

1. A szennyvíztisztítás kialakulása, fejlődése napjainkig

1.1. A lakossági szennyvizek tisztításának története

A lakossági szennyvizek mennyisége, minősége az emberiség életvitelével együtt változott. A legutóbbi két évszázadban vált egyértelművé, hogy elhelyezését, ártalom-mentesítését, az általuk okozott problémát valamilyen szabályozással kordában kell tartani. A fejletlenebb országokban nagyon sok helyen még ma is előfordul, hogy a szennyvizek magában a vízfolyásban keletkeznek, hiszen a lakosság ott tisztogatja a ruháit. Ha már fűrt kútból történik a vízellátás, vagy akár vízvezetékes is legyen a vízellátás, a szennyvíz elvezetés még nincs szükségszerűen kiépítve, azaz semmilyen gyűjtőcsatorna rendszer nincs. Ilyenkor természetes, hogy a szennyvizet a legközelebb eső felszíni befogadóba vezetik be. A ritkán lakott területeken ez még ma is elég széleskörű gyakorlat, de megfigyelhető a fejlődő országok olyan nagyvárosaiban is, mint Kalkutta, Bangkok, Manila vagy akár Dzsakarta. A szennyvizek talajra történő kiöntözése, vagy különböző vízfolyásokba történő bevezetése mindaddig nem okoz különösebb problémát, amíg a talaj mikroorganizmusai, illetőleg a vízben élő különböző baktériumok révén rendelkezésre álló öntisztító kapacitás képes feldolgozni a szennyező anyagot.

Az urbanizáció folyamatos növekedésével mind a fejlettebb, mind a fejlődő országokban az életvitel úgy módosul, hogy egyre nagyobb mennyiségben történik a szennyvizek összegyűjtése. Bár a szennyezőanyag koncentrációk nagyon eltérő mértékben alakulhatnak, esetenként igen nagy koncentrációk is jelentkeznek. Ilyen nagy mennyiségben keletkező szennyvizet már semmiképpen nem lehet a talajra öntözni tápanyag-tartalmának hasznosítására. A szennyvizek tisztítása így megfelelő műszaki lehetőséget igényelt, hiszen a terhelés rendszerint a befogadók öntisztulási képességét messze meghaladja. Az ilyen igény következménye lett a különböző bonyolultságú és jellegű mesterséges tisztítási módszerek – mint a mechanikus, kémiai és fizikai tisztítások – kiépítése.

A mesterséges szennyvíztisztítási technológiák ellenőrzésére megfelelő műszerezettség alakult ki, ami a szennyvíztisztítás fejlesztésében az elmúlt mintegy 10 évtizedben a különböző tápanyagok eltávolítási módjainak kialakítását, a minél kisebb térfogatban történő szennyvíztisztítás kiépítését, intenzifikálását, valamint a befogadókra veszélyes, nehezen bontható vagy toxikus szennyező anyagok minél hatékonyabb visszatartását jelentette. Valamennyi technológia kisebb-nagyobb mértékben a biológiai folyamatok hasznosításán, a szennyező anyagok „természetbaráttá” alakításán alapul.

Annak ellenére, hogy a lakossági és ipari szennyvizek tisztításának a fontosságát egyre szélesebb körben ismerték fel, és szükségesnek ismerték el, a szennyvíz tényleges tisztítása mindig a lehető legkisebb költséggel kellett, hogy történjen. Ez azt jelentette, hogy a szabványok vagy előírások által megkövetelt minimális mértékben történt csak meg a szennyvizek tisztítása, a feladat fontosságát felismerve, mintegy „tűzoltás” jelleggel. Ez azt jelenti, hogy csak akkor kerülhetett sor a szennyvíztisztítás minőségének javítására, ha a külső ráhatás erősödött, vagy a hatóságok fokozták a felügyeletet, ellenőrzést. A szennyvíztisztítás szükségszerű kifejlesztésére a végső lökés végül is a környezet utóbbi időben jelentkező vissza nem fordítható minőségromlásának az egyértelmű érzékelése, dokumentálása volt.

A probléma mélységének megértése minden esetben a szennyezés mennyiségének a pontosíthatóságától függ, valamint annak az ismeretétől, hogy mire is képes az adott szennyezésekkel szemben a szennyvíztisztítás. Alapvető fontosságot jelentett ilyen tekintetben a megfelelő és széles körben elfogadott mérési módszerek kialakulása. Ilyeneknek tekinthetők jelenleg az úgynevezett összparaméterek, mint a biológiai oxigénigény (BOI), kémiai oxigénigény (KOI), vagy a szerves széntartalom (TOC), vagy az egyedi komponensek megfelelő mérési lehetősége. Sok új szintetikus vegyület kerül folyamatosan kifejlesztésre, melyek jelenleg valamilyen hányadban természetesen a szennyvizetekbe kerülnek a technológiákból vagy akár azok felhasználásából. Ezeknek a teljesen új anyagoknak ugyanakkor nem ismerhetjük a környezetre gyakorolt hosszú távú hatásait, ami a szennyvíztisztítás fejlesztésének az irányvonalát jelölhetné ki. Ilyen anyagok voltak a múltban, és azok ma is az impregnáló szerek, növényvédő szerek, rovarölő szerek, továbbá a szélesebb körben ismert detergensok is. Ennek megfelelően a szennyvíztisztítás fejlesztése szükségzerű, hogy mindig egy lépéssel a különböző hatóanyagok, vegyszerek fejlesztése mögött járjon. A különböző vegyszerek BOI-ban, azaz biológiai oxigénigényben kifejezett környezetszennyező hatása sem egyértelmű, hiszen számos esetben a mikroorganizmusok nem is képesek az új szintetizált anyagok lebontására. A különböző anyagok ilyen esetben egyrészt a szennyvíztisztítás iszapjába kerülnek megfelelő adszorpció révén. Ha valamilyen mértékben lebontásra kerülnek, a lebomlás mértéke nem kellően pontosítható. A szennyvízből történő eltűnésüket lehet csak megállapítani az olyan módszerekkel, mint a gázkromatográfia, vagy folyadék-kromatográfia. Hogy mivé alakultak át, a megfelelő standard hiányában csak következtethetjük. A termékek azután nem szükségyszerűen tűntek el a környezetünkben, sőt ártalmatlanításuk sem minden esetben egyértelmű. A tisztítás ezeket a komponenseket illetően számos esetben nem több mint egyszerű fázis-transzformáció, vizes fázisból szilárd fázisba történő átvitel. Nem zárható ki, hogy részleges biológiai lebontás esetén a szennyvíziszapban maradó, vagy akár a szennyvízben maradó komponensek nem jelenthetnek nagyobb veszélyt a környezetre, mint maguk a kiindulási vegyületek.

Végül azt is meg kell jegyezni, hogy a szennyvíztisztításban a fejlesztés szükségyszerűen lassú. Ez elsősorban annak tulajdonítható, hogy a központi szennyvíztisztító telepek nagy területekhez tartoznak, melyeket megfelelő kapacitással és megfelelő előrelátással próbálnak építeni, hogy legalább egy generációt kiszolgáljanak. Ugyanakkor a tisztítás igénye esetenként ennél gyorsabb időszakonként változik, fokozódik. Ennek eredménye, hogy bizony egy adott telepen esetenként 20-30 év is eltelik, amíg egy új technológia, egy új lehetőség bevezetésre kerülhet.

1.2. A szennyvíztisztítás kezdetei

A szennyvíztisztítás megjelenése már az olyan ősi kultúráknál, mint az egyiptomi, valamint a római megfigyelhető. Az ősi Rómában a város egy részét csatornázták a szennyvíz összegyűjtésére, míg a város más részein emésztőgödörökben gyűjtötték össze a folyékony hulladékot. Az utóbbiak anyagát megpróbálták a mezőgazdaságban újrahasznosítani, míg a szennyvízcsatornán összegyűjtött folyékony hulladék a Tiberisen keresztül a tengerbe került.

A szennyvíztisztítás ugrásszerű fejlődése az elmúlt század második felében kezdődött. A szennyvíz elhelyezési problémája ugyan már a század közepén London csatornázását eredményezte, a szennyvíz befogadója ezt követően még évtizedekig a Temze maradt. A szennyvíz veszélyességét a különböző járványok terjedése vonatkozásában is hamarosan felismerték, amikor Robert Koch 1876-ban izolálta a bélfene, a tuberkulózis és a kolera baktériumait, és bebizonyította, hogy a fertőzés a vízzel terjed (Imhoff, 1998).

Az Egyesült Államok 19. század végén megindult rohamos iparosítása is hamarosan a nagyvárosok környezetében lévő befogadók rendkívüli mértékű elszennyeződését eredményezte. Ez is szükségessé tette valamilyen szennyvíztisztítási lehetőség kifejlesztését. Az első kísérletek a talajon történő szennyvízszűréshez kapcsolódtak az 1870-es évek során. Ebből előbb a durvább talajszűrés, majd később a csepegtetőtesthez hasonló szűrőrendszerek fejlődtek ki. Az utóbbi szennyvíztisztítási módszer tökéletesítése Angliához kötődik, ahol az éghajlati viszonyok lehetővé tették annak az egész évben folyamatosan történő működtetését.

Természetesen ezt megelőzően, ahogy már említésre került, az 1800-as évek második felében a nagyvárosok csatornázásának a megoldása volt az emberiség alapvető feladata. Ezzel ugyan a szennyvíz szennyező anyagainak eltávolítását a folyókra bízta, vagy a folyók befogadóira, a tengerekre, de a nagyvárosok közegészségügyi helyzete lényegesen javult. A nagy járványok a század végére tulajdonképpen megszűntek. A szennyvíz ilyen értelmű befogadókba történő bevezetése ebben az időszakban magával hozta azoknak a túlterhelését, amit azután nagyon gyorsan meg kellett szüntetni. Mivel a világon, de különösen a fejlettebb államokban, a nagyvárosok mindenhol folyóra települtek, a folyók szennyezése vagy túlterhelése évtizedeken belül bekövetkezett. Talán érdemes megjegyezni, hogy az első igazán nagyméretű városi szennyvíztisztító rendszer kiépítése 1842-ben, Hamburgban kezdődött. A többi nagyváros mintegy 25 év késéssel követte Hamburg példáját. Ma a lakások bekötése a csatornahálózatba a fejlett országokban általában 90 % körüli, a fejletlenebb országokban ez az érték sokkal kisebb. Érdekes talán megjegyezni, hogy Magyarországon a 2000-es év fordulóján ez az érték csak 50 % körül volt, bár mintegy 10 éves fejlesztés eredményeként ennek a 70-75 %-osra történő növekedése van jelenleg célként megjelölve.

Mint a korábban említett csatornázás általános kiépítéséből várható volt, a lakossági és ipari szennyezések igen rövid időn belül tönkretették a folyókat. Ezek ugyanakkor a sűrűbben lakott térségekben szükségszerűen ivóvíz forrását is jelentik a lakosság számára. Nagyon sok nagyváros ivóvíz-ellátása a rajta keresztül folyó vízfolyam parti szűréssel történő megtisztításával illetőleg annak a lakosság részére történő elosztásával történik. Mivel a folyók szennyezése az ivóvízforrás, vagy nyersvíz szennyezését is jelentette, egyre fokozódó tisztítást kellett az ivóvíz ellátás céljára alkalmazni, ami fokozódó költséget jelentett. A vízfolyások minőségének a sürgős szabályozása ezért is vált hamarosan állami, hatósági feladattá.

A szennyvíz megtisztítását illetően az első nyilvánvaló feladat a szennyvíz zavarosságának megszüntetése, nagyobb lebegő szennyezéseinek eltávolítása volt. Ennek megfelelően a legelső szennyvíztisztító műtárgyak a szűrők vagy rácsok lettek. Beépítették azokat mind a folyóba történő befolyásnál, mind azt megelőzően valahol a csatornaszakaszban. (Dunbar, 1907; Frühling, 1910). A lebegő anyag ilyen értelmű eltávolítására azért is szükség volt, hogy a szennyvíz átemelő szivattyúkat a károsodástól megvédjék. Komolyabb hatású szennyvíztisztítást az jelentett a kezdeti időszakban, hogy a szennyvizet nemcsak szűrték és átemelték, hanem azt kombinálták egy úgynevezett előülepitéssel is. Az ilyen kezelés során a KOI-ben, vagy BOI-ben mérhető szennyező anyagnak mintegy 1/3-a ülepedett ki a szennyvízből. Az '50-es évekig a műszakilag fejlettebb országokban is gyakorlatilag a mechanikus tisztítás volt a meghatározó. A biológiai tisztítás rohamos fejlesztésére csak azt követően került sor (Sickert, 1998). Az előülepités bevezetésével azonban a szennyvíztisztító műtárgyak száma is nőtt, s a tisztításra alkalmas műtárgysort is ténylegesen szennyvíztisztító telepnek lehetett nevezni.

Az előületés elterjedésével párhuzamosan a keletkező szennyvíziszappal is tenni kellett valamit. A korábbi évtizedekben a csepegtetőtestes és azt követően az eleveniszapos tisztítás fejlesztésénél már bebizonyosodott, hogy aerob mikroorganizmusokkal a szennyezőanyagok megfelelőképpen átalakíthatók az oldott formából lebegő formájúvá alakíthatók. Ez a szennyvíztisztítás meghatározó lépése, hiszen a cél a maradék vizes fázis szennyezettségének a szükséges csökkentése. A szennyvíztisztítók esetében azonban a keletkező primer iszap problémája még a szekunder iszap feldolgozási igénye előtt bebizonyította, hogy ha a szennyvíziszapot megfelelő ideig stabilizálják, anaerob körülmények között állni hagyják, abban anaerob lebomlási folyamatok mennek végbe. Az ilyen lebomlás intenzitása a hőmérséklet emelésével tovább volt javítható. Az anaerob iszapstabilizálás eredménye részben a leületített anyag mennyiségének a csökkenése lett, hiszen annak egy részéből metán és széndioxid keletkezett, másrészt a tapasztalatok alapján az anaerob módon feldolgozott vagy stabilizált iszap vízteleníthetősége változott igen kedvezően, ami a keletkező iszap vagy elhelyezendő iszap mennyiségét csökkentette nagymértékben. További kedvező hatásként tapasztalták, hogy az anaerob stabilizáción átesett, megfelelően víztelenített iszap hosszabb tárolás alatt, netán segédanyagokkal, más szerves, elsősorban mezőgazdasági hulladékokkal keverve komposztálható. Az így kapott terméket a mezőgazdaságban sokkal jobban lehet hasznosítani. Hasonlóképpen nyereség volt a rothasztás során keletkezett gáz is, ami a kezdeti időszakban fűtésre, később villamos energia előállítására hasznosult.

Mivel a szennyvíztisztítás kezdeti időszakában a feladat tulajdonképpen a csatornarendszer kialakítása, ülepítő medencék tervezése és építése volt, a szennyvíztisztítással gyakorlatilag csak építészmérnökök, kultúrmérnökök foglalkoztak. Más szakmai csoport egyáltalán nem volt még érdekelt a felmerülő problémák megoldásában, kutatásában. Az első világháborút megelőzően és azt követően az első évtizedben ennek megfelelően a fejlesztés az ülepítő medencék, valamint a szükségszerűen kapcsolódó iszapfermentáció fejlesztését jelentette. A komolyabb fejlesztési igény csak később jelentkezett az iparosodottabb területeken, Angliában, Amerikában, Németországban. A fejlesztés gyakorlatilag ebben az időszakban még csak a kombinált ülepítő-rothasztó egységek, mint a kétszintes ülepítők kialakítását eredményezte.

A kutatások kezdeti eredményét jelentette a fermentáció intenzifikálása. Tisztázódott, hogy a fermentáció ideje, hőmérséklete a gázhozamot megfelelőképpen befolyásolja. Egyértelművé vált, hogy a mezofil, 33 °C körüli hőmérséklet a legkedvezőbb az iszaprothasztás céljára. Ezeknek az ismereteknek a gyakorlati alkalmazására azonban nem került sor a felismerésüket követő első évtizedekben, hiszen ekkor még nem építettek fűtött anaerob rothasztókat, túlzottan költségesnek találták azokat. Később ugyan a termofil anaerob stabilizáció kedvező hatása, illetőleg eredménye is egyértelművé vált, nevezetesen, hogy azok a patogén mikroorganizmusokat sokkal hatékonyabban eltávolítják a biomasszából, azonban ezt is csak jóval később, több évtized után hasznosították olyan szennyvíztisztítóknak, mint Moszkva, Los Angeles és számos nagyváros szennyvíztisztítója.

1.3. Szükségszerű fejlesztés – csepegtetőtestek intenzifikálása.

A nyers szennyvíz nagy befogadókba, folyókba történő bevezetését követően a szűrés és előületés elégtelen hatása is nagyon hamarosan nyilvánvalóvá vált. Az elmúlt század elején emellett új módszert dolgoztak ki a víz állapotának vizsgálatára. Ez a szaprobitás vizsgálata volt. A század első évtizedeiben nagyon intenzíven kezdték vizsgálni a különböző folyók

város-közelit pontjain a szaprobitást. Hamarosan felismerték, hogy mellette nagyon sok indikátor mikroorganizmus, protozoa, és egysejtű szervezet, rovarok igen jó indikátor szervezetek, melyek jól mutatják, hogy a víz mennyire berothadt, öntisztulása milyen mértékű, illetőleg milyen az oxigén hiánya az adott befogadóban. A szaprobitás vizsgálatok eredményeit végül is a 60-as években Liebmann (1960) kapcsolta össze a megfelelő kémiai paraméterekkel mérhető mutatókkal és így válhatott az általánosan elterjedté.

A szaprobitás index egyértelművé tette az öntisztító kapacitást, illetőleg a folyók állapotát a sűrűbben lakott térségekben. A rövid folyószakaszon történő nagy számú szennyvíz bebocsátás hatásaként egyértelművé vált, hogy az ilyen városokban a szennyvíz befogadóba történő bevezetését megelőzően hatásosabb tisztításra van szükség. A kérdés tehát az volt, hogy az előüleptéssel el nem távolítható, a nyers szennyvíz szerves anyag terhelésének mintegy 2/3 –ad részét kitevő hányadot milyen módon lehet eltávolítani a szennyvízből. A legegyszerűbb lehetőségnek ebben az időszakban a csepegtetőtest tűnt. Ennek fejlesztését Angliában kezdték és vitték sikerre. A szűréssel a talajszűrést próbálták utánozni egyre durvább hordozó vagy szűrő anyaggal, mígnem eljutottak a kisebb kavicsok, illetőleg kisebb kőzúzalék felhasználásáig. Az első időszakban ebből az anyagból vagy töltetből építettek 2-3 m magasságú dombokat emeltek, amelyeket felülről locsoltak a megfelelő nedvesítés és terhelés-elosztás érdekében. A hordozó anyagon gyorsan kifejlődött a biofilm, amely kellő nedvesítés és oxigénellátás esetén nagymértékű szerves anyag eltávolítást volt képes biztosítani. A fejlesztés feladata volt a levegőztetés javítása, amiért is hamarosan az oldalfalakkal ellátott csepegtetőtestek építését kezdték meg, majd később ezeknek a mesterséges, ventilátorokkal történő levegőztetése is elterjedt. Fontos feladatnak bizonyult a csepegtetőtest eliszaposodásának, eldugulásának a megakadályozása, amiért is egyrészt szükségessé vált a nyers szennyvíz lebegőanyag tartalmának a maximális mértékű eltávolítása a csepegtetőtestre feladásra kerülő folyadékból, másrészt a csepegtetőtesten keletkező biomasszát időszakosan le kellett valamiképpen mosni, öblíteni a hordozó felületéről. A csepegtetőtestek megfelelő folyadék-eloszlását és a folyadékloccsolást egyébként már az 1800-as évek utolsó évtizedében megoldották (Stanridge, 1976).

A szennyvíztisztítás fejlesztésének korai időszakában úgy gondolták, hogy maga a biológiai tisztítás két lépcsőből áll. Az első nem is biológiai, hanem elsősorban fizikai. A szennyezőanyag adszorpciója és megkötődése a hordozóanyag, illetőleg azon élő iszap felületén. A második a megkötött anyag azt követő mineralizációja. Az ilyen technológia feltételezése az egyszerű fizikai (mechanikus) gondolkodás eredménye volt, amely a kérdéskörrel foglalkozó mérnököket elsősorban jellemezte. Biológiai ismereteik szükségszerűen nagyon hiányosak voltak. Ez az adszorpciós elmélet a szennyvíztisztítás vonatkozásában egész hosszú ideig uralkodó volt, egészen a szennyvíztisztítás eleveniszapos módszereinek a kidolgozásáig, illetőleg annak a kezdeti időszakát is beleértve. Az elmélet szerint a csepegtetőtestnek éppen a megfelelő mineralizáció érdekében megfelelő adszorpciós, majd megfelelő lebontási, azaz regenerációs időt kellett biztosítani. A technológiát, tápanyagellátást, folyadékfeladást ennek megfelelően ciklikusan alakították ki. Rövid ideig szennyvízzel locsolták a csepegtetőtestet, majd azt követően egy tartósabb levegőztetés következett. Az így kialakított rendszereknél azonban igen nagy fajlagos tisztító térfogat kellett. A kis szerves anyag terhelés eredményeként annak teljes mennyisége biológiai átalakításra, oxidációra került. A biofilm hordozóján nemcsak mikroorganizmusok, baktériumok fejlődtek ki, hanem az azokat hasznosító magasabb rendű szervezetek, protozoák, földigiliszták, rovarok is. A pszichoda légy például a csepegtetőtestek egyik rendkívül jellemző lakója volt, amely nagyon zavarta a tisztító működését és annak környezetét, amiért is kitüntetett figyelmet fordítottak vizsgálatára. A kis terhelésű

rendszerekben nem kellett utóülepíteni a szennyvizet, az teljesen tiszta lett. Magát a csepegtetőtestet is igen ritkán, évente egy-két alkalommal kellett csak nagyobb vízmennyiséggel átmosni, hogy a megtapadt iszapot eltávolítsák abból, megakadályozandó az esetleges eltömődést.

A csepegtetőtestek használata döntően az elmúlt évszázad első felére esik. A 30-40-es évek során azonban már jelentős fejlesztés következett be az eleveniszapos rendszerek tekintetében is. Ettől függetlenül a csepegtetőtestek további fejlesztésével azok még az 50-es évekig versenyképesek maradtak. Ilyen fejlesztés volt a nagyterhelésű csepegtetőtestes szennyvíztisztítás kidolgozása (Halvorson, 1936). A terhelés növelését az tette lehetővé, hogy a töltetet, vagy biofilm hordozót, könnyebb fajsúlyú anyagra, műanyagra cserélték. Ez lehetővé tette azután a tisztítóterefogat csökkentését, s abban egyidejűleg nagyobb szabad üres térfogat elérését. Ezzel javult a levegőztetés, valamint nagyobb felület lett a biofilm kialakulására is. A nagyterhelésű csepegtetőtesteknél a tisztítás hatékonysága a ciklikus biofilm leszakadás miatt azonban csökkent, s ez szükségessé tette a csepegtetőtesteket követően az utóülepítők kiépítését is.

A csepegtetőtestek uralkodásának időszaka azonban az 50-es évek végével lejárt. Bár a csepegtetőtestek fajlagos térfogati teljesítményük tekintetében nem tudtak versenyezni az eleveniszapos tisztítással, még napjainkban is számos speciális feladatra versenyképesek vagy felhasználásra kerülnek. Természetesen az olyan változatuk is széles körben elterjedt, ahol a csepegtetőtesteket elő-, vagy utótisztító egységként kombinálták az eleveniszapos egységekkel. Előtisztítóként a szokásos szennyezőanyag-terhelés csökkentését végezhetik az eleveniszapos rendszer előtt. Utótisztítóként a csepegtetőtesten kialakuló biomassza nagyobb tartózkodási és adaptációs ideje eredményeképpen nagyon jól beváltak nitrifikációs lépcsőként, utószűrőként. Az utóbbiaknak ugyan elég kellemetlen hátránya az utódenitrifikáció további lépcsőben történő kivitelezése, de az Egyesült Államokban, ahol nagyon sok ilyen kombinált egységet alakítottak ki, valamint a hordozó, tehát a műanyag töltet vonatkozásában is sikeres fejlesztést értek el, azok még ma is széles körben használatosak.

A csepegtetőtestek speciális változatai a forgótárcsás kontaktorok, és egyéb azt utánzó változatok. A forgótárcsás kontaktort még az 1920-as években fejlesztették ki az Egyesült Államokban, de nagyon sokat építettek abból az 1950-es évekig másutt a világon, közte Közép-Európában is. Ez egy nagyon egyszerű műszaki kialakítás, amely egyáltalán nem hajlamos az eltömődésre, nagyon kicsi a fajlagos energiafelhasználása, és a keletkező biofilm az utóülepítőben jól ülepedik. Éppen a fenti előnyök miatt sok ilyen tisztítót építettek ebben az időszakban ritkán lakott térségekben, Svájc, Ausztria hegyi falvaiban, és másutt is speciális ipari szennyvizek tisztítására.

1.4. Mezőgazdasági hasznosítás, szennyvizek tavas tisztítása

A szennyvíz összetételének a pontosabb megismerése eredményeként kiderült, hogy tápanyagai a mezőgazdaságban, mint az ősi kultúrákban már tették, felhasználhatók. A szennyvíziszap már korábbi mezőgazdasági hasznosítása mellett ezért a múlt század elejének háborús időszakát követően igény is jelentkezett a szennyvíz mezőgazdaságban történő közvetlen hasznosítására, a rossz ételmszer ellátottság miatt.

Az ilyen szennyvízhasznosításnak azonban nagyon sok hátránya, kedvezőtlen problémája is adódott. Ilyen volt először is a nagyobb városok környezetében a szabad területek hiánya. Más hasonló gond volt a szennyvíz mezőgazdasági igény szerinti felhasználása. A szennyvíz persze fertőzési veszélyt is jelentett, ami megfelelő óvatosságot, ellenintézkedéseket igényelt. A klimatikus viszonyok adott térségekben mindig nagyon befolyásolták az aktuális öntözővíz igényt, ami szintén a szennyvíz elöntözés hátrányaként jelentkezett. További gondot jelentett a toxikus vagy nehezen lebontható szennyező anyagok koncentrációja a talajban, netán a növényzetben. Mindezek eredményeként az ilyen megoldás gyakorlatilag csak a második világháborúig került alkalmazásra.

Volt azonban számos olyan ipari példa, amely a gyakorlati hasznosításban messze túlélte ezt az időszakot. Ezek elsősorban az élelmiszeripari szennyvizek mezőgazdasági elhelyezései, hasznosításai voltak. Közülük is kiemelhető a keményítő-gyártás szennyvizeinek az ilyen hasznosítása. Ez a feldolgozási időszak megfelelő toleranciájával jobban volt illeszthető a növényzet vagy a talaj vízigényéhez, mint a lakossági szennyvízé. Nagyon sok országban a burgonya-keményítő gyártás szennyvizének, de más keményítő-gyártások hulladékainak az ilyen mezőgazdasági hasznosítása is évtizedeken keresztül gyakorlat volt. A cukorgyári szennyvizeket is az első időszakban hatalmas szennyvíz tavakban gyűjtötték a termelési időszakban, amely a téli-tavaszi időszakra esett, s így a vegetációs időszakon kívül, a megfelelő tavaszi időszaktól azok elöntözhetőek voltak. Ugyanez volt a gyakorlat korábban a lenfeldolgozás szennyvizeivel és több más élelmiszeripari szennyvízzel is. A műszaki fejlődés magával hozta a megfelelő öntözőrendszer kialakításának a lehetőségét is. Ez a felületi öntözés szűkebb időszakán túl lehetővé tette egy föld alatti szennyvíz ellátó vagy elosztó csővezeték hálózat kiépítésével az öntözés időszakának a meghosszabbítását.

A talajon történő hasznosítást kiegészítendő a szennyvizek halastavakban történő tisztítására, hasznosítására is sor került, ugyancsak a második világháború kezdetéig. Számos amerikai példa volt erre, de a müncheni szennyvíz egy részének a tisztítására is használták ezt a lehetőséget rövidebb ideig. Nagyon figyelni kellett azonban a következő szempontokra:

1. A szennyvíz lebegő anyag tartalmát, a felhasználását megelőzően maximálisan el kellett távolítani, hogy a halastavakban ne ülepedjen ki, ne rothadjon be.
2. A halastavak esetében a szennyvizeket csakis megfelelő, friss vízzel történő hígítással lehet bevezetni a tavakba, az oxigénhiányos környezetet elkerülésére.
3. A halastavaknál a szennyvízre mindig megfelelő ellenőrző rendszert kellett kiépíteni, hogy még véletlenül se fordulhasson elő a tavak lemérgeződése toxikus szennyezések miatt.

A halastavakban történő szennyvíz-hasznosítás alapvető problémája azonban a fentiekén túl a téli időszakok rendkívül gyenge tisztítási hatékonysága is volt.

A tropikus területeken, ahol megfelelő hőmérséklet biztosított az év döntő részében, az ilyen szennyvíztisztítás kis lakosszámú helységeknél mindenképpen szóba jöhet.

1.5. Az elméleti ismeretek bővülése

A csepegtetőtestek virágzása idején, az elmúlt század 20-as éveinek a közepén Amerikában egy nagyon fontos felfedezésre került sor. Biológiai oxigénigény mérésével vizsgálva az Ohio folyó öntisztulási képességét, úgy találták, hogy a szerves anyagok biológiai lebomlása jól követi az elsőrendű kinetikát. Ettől az időtől kezdve fogadták el világszerte általánosan a szennyezettség, illetőleg a szennyező anyag lebomlási sebességének vizsgálataként a biológiai oxigénigény mérését mind a folyók, mind a szennyvizek szennyezettségét illetően. A

felfedezést követően azután egyértelműsítették, szabványosították a vizsgálat célszerű hőmérsékletét is (20 °C). Ettől függetlenül a tápanyag-felvételi sebesség hőmérséklet függését megfelelően pontosították. Az is világossá vált, hogy 20 °C körüli hőmérsékleten minden nap a vizes fázisban levő szerves anyagnak 20 %-át távolítják el a mikroorganizmusok a szennyvízből. Öt nap után, a szerves anyag oxidációjának befejezését követően általában megindul az ammónium oxidációja a vizsgálatnál.

A biológiai lebomlás elsőrendű kinetikával történő leírása a mérnökök számára igen kényelmessé tette a szennyvíztisztítás kezelését. A felfedezést követően különösen az Egyesült Államokban indult meg igen széles körű vizsgálat sorozat a BOI mérésével a különböző szennyező komponensek biológiai lebonthatóságának a megállapítására. A szennyvíztisztítás mélyebb biológiai alapjainak a tisztázása azonban ekkor még nem volt lehetséges, hiszen a gyakorlatát, kutatását nem azok a szakemberek vitték, akik a kapcsolódó ismeretekkel rendelkeztek, hanem elsősorban a kultúrmérnökök. Ők a tisztítási folyamatot mechanikus szemlélettel kezelték, a klasszikus adszorpciós elmélet szerint. Hogy ez a gondolkodásmód megváltozzon, mintegy 30 évre volt szükség. Csak az 50-es és 60-as évek táján jutottak odáig, hogy a BOI mérés során lejátszódó folyamatokat igazán értelmezni tudják. Amerikában a kutatások megindítása Hoover és Bosh nevéhez fűződik (1911). A baktériumok tevékenységének, illetőleg meghatározó szerepüknek a felismerése a BOI vizsgálatnál már a kezdeti időszakban egyértelmű volt. A baktériumok pontos működését azonban csak évtizedekkel később sikerült tisztázni. Az elsőrendű kinetika alapján történő szerves anyag hasznosítás tervezése mégis nagyon egyszerűvé vált ettől az időszaktól a mérnökök számára. Bosh a BOI mérés során pontosította, hogy a szerves anyag lebomlásáért milyen részfolyamatok a felelősek. Felismerte, hogy a BOI vizsgálatok során mintegy 24 óra után az oxigénfogyasztás egy platót ért el, majd lelassult. Az első 24 órában egyértelműen az oldott állapotú szerves tápanyag lebontása következett be. Az enzim-kinetika alapján ez a szakasz matematikailag nagyon pontosan leírható volt (Hartmann, 1992). Ez adta meg végül is a lehetőségét a különböző szerves anyagok biológiai lebonthatósága vizsgálatának. Természetesen ettől kezdve nagyon sok új vegyipari termék, produktum, szerves anyag biológiai lebonthatóságát vizsgálták a módszerrel. Az oxigén fogyasztás említett egy nap utáni tetőzése a könnyen felvehető, vagy oldott szerves tápanyagok lebontásának az eredménye, melyet követően a további oxigénfelvétel a nehezebben bontható szennyezők lassúbb átalakítása, valamint az úgynevezett endogén respiráció eredménye. Az utóbbi a baktériumok saját tápanyagának ismételt hasznosítását jelenti. Emellett a második lépcsőben az ammónium oxidációjára is sor kerül, melyért azonban már egy más mikroorganizmus csoport a felelős. Ezzel gyakorlatilag behatárolták a biológiai szennyvíztisztítás folyamatában a szerves szennyező-anyagok eltávolításához szükséges tartózkodási időt, illetőleg oxigénigényt.

1.6. Eleveniszapos eljárások

Az eleveniszapos rendszerek fontosságára először az 1910-es évek közepén hívták fel a figyelmet (Ardens és Lockett, 1911). Ők egyértelműen látták, hogy sűrűn lakott nagyvárosok körzetében, ahol nagy szennyvízterhelés várható és azt kis térfogatban kellene tisztítani, csakis bonyolultabb megoldások lehetnek eredményesek, mint a csepegtetőtest. Mégis annak az elve adta az ötletet az eleveniszap kialakítására. Úgy gondolták, hogy a tisztítás az eleveniszapban is két lépcsőben történik, melyek közül az első egy adszorpció, amit a biológiai oxidáció követ. Az eleveniszap pelyhecskét mintegy szabadon úszó biofilm részecskének feltételezték, melyekben a baktériumok és a protozoák életközössége végzi a

szerves anyag vizes fázisból történő eltávolítását. A korábbi elméleti megfontolással szemben már úgy gondolták, hogy a fizikai-kémiai körülmények nagyon fontosak a kialakuló iszappelyhek stabilizálódása, valamint azoknak a finom kolloid szennyező részecskékre gyakorolt szűrő hatására. A szilikátokat nagyon fontos mikroorganizmus csoportnak gondolták ebben az időszakban, és hozzájuk kötötték a kolloid részecskék eltávolítást.

Az eleveniszapos rendszereknek nagyon nagy üzemeltetési problémája volt a kezdeti időszakban is az iszapduzzadás. Magyarozatára azonban még nem volt kellő ismeret. Sokkal nagyobb jelentőséget tulajdonítottak ekkor a levegőztetés, illetőleg a levegőztető berendezések kérdésének, fejlesztésének, mivel ezek jelentették a szűk keresztmetszetet az eleveniszapos szennyvíztisztítóknál. Nagyon sokféle levegőztető berendezést fejlesztettek ki, vizsgáltak és versenyeztettek egymással a kezdeti időszakban. Az oxigén ellátása tekintetében sem volt egyértelmű, hogy a mikroorganizmusok munkájához milyenek is kell lenni a levegőztető medencében az oxigén koncentrációjának. Azt ugyan pontosították, hogy a szerves anyag eltávolításához mintegy 0,5 mg/l oldott oxigén a levegőztető medencében elégséges, de az is egyértelművé vált, hogy a nitrifikálók hatékony munkájához ezzel szemben mintegy 4 mg/l oldott oxigén koncentráció elengedhetetlen.

Az 50-es évek végére vált világossá, hogy a különböző terhelésű rendszerek különböző mennyiségű oxigént igényelnek, illetőleg a lakossági szennyvizekben a nitrifikációnak is meghatározott oxigénigénye van. Az oxigénigény pontosításával, illetőleg az oxigén koncentráció mérésének megoldásával vált lehetővé a különböző rendszerek összehasonlító vizsgálata.

A jelenlegi elmélet szerint a szennyvíz szerves anyagai gyakorlatilag gyorsan adszorbeálódnak az eleveniszap pelyheinek a felületén. Míg a korábbi nézet szerint az iszapról vagy iszaptól ezt az adszorbeált szerves anyagot az iszap visszavitelét megelőzően levegőztetéssel el kellett távolítani, napjainkban az az általános nézet, hogy az iszappelyhek szerves anyag lebontása olyan dinamikus folyamat, amely meghatározóan egyetlen medencében, a levegőztető medencében is megoldható. Az 1970-es évekig azonban a szennyvíztisztítás gyakorlatában a korábbi adszorpció elmélet volt az uralkodó. Ennek megfelelően, elsősorban a 60-as évek folyamán számos olyan szennyvíztisztító került kiépítésre, amelyeket mintegy kontakt stabilizációs üzemmódban, gyors adszorpcióval, majd azt követő iszapregenerációval működtettek. Ezeknél a telepeknél nagyon fontos, hogy a recirkuláltatott iszapot hova és hogyan vezetik be a levegőztető-medencébe.

Eddig az időszakig a szennyvíztisztítókat nagyon különböző terhelések mellett üzemeltették. A kisterhelésű rendszerekben a szerves anyag teljes lebomlását mérték ki (Dohmann, 1998), míg a nagyterhelésű rendszereknél a szerves anyag egy része oldott formában, vagy finom lebegőanyagként a szennyvízben maradt. A szennyvíztisztítóknál ilyenkor az eleveniszapos rendszer folyadékának a tartózkodási idejét tartották meghatározónak, amit rendszerint 6-12 óra között igyekeztek tartani.

Erre az időszakra már világossá vált, hogy a különböző biológiai terhelésű rendszerekben eltérő mikroorganizmus tenyészet alakul ki. A kisterhelésű rendszereknél ($F/M < 0,2$ kg BOI_5 /kg MLVSS d) teljes biológiai oxidációt értek el. Ez azt jelenti, hogy a szerves anyag eltávolításán túl az ammónium oxidációja is teljessé vált. A nagyterhelésű rendszerekben ($F/M = 2$) gyakorlatilag csak a biológiailag könnyen felvehető szerves anyag távolítható el az ilyen tisztítás során.

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás ebben az időszakban bekövetkezett széleskörű kiépítése azonban újabb feladat megoldását tette szükségessé. Az úgynevezett szekunder iszap keletkezése a primer iszap mellett további iszaptermelés másodlagos feldolgozását igényelte. Ezt azt jelentette, hogy ezután nagyobb sebességgel kellett az anaerob iszaprothasztást biztosítani. Ehhez szükséges lett fűtött rothasztók kiépítése, üzemeltetése. Az átlagos hidraulikus tartózkodási időt az ilyen fűtött rothasztókban már a nagyobb, mintegy 30 napos időtartamról csökkenteni lehetett csaknem 10 napos értékre. Hogy az iszap vízteleníthetőségét javítsák, a kis tartózkodási idejű rothasztókban termelt rothasztott iszaphoz segédvegyszereket kellett adagolni a víztelenítésnél. A biogáz ugyanakkor nagy mennyiségben keletkezett és ezt hasznosították a rothasztók fűtésére, valamint ezen túl szükség szerint elektromos áram termelésre, amellyel csökkenthették azután az oxigén bevitel energiaköltségét. Ettől függetlenül eddig az időszakig még nem volt egyértelmű, hogy a baktériumok tevékenysége az eleveniszapos szennyvíztisztítóknál a lebontás sebességét illetően nem órákban mérhető, hanem mindössze percekben. Nem ismerték fel annak a jelentőségét, hogy a biológiai tisztítóban levő iszap koncentrációja meghatározó a bakteriális tevékenység vagy szerves anyag lebontó kapacitás tekintetében. Az 50-es évek vége körüli kutatómunka vezette először a német, és elsősorban svájci kutatókat az iszapkoncentráció fontosságának felismeréséhez (Wuhrmann és von Beust, 1958).

Ezek a kutatók írták le először az eleveniszapos szennyvíztisztítás működési paramétereit, valamint a tisztítási hatékonyság közötti matematikai összefüggéseket. Gyakorlatilag ehhez már csak a biológiai katalizátorok ismeretét kellett a későbbiekben hozzátenni. A mérnöki gyakorlatban azonban az eleveniszapos tisztítók, mint biotechnológiai rendszerek működésének az ismerete, az elméleti ismeretek hiányosságai miatt nem válhatott általánossá. Mindez annak volt az eredménye, hogy ebben az időszakban a mikrobiológusok még nem jutottak megfelelő szerephez a biológiai szennyvíztisztítóknál, illetve eleveniszapos rendszerek fejlesztésében, építésében. Képtelenek voltak ekkor még a biológiai oxigénigény méréséből megfelelő következtetésre, valamint az ennél sokkal bonyolultabban működő eleveniszapos rendszer eltérésének a megértésére. Csak később vált igazán világossá, hogy az eleveniszapos rendszerben lejátszódó folyamatok ugyan a BOI mérő egységben is bekövetkeznek, de amíg abban, időben elkülönülve, a szennyvíztisztítóban egyszerre játszódnak le. A tisztítóban megfelelő kialakulásukhoz elkülönített térfogatokban kell biztosítani a szükséges feltételeket, körülményeket.

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás olyan speciális formája, mint az oxidáció tó, ugyanakkor igen széles körben elterjedt a múlt század 50-es, 60-as éveitől lakossági, lakossági és ipari szennyvizeknél egyaránt egyszerű kialakítása és üzemeltetése miatt.

1.7. Detergensek hatásának a felismerése

Az 50-es évek végén az eleveniszapos szennyvíztisztításban egy különleges probléma jelentkezett, amely gyakorlatilag a szennyvíztisztítás megközelítését vagy gondolkodási módját, illetőleg a környezetpolitika szennyvíztisztítással kapcsolatos véleményét is megváltoztatta. A tisztításra magára sokkal kisebb hatással volt a felületaktív anyagok ilyen értelmű jelentkezése, és ennek megfelelően a technológiát sem változtatta meg jelentősen. A probléma kiküszöbölését azonban nagyon gyorsan meg kellett oldani és erre megfelelően gyors válasz is történt.

A klasszikus mosószappanok felváltása szintetikus mosószerekkel a szennyvíztisztítóknál környezetét vagy működését nagyon drasztikusan megváltoztatta. A tisztítóknál minden

reggel a terhelés növekedésekor komoly habzás jelentkezett, ami esetenként akár az egész szennyvíztisztítót egy habfüggönybe zárta be. Az ebben az időszakban bevezetett szerves detergensok gyakorlatilag biológiailag bonthatatlanok vagy nagyon lassan bonthatók voltak. Ennek megfelelően ezek a szennyvíztisztítókból csaknem teljes mennyiségükben úgy távoztak, vízben oldva vagy molekuláris kolloid-oldatként, ahogy abba beérkeztek. Természetes, hogy a tisztítás után a befogadókat is hasonlóan szennyezték. Mivel nem volt műszaki megoldás a habképződés megszüntetésére, egyetlen megoldás a környezetpolitikai intézkedés volt. Nagyon rövid időn belül meghozták azokat a szükséges jogi lépéseket, melyek a biológiailag bonthatatlan mosószeret törvényileg kizárták a forgalmazásból. Ettől kezdődően valamennyi új vegyszer, mosószer, melyet kereskedelmi forgalomba kívántak hozni, előzetes biológiai lebonthatósági vizsgálaton kellett hogy átmenjen.

A biológiailag bonthatatlan mosószeres kizárása a kereskedelmi forgalomból érdekes módon más lépéseknek is a kezdetét jelentette. A következő években hamarosan törvénybe iktatták a nehézfém tartalom ellenőrzését és szabályozását is mind a szennyvíztisztítóba érkező szennyvizetnél, mind az ott keletkező iszapokban. Ez a tisztító üzemeltetése, valamint az iszap mezőgazdasági elhelyezése, hasznosítása tekintetében jelentett komoly ellenőrzést. Az úgynevezett biológiailag bonthatatlan maradék szennyezettség a vizes fázisban vagy az iszapfázisban, amely a szerves vegyületektől, többek között klórozott szénhidrogénekből származhatott, hasonlóan hamarosan limitált paraméterre vált a különböző nemzeti szabvány előírásokban. Azok megsértése igen komoly bírságtételeket jelentett a szennyezőnek.

A közvélemény általánosan fokozott érzékenysége a környezet, a vizek szennyezése tekintetében oda vezetett, hogy az üzemeknél lényegesen csökkent a vízfelhasználás és a kibocsátott szennyezőanyag kibocsátása is. A szigorú bírságotól rendszer bevezetését követően már nem volt tovább gazdaságos a szennyező anyagot a városi közcatornába bocsátani, hiszen azt költség nélkül senki nem tehetette meg ettől az időszaktól kezdődően. A szennyvíz elhelyezési és annak tisztítási költsége a kommunális tisztítóban ettől kezdve egyrészt a bevezetett folyadékáram, térfogatáram alapján, másrészt annak a szennyezőanyag tartalma alapján került megállapításra. Ettől az időtől kezdődően kevésbé költségesnek bizonyult a hulladék vagy szennyvíz mennyiségét az üzemben belül csökkenteni, illetőleg a szennyező anyagokat ott előkezeléssel eltávolítani a szennyvizetből, mintsem azt a kommunális tisztítóra hárítani, és a költségeket fizetni. Néhány esetben természetesen az is bebizonyosodott, hogy a szennyvizetből így eltávolított szennyező anyagok mintegy másodnyersanyagok is lehetnek vagy az adott iparágban, vagy más iparágban, üzemekben.

1.8. Nitrogén és foszfor tápanyagok eltávolítása

A 70-es évek elejére a biológiai szennyvíztisztításnak, vagy eleveniszapos szennyvíztisztításnak, amely annak meghatározó részévé nőtt, az alapjai gyakorlatilag ismertté váltak és alkalmazásra, a technológiai fejlesztések során bevezetésre kerültek. Egy ideális kommunális szennyvíztisztító ennek megfelelően egy nagyterhelésű eleveniszapos lépcső, majd azt követő nitrifikációs egység együttese volt. A szerves anyag eltávolításához viszonylag rövid tartózkodási időt kellett csak biztosítani a levegőztető medencében. A csepegtetőtest ugyanakkor a kis szerves anyag terhelés eredményeként nagyon hatékonyan biztosította a nitrifikációt, valamint a maradék vagy nehezen bontható szerves anyagok utótisztítását az ilyen kombinációnál. Ha nagyobb tisztítási igény volt teljesítendő a szerves anyagra, még egy utótisztítási lépcsőt is hozzá lehetett ahhoz csatlakoztatni, amely egy aktív szerves adszorpció, vagy ezzel kombinált biológiai tisztító egység volt. A levegőztető medencét természetesen számtalan kisebb egységre lehetett osztani, a mindenkori

szennyvíztisztítási igénynek megfelelően. Az üzem tisztítási hatékonysága és gazdaságossága érdekében ez világszerte általánossá vált. Az előülepítést hasonló célból nagyon sokszor szükségtelennek találták, és ezzel javították az eleveniszapos rész tápanyag ellátottságát, illetőleg a denitrifikáció lehetőségét a rendszerben. Az eleveniszap mennyisége ilyenkor szükségszerűen módosult, illetőleg a fölősiszap hozam mennyisége változott valamelyest, de az iszap végső feldolgozására továbbra is az anaerob iszaprohasztó maradt, amely a metán révén a szerves anyaggal érkező energia egy részét ismételten hasznosíthatóvá tette a szennyvíztisztítóban.

Ezt a technológiafejlesztési vonalat zavarta meg valamelyest az éppen ebben az időszakban jelentkező vagy egyértelművé váló egyéb környezeti hatás, vagy követelmény jelentkezése. Az 1950-es években már egyértelművé vált, hogy a tisztításnál esetlegesen szükség lehet a foszfát fokozottabb eltávolítása is, hiszen a befogadóba kibocsátott foszfor mennyiség ott kedvezőtlen körülmények esetén komoly eutrofizációhoz vezethet. A maradék foszfor eltávolítására abban az időszakban a szennyvíztisztításnál a vegyszeres kicsapatást használták.

A 80-as években azonban az eutrofizáció erősen fokozódott olyan területeken is, amelyeken korábban ennek a kellemetlen szerves anyag vagy algatermelésnek a hatásait még nem érzékelték. A Balti- és az Északi-tengeren, amely Angliából, Hollandiából, Németországból és Dániából kapta a vízszennyezését, nagyon jelentős algavirágzást vagy algarobbanást tapasztaltak, amely egyértelműen a szennyvizekkel megnövelt nitrogén terhelés eredménye volt. Ennek az új problémának a kiküszöbölésére, megszüntetésére szükségessé vált a szennyvíztisztítási technológiák további fejlesztése, valamint a foszfor eltávolításának olcsóbb, egyszerűbb módszerrel történő biztosítása. A biológiai nitrogén eltávolítás elméleti háttere erre az időszakra már tisztázott volt, nem mondható el ugyanez a biológiai többletfoszfor eltávolításáról.

A korábbi évtizedekben egyértelműnek hitték, hogy a biomassza által felvételre nem kerülő foszfor csakis vegyszerekkel távolítható el a biológiai szennyvíztisztító rendszerből, vagy a biológiailag tisztított elfolyó vízből. A 60-as évek közepétől a számos üzemben tapasztalt foszfor eltávolítási anomáliák azonban a kutatókat fokozott munkára serkentették. A dél-afrikai kutatóknak a 70-es évek közepére sikerült is kidolgozni a többletfoszfor biológiai eltávolításának azt a hatásos technikáját, amely gyakorlatilag megszüntette a vegyszer adagolásának igényét vagy ennek megfelelően a vegyszerrel történő iszapszennyezés lehetőségét a szennyvíztisztításnál. A fokozott nitrogén és foszfor eltávolításhoz azonban a biológiai tisztításnál fokozott mennyiségű szerves szén kell, ami egyértelművé tette, hogy a kommunális szennyvizek ilyen tisztítási folyamatait optimalizálni kell a szerves szén felhasználása tekintetében. Az erre vonatkozó kutatások jelenleg is folyamatban vannak és ismertetésükre a későbbi fejezetekben kerül sor.

1.9. Anaerob rothasztás fejlesztése

Az anaerob iszaprohasztás felismerését, kidolgozását követően hosszú ideig úgy tűnt, hogy ennek az iszap-feldolgozási vagy szennyvíztisztítási módszernek már nincs további fejlesztési lehetősége. A megfelelő fűtött anaerob iszaprohasztók szintjén megállt a fejlesztés. A 70-es évek elejétől azonban ez a terület is újra fejlődésnek indult. A lehetőségekre a korábbi vizsgálatoknál ugyan már voltak jelek, de az igazi áttörést a 70-es évek eredményei jelentették. Ekkor vált tisztázottá az anaerob iszaprohasztás többletpepcős mechanizmusa, melyben három kölesönösen vagy szintropikusan együtt élő mikroorganizmus csoport végzi a nagy molekulatömegű szerves anyagok metánná és széndioxiddá történő lebontását. A három

mikroorganizmus csoport tevékenységének, kölcsönhatásának pontosításával vált lehetővé olyan speciális iszapkezelési technika, majd később nagy koncentrációjú, elsősorban élelmiszeripari szennyvizek tisztítására alkalmas módszer kidolgozása, amely az élelmiszeripari szennyvizek tisztítását jelentősen átalakította. Korábban az ilyen szennyvizek tisztítása az eleveniszapos rendszerekre hárult és azokban nagyon sok esetben iszapduzzadást eredményezett. A csepegtetőtesteknél ezzel szemben a nagy terhelés eliszaposodást, eltömődést okozott. Az új megoldással az iszap, vagy tömény szennyvíz anaerob feldolgozása több lépcsőben, optimalizált körülmények között történt, sokkal nagyobb térfogati terheléssel, mint a korábbi rothasztóknál.

A korábbi megoldásnál az iszap rothasztását tökéletesen kezelt tankreaktorokban (CSCR) végezték. Esetenként az ilyen tisztításnál iszaprecirkulációt is alkalmaztak a jobb keverés, összetétel kiegyenlítés érdekében. Később ilyen reaktorokat fluid ágyas változatban vagy rögzített, de úgynevezett expandált ágyas változatban is kialakítottak mind laboratóriumi, mind üzemi méretekben (Sahm, 1984; Winter, 1984). Néhány anaerob reaktortípust a holland kutatók úgynevezett feláramló folyadékárammal és gázárammal mozgatott iszapréteges kivitelben alakítottak ki (UASB) (Lettinga és társai, 1980), melyekben a kedvező hidrodinamikai körülmények, valamint a mikrotápanyag-ellátottság optimalizálásával a különböző mikroorganizmus fajok olyan együttese alakulhatott ki, melyek optimális lebontási sebességet, s egyidejűleg különösen sűrű, úgynevezett granulált iszapot eredményeztek.

1.10. Jelenlegi problémák, további lehetőségek.

Összegezve a szennyvíztisztítás napjainkig vezető történetét, folyamatait mindig a bonyolultság, az összetettség jellemezte. Az eltelt időszak több mint felében a szükséges elméleti háttér ismeret szinte teljesen hiányzott. Az üzemek ennek ellenére sikeresen működtek. Üzemeltetők nem igen tudták, hogy eredményeiknek mi is a magyarázata. A kezdeti időszakban a kultúrmérnökök feladata volt a szennyvíztisztítók tervezése, építése, és ők ki is alakították a megfelelő módszereket, amivel megfelelő tapasztalatra tettek szert. Az eredmények a legtöbbször kielégítették az elvárásokat. A szennyvíztisztítás ebben a kezdeti időszakban erősen szakmaorientált tevékenység volt különösebb tudományos háttér vagy magyarázat nélkül. Természetesen ezt követően a mérnökök fejlesztették a szükséges ismereteiket, és sikeresen átalakították a szennyvíztisztítás technológiáját.

A szennyvíztisztítás igényei, követelményei azonban egyre tökéletesebb tisztítási hatékonyságot és ennek megfelelően a biológiai folyamatok mind részletesebb megismerését követelték a fejlesztőktől. A biológiai szennyvíztisztítás tudományos ismeretei ennek megfelelően az utóbbi 20-30 évben igen rohamosan bővültek, ami elsősorban vegyész-mérnökök és biológusok fejlesztő munkájának az eredménye. A fejlődés napjainkban is igen gyors. A jelenlegi helyzetet a korábbival szemben az a tény jellemzi, hogy az elméleti ismeretek mögött messze elmarad azok gyakorlati hasznosítása. Nem minden tisztított technológiai lehetőséget tudnak bevezetni a gyakorlatban, hiába van annak meg a műszaki lehetősége, mivel a gazdasági fedezet hiányos ahhoz.

A jelenleg sem kellően hatékony szennyvíztisztítás magyarázata magának a szennyvíztisztítás tárgyának a behatárolhatatlanságában van. Legtöbb esetben a szennyvíz, valamint a benne lejátszódó, végbemenő reakciók is egy kémiai rendszertől eltérően nem kellően pontosíthatóak. A biológiai tisztításnál egy tápanyag felvételi lánc sorozata a folyamat, melynek a szereplői (mikroorganizmusok) is folyamatosan változó dinamikus rendszert alkotnak. Ezek a leghatékonyabban állandó környezeti feltételek mellett, optimalizált

rendszerben tudnának dolgozni. A baktériumoknak ennek megfelelően optimális fizikai, kémiai környezetet és tápanyag ellátást kellene biztosítani. Ilyen feltételek azonban a szennyvíztisztítás esetében teljesen kizártak. A lakossági szennyvíz állandóan változó összetételű, ami érvényes a mennyiségére, tápanyag tartalmára, toxikus anyag tartalmára, de még a hőmérsékletére is. Ennek megfelelően optimális tisztítást ilyen rendszerrel elérni gyakorlatilag szinte lehetetlen.

A szennyvíz összetételének a problémáját talán elég azzal érzékeltetni, hogy az átlagos szennyvíz összetétel is messze van a szennyvíztisztítást végző mikroorganizmusok számára optimális tápanyag aránytól. Ez a tápanyag arány C/N hányaddal jellemezve, mintegy 12 lenne. A gyakorlatban a C/N arány a kommunális szennyvizeknél közelítőleg 4. Ez is mutatja, hogy a nitrogén mennyisége a rendelkezésre álló szénhez képest túlzott. Ugyanez igaz a foszfátra is. Még a szerves karbon eltávolítás tekintetében sem beszélhetünk optimális körülményekről. Az új és folyamatosan szigorodó nitrogén- és foszforeltávolítási igényeket ilyen szerves anyag szegény környezetben nagyon nehéz kielégíteni. Egyetlen más biotechnológiai folyamatnál sem kell ilyen problémákkal küszködni a cél érdekében. Számos esetben éppen külső szerves tápanyag adagolásával lehet valamelyest optimalizálni a nitrifikáló és denitrifikáló és többletfoszfor eltávolító folyamatok végbemenetelét.

A szennyvíz tisztítása a lakossági telepen, mintegy végponti szennyvíztisztításként szükségszerűen nem lehet igazán. A károsító anyagokat szükségszerű valahol a szennyvíztisztítót megelőzően el kell távolítani a szennyvizekből, ahol azok koncentrációja még elég nagy ahhoz, hogy netán gazdaságosan eltávolíthatók, visszanyerhetők legyenek a folyadékáramból. Csak az elkerülhetetlen folyadékaszennyezést szabad ezután az iparból a kommunális szennyvíztisztítóba beengedni a befejező tisztításra.

IRODALOMJEGYZÉK

- ARDERN, E., LOCKETT, W.T. (1914). Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters. *J. Soc. Chem. Ind.* **33**. 523-539, 1122-1124 (part I and part II).
- DOHMANN, M. (1998). Weitergehende Abwasserreinigung. *Korrespondenz Abwasser* **45**. 1240-1251.
- DUNBAR, W.PH. (1970). *Leitfaden für die Abwasserreinigungsfrage*. München: Oldenbourg.
- FRÜHLING, A. (1910). *Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Die Entwässerung der Städte, Flussverunreinigung und Behandlung städtischer Abwässer*. Leipzig: Verlag W. Engelmann.
- HALVORSON, H.O. (1936). Aero-filtration of sewage and industrial wastes. *Water Works Sewage* **9**. 307-315.
- HARTMANN, L. (1992). *Biologische Abwasserreinigung*. Berlin. Heidelberg. New York: Springer-Verlag.

- HOOVER C.B. (1911). A method for determining the parts per million of dissolved oxygen consumed by sewage and sewage effluents. *Colombus Sewage Works - Engineering News* **65**. 311-312.
- IMHOFF, K.R. (1998). Geschichte der Abwasserentsorgung. *Korrespondenz Abwasser* **45**. 32-38.
- LETTINGA, G., VAN FELSON, A.F.M., HOBMA, S.W., DE ZEEUM, W., KLAPWIJK, A. (1980). USE of the upflow sludge blanket (UASB) reactor concept for the biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotech. Bioeng.* **22**. 299-334.
- LIEBMANN, H. (1960). *Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie*. Vol. 1. München: Oldenbourg.
- SAHM, H. (1984). Anaerobic wastewater treatment, in: *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* **29** (FIECHTER, A., Ed.). pp. 83-115. Berlin. Heidelberg. New York: Springer-Verlag.
- SICKERT, E. (1998). Kanalisation im Wandel der Zeit. *Korrespondenz Abwasser* **45**. 220-246.
- STANBRIDGE, H.H. (1976). *History of Sewage Treatment in Britain. 5. Land Treatment*. The Institute of Water Pollution Control. Maidstone.
- WINTER, J. (1984). Anaerobic waste stabilization. *Biotechnol. Adv.* **2**. 75-99.
- WUHRMANN, K. VON BEUST, F. (1958). Zur Theorie des Belebtschlammverfahrens. II. Über den Mechanismus der Elimination gelöster organischer Stoffe aus dem Abwasser bei der biologischen Reinigung. *Schweiz. Z. für Hydrol.* **20**. 311-330.