide tartoznak a következő üzemeltetési, és karbantartási költségei:

- különböző folyadék és iszapmozgatás és szabályozása,
- az egyenletes oxigén ellátás (levegőztetés), valamint iszapkoncentráció biztosítása,
- folyadékkeverés,
- SBR rendszereknél az előzőek időbeni ciklizálása vezérlése, szabályozása,
- utóülepítés (medencefenék kotrása, felúszó iszap eltávolítása),
- az iszap és iszapos víz recirkulációja és annak szabályozása,
- iszap elősűrítése, víztelenítése,
- anaerob rothasztás és a biogáz hasznosítása,
- rothasztott iszap víztelenítése és komposztálása,
- komposzt kiszérelése, értékesítése,
- esetenként a szilárd maradék elhelyezése,
- az üzemeltetés analitikai ellenőrzése,
- üzemeltetés dokumentációja.

Meg kell jegyezni, hogy az üzemeltetés költségei részben elektromos energia felhasználását jelentik, amely legnagyobb részarányában az oxikus medence levegőztetésénél jelentkezik. Értéke a biológiai terhelésből számítható. Ez határozza meg a biológiai átalakításhoz szüksége oxigén mennyiségét, ami a lakossági szennyvizek kívánt mértékű tisztítása esetén közelítőleg 1,7 - 1,9 kg O₂/kg BOI₅ fajlagos költséggel számolható. Ebben a fajlagosban a nitrogéneltávolítás és az iszapstabilizáció oxigénigénye is benne van. Az oxigénigényt közvetlenül villamos áram szükségletre lehet átszámolni a fajlagos oxigén-beviteli határfok segítségével, ami a különböző típusú levegőztető rendszereknél 1,1 - 3,0 között is változhat. A levegőztetés fajlagos költsége ezzel fajlagos napi mennyiségként, vagy egységnyi víztérfogatra számítható fajlagos értéként is kiszámolható.

Az iszapos reaktorok keverése ennél lényegesen kisebb áramfelvétel, illetőleg költség. Rendszerint mintegy 100-120 W/m³ fajlagos értékkel számolható. A keverést ezen túl, a levegőztetés típusától függően, a folyamatosan levegőztetett medencében nem kell mindig alkalmazni. Ilyenkor csak az anoxikus és anaerob medencék keverése jelent többlet áramfelhasználást.

Az iszap víztelenítése is kisebb, mégis számottevő áramfelvételt jelent az iszap előkezelése során. Fajlagos értékét tekintve ez is a berendezés típusától, víztelenítési határfokától függ. A présszalag-szűrők, centrifugák (csigás dekanterek) és a táskás szűrőprések fajlagos áramfelvétele elég különböző, bár fajlagos értékeket arra vonatkozóan nem igen adnak meg a forgalmazóik. Ugyanitt jelentkezik az üzemeltetésnél a vegyszerköltség is, bár annak egy részét esetenként a levegőztető medencében adagolják a többletfoszfor kicsapatása érdekében. Ez a vegyszer, valamint a víztelenítés berendezései előtt adagolt polielektrolit is jelentős költségterhelés a tisztításnál.

Komoly részarány az anaerob rothasztó fűtéséhez szükséges energia is, bár azt többnyire a keletkező biogáz felhasználásával lehet fedezni. A rothasztók betáplálásához, keveréséhez szükséges áram felvétele rendszerint a hálózatról történik és így külső energia felhasználását, közvetlen költséget jelent. Saját gázából termelt energia felhasználása esetén is költség ez, mert a nyereséget, az áramból elérhető bevételt csökkenti. Ma már a komposztálás is egyre gyakoribb a nagyobb hazai szennyvíztisztítóknál is, ahol ugyancsak a levegőztetés, illetőleg a prizmás komposztálásnál az azt biztosító gépi anyagmozgatás, átforgatás jelenti a legnagyobb energiaigényt. Ehhez képest a termék utókezelése és kiszérelése lényegesen kisebb tétel.

A komposzt kihelyezése, értékesítése azonban valamilyen költség megtérülést is jelenthet. A **tisztított szennyvíz befogadóba vezetése** ezzel szemben nem jelent bevételt a tisztítónak, sőt a régóta pallósként emlegetett **környezetterhelési díj** esetleges bevezetése esetén további kiadás is lehet. Az persze természetes, hogy az utóbbit teljes mennyiségében a szennyvizek termelőire fogják ráterhelni.

A fenti költségeken túl telepenként igen eltérő nagyságú az alkalmazottak, üzemi dolgozók munkabére is, ami ugyancsak része az üzemeltetés költségének azok járulékos költségeivel egyetemben. Mindezekből együttesen alakul ki valamely tisztítótelep összes üzemeltetési költsége, amely a beruházás évente esedékes kölcsöntörlesztésével együtt a teljes szennyvíztisztítási költséget képezi.

A hazai szennyvíztisztítók nagyon eltérő kiépítettsége igen nehézkessé teszi a telepek várható **üzemeltetési költségeinek a pontos becslését**. Ezt a tervező, beruházók ezért rendszerint nem is vállalja, vagy ha mondanak is arra vonatkozóan egy tájékoztató értéket, becslésük pontosságára semmilyen garanciát nem adnak, eltérően a tisztítás határfokának garanciájától, ami azonban a garancia feltételeinek a megkötései miatt az esetek többségében hasonlóan nem jelent igazán garanciát az üzemeltetőnek.

A tisztítás határfoka minden rendszer esetében nemcsak a technológiai tervezéstől és annak a kivitelezésétől (üzembiztos kiépítés és részberendezés beépítés), hanem a telep üzemeltetésétől is függ. Ennek az eredménye, hogy a szennyvíztisztítók tulajdonosai, az önkormányzatok, bár a tervezés kapcsán határozottnak, hozzáértőnek igyekeztek látszani, az üzemeltetés kockázatát semmiképpen nem vállalják fel. Ilyen esetben azután az üzemeltető, akkor is, ha ugyanaz, mint a beruházó, az előzetes becslésekkel szemben bármilyen üzemeltetési költséget kimutathat, elszámolhat. Tétéles elszámolást egyébként is talán nem is kérhetnek a megbízóik. Ez utóbbi egyébként a könyvelők szennyvíztisztításra vonatkozó teljes ismerethiánya úgyszintén teljesen haszontalan lenne.

A szennyvíztisztítás üzemeltetési költségeinek a számítása tehát részben a beruházáséhoz hasonlóan a megfelelő, regionálisan, vagy társadalmilag elfogadott normatíva alapján, részben a ténylegesen jelentkező költségek alapján történhet. Semmi sem egyszerűbb, mint költséget csinálni és elszámolni, ha van, aki fizesse.

Összefoglalás

A szennyvíztisztítás technológiájának megválasztása minden esetben a tisztítás követelményének a függvénye, de többféle kiépítéssel is közel azonos mértékben teljesíthető. A berendezések típusainak megválasztása ezen túl is nagymértékben befolyásolhatja a fajlagos beruházási és üzemeltetési költségek nagyságát, de általános tendencia, hogy az üzemméret növekedésével a fajlagos beruházási és üzemeltetési költség csökken. A fajlagos munkabér költség ettől tendenciájában eltérően is alakulhat, de az összköltség tendenciáját nem befolyásolja jelentősen. Az iszapelhelyezés igen eltérő lehetőségei és költségei ugyanakkor jelentős eltéréseket okozhatnak.

A beruházás kapcsán a technológia megválasztása és megfelelő minőségben történő kiépítése a meghatározó. Az üzemeltetéskor a szakismeret lehetőségei már csak az előzőekkel behatárolt területen biztosítanak mozgáslehetőséget. A végső eredmény elérésében, valamint az üzemeltetési költségek alakulásában azonban az utóbbi is meghatározó jelentőségű.