

Véleményem szerint a használati díj ellentmondásaival kapcsolatos tapasztalatok sem maradhatnak ki az összefoglalásból. Néhány számadat, amely magáért beszél.

Jelenleg ugyanakkora használati díjból kell egy jóval nagyobb és fejlettebb rendszert üzemeltetni. A projekt keretében kiépült új víziközművek bekerülési költsége (Vát nélkül) kb. 1,3 mrd Ft volt - amelyben csak a hálózat 50 éves amortizációjával számolunk, kb. 26 mFt/év a 3 csatlakozó település új szennyvízcsatorna hálózatának értékcsökkenése, amelynek meg kellene képződni a használati díjban. Ehhez képest a teljes kibővült Büki Szennyvízelvezető és Tisztító Rendszeren 2022. évben kb. 7,8 mFt a rendelkezésre álló használati díj.

A fenti számok is jól mutatják, hogy a fenntartás és az üzemeltetés kérdéseivel, nehézségeivel szembe kell nézni és azokra nagyon rövid időn belül megoldást kell találni.

További felmerülő feladatként jelentkezett az, hogy több víziközmű-szolgáltató érintettsége esetén az engedélyezési eljárásokban a hatóságok különbözőképpen kezelik az elkészült rendszert. Mivel a MEKH

víziközmű-rendszer alapon gondolkodik, a büki agglomeráció bővítés esetében két önálló kérelmet kellett benyújtani: egyet nekünk a büki rendszer működési engedélyének módosítására, egyet pedig a VasivízZRT-nek a teljesen új váti rendszer működési engedélyének kiadására. Ugyanakkor a vízügyi hatóság a vízjogi üzemeltetési engedélyezési eljárásban az elkészült műveket műszakilag egybefüggő rendszerként kezelte, tehát itt a társ-szolgáltatóval közös kérelmet kellett benyújtani.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Személy szerint nagyon hálás vagyok érte, hogy ennyire szervesen részt vehettem a projekt lebonyolításában, mert nagyon sok gyakorlati és szakmai tapasztalattal lettem gazdagabb.

Jó szívvel írhatom, hogy amit lehetett, kihoztuk a projektből. Műszakilag jó színvonalú, fenntartható víziközművek születtek. Személy szerint és víziközmű-szolgáltatóként is nagyon sokat tanultunk a büki szennyvíz-agglomeráció fejlesztéséből, melyeket biztosan kamatoztatni tudunk egy következő beruházás során.

SZERZŐ:



Fenyvesi Nóra: Szakmai tanulmányait a BME Vegyészmérnöki Kar Környezeti szakán kezdte, ahol okleveles környezetmérnöki diplomát szerzett, majd 2008-2010 között a Bajai Eötvös József Főiskolán Vízellátás –Csatornázás Szakán szakmérnöki képesítést kapott.

Jelenleg a Soproni Vízmű Zrt.-nél dolgozik, mint közműfejlesztési mérnök. Korábbi munkahelyei: Fővárosi Vízművek Zrt., MEKH

A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS KIALAKULÁSA ÉS JELENLEGI FEJLESZTÉSI IRÁNYAI – (I)

PROF. HARTMANN ÉS MÁSOK UTÁN TÖMÖRÍTVE - DR KÁRPÁTI ÁRPÁD (PE)

BEVEZETÉS - A LAKOSSÁGI SZENNYVIZEK TISZTÍTÁSÁNAK TÖRTÉNETÉHEZ

A lakossági szennyvizek mennyisége, minősége az emberiség létszámának növekedésével, agglomerálódásával, életvitelének alakulásával 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 fúrt kútból történik a vízellátás, vagy akár vízvezetékes is legyen a vízellátás, a szennyvíz elvezetése még nincs szükségszerűen kiépítve, nincs megfelelő gyűjtőcsatorna rendszer. Ilyenkor kényszerűségből a szennyvizet a legközelebb eső felszíni befogadóba vezetik be. A ritkán lakott, fejletlenebb területeken ez még ma is elég széleskörű gyakorlat, de megfigyelhető a fejlődő országok túlszűfolt, tengerparti nagyvárosaiban is. A szennyvizek talajra történő kiöntözése, mindaddig nem okoz különösebb problémát, amíg a talaj baktériumai, mikroorganizmusai révén rendelkezésre álló öntisztító kapacitás képes feldolgozni a szennyező

anyagot, s természetesen a talaj az azt szállító vizet is képes elnyelni. Az élővizetbe vezetett túlzott mennyiségű szennyvíz elfogyasztva abból az oxigént berothadást eredményez.

Az urbanizáció folyamatos növekedésével mind a fejlettebb, mind a fejlődő országokban egyre nagyobb mennyiségben történik a szennyvizek összegyűjtése. A szennyezőanyag koncentrációk nagyon eltérők lehetnek, időnként igen nagy koncentrációk is jelentkeznek. A túlzott 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 meghaladta. Kielégítésükre fejlődtek ki a különböző bonyolultságú és jellegű mesterséges tisztítási módszerek, a mechanikus, fizikai-kémiai, majd végül a biológiai tisztítások.

A mesterséges szennyvíztisztítási technológiák ellenőrzésére megfelelő műszerezettség alakult ki, ami a szennyvíztisztítás fejlesztésében

a huszadik század második felében 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. A század végére valamennyi technológia kisebb-nagyobb mértékben a biológiai folyamatok hasznosításán, a szennyező anyagok „természetbaráttá” alakításán alapult. 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 jelentette, hogy csak akkor kerülhetett sor a szennyvíztisztítás minőségének javítására, ha a külső ráhatás erősödött, vagy a hatóságok fokozták a felügyeletet, ellenőrzést. A szennyvíztisztítás szükségszerű fejlesztésére a végső lökést végül is a környezet utóbbi időben jelentkezett vissza nem fordítható minőségromlásának az egyértelmű érzékelése, dokumentálása jelentette.

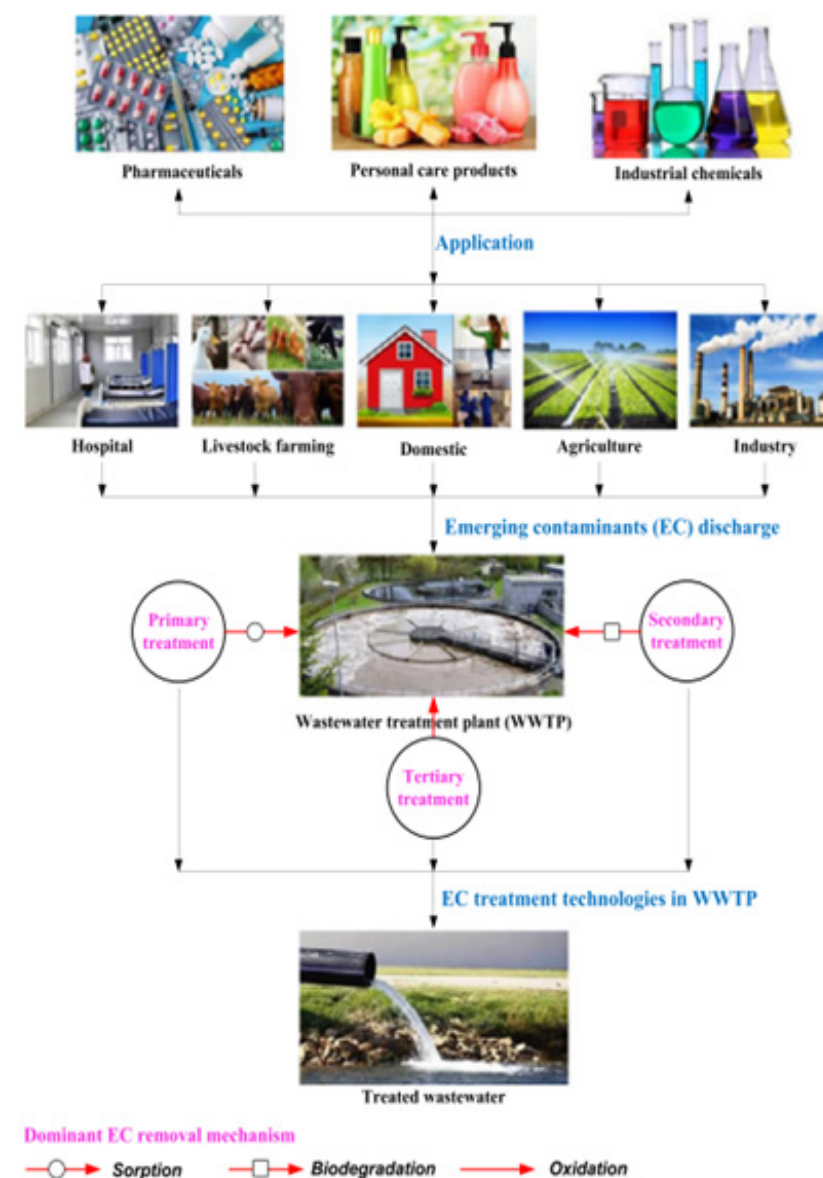
A probléma mélységének megértése minden esetben a szennyezés mennyiségének a pontosíthatóságától függ, valamint annak az ismeretétől, hogy a rendelkezésre álló szennyvíztisztítási módszerek mire is képesek az adott szennyezésekkel szemben. Alapvető fontosságot jelentett ilyen tekintetben a megfelelő és széles körben elfogadott mérési módszerek kialakulása. Ilyeneknek tekinthetők jelenleg az úgynevezett össz-paraméterek, mint a biológiai oxigénigény (BOI), kémiai oxigénigény (KOI), vagy a szerves

széntartalom (TOC), illetőleg az egyedi komponensek, mint a redukált és oxidált nitrogénformák, valamint a o-foszfát és összes-P tartalom megfelelő mérési lehetősége.

Napjaink problémája ugyanakkor a szennyvíztisztítás fenti paraméterekkel mérhető tápanyagainak (zsírok, fehérjék, szénhidrátok) az eltávolítását messze meghaladja. Naponta számos új szintetikus vegyület kerül folyamatosan kifejlesztésre, tömegmértékű alkalmazásra. Ezek valamilyen hányadban természetesen a gyártásból is a szennyvizekbe kerülnek, de széleskörű felhasználásuk a meghatározó szennyező forrás. Ezt szemlélteti vázlatosan az 1. ábra.

Látható az 1. ábrából, hogy a megnövekedett veszélyességet jelentő anyagoknak a széles spektruma, felhasználásuktól függő mértékben végül szennyvíztisztítóba jut, majd onnan jelentős hányaduk tisztítás szilárd maradékába, s azon keresztül mezőgazdasági talajainkba, valamint a kisebb mértékben a tisztított vizek befogadóiba. Az 1. ábra a szennyvíz tisztítása vonalán külön feltünteti, hogy annak a különböző fokozataiban milyen folyamatok révén történhet meg az ilyen, különösen szennyező, veszélyes anyagoknak az eltávolítása. Az ábra ugyanakkor a tisztítás iszapmaradékának a vonalát nem mutatja be, pedig az iszapba kerülő vegyszermaradékok révén a termesztett növények szennyezésével az ábrán látható különösen szennyező anyagok környezetkárosító hatása is napról napra fokozódó mértékű.

Ezeknek az új fejlesztésű környezetvédő/szennyező anyagoknak ugyanakkor csak az utóbbi két évtizedben kezdjük pontosítani a környezetre gyakorolt hosszú távú hatásait, ami a szennyvíztisztítás fejlesztésének az irányvonalát a jövőre vonatkozóan egyértelműen meghatározza.



1. ábra. Különlegesen veszélyes vízszennyezőink eltávolítási folyamatai, melyeknél a hazánkban negyedik fokozatúnak nevezett (angol megnevezéssel Tertiary treatment) szennyvíztisztítás aktívszenes adszorpciós folyamatai az iszapadszorpció mellett nem kerültek külön kiemelésre (Rout és társai, 2021).

Ilyen anyagok voltak a múltban, és azok ma is az impregnáló szerek, növényvédő szerek, rovarölő szerek, a szélesebb körben ismert detergens, háztartási vegyszerek, gyógyszerek, illetve a maradványaik. Ennek megfelelően a szennyvíztisztítás fejlesztése szükséges, 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 tisztítás során a keletkező iszaphoz kötődnek, de az iszap rothasztása során mennyiségük nem csökken jelentősen, ugyanakkor koncentrációdik.

A víztelenített iszappal vagy közvetlenül, vagy komposztálás közbeiktatásával kerülnek azután a termőtalajokba. Lebomlásuk mértékét a teljes tisztítósoron így elég nehéz pontosan behatárolni. A tisztított szennyvízbe kerülő maradékuk koncentrációja talán messze pontosabban vizsgált a víz befogadójának védelmének érdekében. A talajba került hányaduk ugyanakkor a talajbiológiát károsíthatja, de egyidejűleg felvételre is kerülhetnek a termesztett növényekbe, terményeibe, s rajtuk keresztül az azokat fogyasztó állatokba, emberekbe.

A szennyvízből történő eltűnésüket csak az olyan módszerekkel lehet megállapítani, mint a gázkromatográfia, folyadék-kromatográfia MS spektrometria. Hogy mivé alakultak át, a megfelelő standard hiányában csak következtethetjük. A termékek azután nem szükségszerűen 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 az sem, hogy részleges biológiai lebontás esetén a szennyvíziszapban kerülő, 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 szükségszerűen 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 általában ennél gyorsabb időszakonként változik, fokozódik. Ennek eredménye, hogy még a nagyobb telepeken is néha 20-30 év is eltelik, amíg egy új technológia, egy új lehetőség bevezetésre kerülhet.

A szennyvíztisztítás másfél évszázadban bekövetkezett fejlődése a szennyvíz tápanyagain kialakuló mikroorganizmus fajok tevékenységének a célirányos optimalizálása volt (Fazekas és Kárpáti, 2015). Ebben az időtávlatban lényegében két szaporodási forma egymással versengve történő fejlesztése, vegyes rendszerekké alakítása (hibrid endszerek) volt a meghatározó a folyamatosan szigorodó tisztítási követelmények kielégítése érdekében. A fejlődés lépcsői eközben az alábbi időrendben alakultak:

- Ipari fejlődés generálta szennyvíztisztítási igény (18. század vége)
- Talajszűrés, mint a múlt gyakorlata – 1870 – befogadó is a talaj?
- Ciklikusan elárasztott töltet, majd levegőztetett változata – 1880 –
 - » folyadék és levegőellátás fejlesztése
- Folyamatosan elárasztott, hordozós, levegőztetett medence
 - » oxigén és mikroorganizmus igény felismerése – 1890 –
- Kóággyas csepegtetőtestes tisztítás és korlátjai – 1900 –
 - » biofilm nedvesség és oxigénellátás stabilizálása
- Az eleveniszapos tisztítás felfedezése – 1914 – 108 éve!
 - » szakaszos betáplálás és folyadéklevétel
 - » utóülepítő és iszap recirkuláció bevezetése
 - » homogén iszapösszetétel – iszappehely és oxigénellátottsága
 - » Anaerob iszaprohasztás, metán újrafelhasználás kialakulása
- Eleveniszapos tisztítás fejlődése
- Nitrifikáció igénye – 1930 – 1940 / denitrifikáció igénye – 1960 –
- Foszforeltávolítás – 1960 – / biológiai többletfoszfor eltávolítás – 1970 –

- Műanyagöltet csepegtetőtestes biofilm és korlátjai – 1960 –
- Anaerob iszapgranuláció – 1970 –
- Szakaszos betáplálás és levegőztetés újrafelfedezése – SBR – 1980-
- Mikrobiális szelekció nagy felületű biofilm-hordozón – 1980 –
- Eleveniszap és biofilm összekapcsolása – IFAS – 1980 –
- Elárasztott mozgóágyas biofilmes rendszerek kiépítés – MBBR – 1990 –
- Aerob iszapgranuláció és mikrobiális szelekció – 1990 –
- Anaerob ammónium oxidáció felfedezése – anammox – 1990 –
- Ultraszűrős iszap szeparáció megvalósítása – MBR – 2000 –
- Anaerob ammónium oxidáció üzemeltetése – Anammox – 2000-
- Aerob iszapgranuláció üzemeltetése – NERE – DA – 2010
- Membrán levegőztető biofilmes-hibrid rendszerek – ZeeLung – 2010
- Energiakrizis – energiateljesítmény optimalizálása

1. A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS KEZDETEI, S SZÜKSÉGSZERŰ FEJLESZTÉSI IRÁNYAI

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 emésztőgyökdrökben gyűjtötték össze a folyékony hulladékot. Az utóbbiak anyagát megpróbálták a mezőgazdaságban újra hasznosítani, míg a szennyvízcsatornán összegyűjtött folyékony hulladék a Tiberisen keresztül a tengerbe került.

A szennyvíztisztítás ugrásszerű fejlődése a 19. század második felében kezdődött. A szennyvíz elhelyezési problémája ugyan már a század közepén London csatornázását eredményezte, a szennyvíz befogadóját ezt követően még évtizedekig az erősen berothadt Temze maradt. A szennyvíz veszélyességét a különböző járványok terjedése vonatkozásában hamarosan felismerték, Robert Koch 1876-ban izolálta a bétífene, 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 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

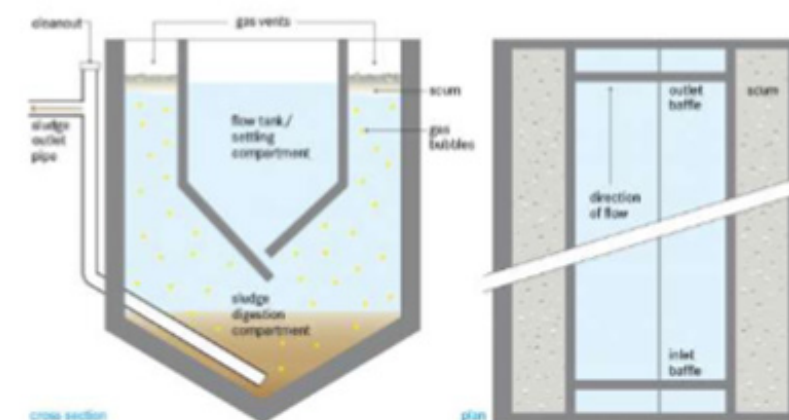
gyorsan meg kellett szüntetni. Mivel a világon, de különösen a fejlettebb államokban, a nagyvárosok mindenhol folyóra települtek, a folyók szennyezése vagy túlterhelése évtizedeken belül bekövetkezett. Talán érdemes megjegyezni, hogy az első igazán nagyméretű városi szennyvíztisztító rendszer kiépítése 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 % fölötti, 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, s mára 85 %-osra történő növekedése volt 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 előülepítéssel is. Az ilyen kezelés során a KOI-ben, vagy BOI-ben mérhető szennyező anyagnak mintegy 1/3-a ülepedett ki a szennyvízből. A 20. század 50-es éveitől a műszakilag fejlettebb országokban is gyakorlatilag a mechanikus tisztítás volt a meghatározó. Ennek a kiépítésében nagy haladást jelentettek a kétszintes ülepítők, melyek a leülepedett szennyezőket részben rothasztották, stabilizálták is. Egy ilyen berendezést mutat be a 2. ábra.

A részben kirothasztott iszapot a kétszintes ülepítő fenekéről könnyebb volt kiemelni, mint az üres medenceként kialakított előülepítő teret fenekéről. Az előülepítés bevezetésével azonban a szennyvíztisztító műtárgyak száma is nőtt, s a tisztításra alkalmas műtárgysort is ténylegesen szennyvíztisztító telepnek lehetett nevezni. Az aerob biológiai tisztítás rohamos fejlesztésére csak ezt követően került sor, viszont a biológiai egységek előtt egy a korábbi kétszintes medencéknél tökéletesebb előülepítőt (Dorr medencék) kellett kialakítani. Ezeknek már a csaknem teljes keresztmetszete az ülepítést szolgálta (kivéve az ülepített víz felszíni elvételét szolgáló körvályút), s megfelelő fenékkötő szerkezettel is el lettek látva. A központban kialakított zsombból az iszapos víz az ülepítő szélén kiépített gyűjtőterbe kerül, ahonnan a további feldolgozására (sűrítés, rothasztás) kerül átszivattyúzásra.



2. ábra. Kétszintes ülepítő (Imhoff-medence vagy Emscher-kút névvel) téglalap, illetőleg kör alaprajzi kialakítással. A hosszanti átfolyású ülepítő térből a kiülepedett iszap a ferde csúszó lapokon az alsó, rothasztó térbe kerül, s onnan ciklikusan kiszivattyúzásra kerül.

Az előülepítés elterjedésével párhuzamosan a keletkező szennyvíziszappal is tenni kellett valamit. A csepegtetőtestes és azt követően az eleveniszapos tisztítás fejlesztésénél már bebizonyosodott, hogy aerob mikroorganizmusokkal az oldott szennyezőanyagok megfelelőképpen átalakíthatók lebegő formájúvá. 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 leülepített anyag mennyiségének a csökkenése lett, hiszen annak egy részéből metán és széndioxid keletkezett. A rothasztás során keletkezett gázt kezdetben fűtésre, később villamos energia előállítására hasznosították. Az anaerob módon feldolgozott vagy stabilizált iszap vízteleníthetősége

igen kedvezően változott, ami a keletkező iszap vagy elhelyezendő nedves iszap mennyiségét csökkentette nagymértékben. Kezdetben a víztelenített iszap stabilitását, fertőtlenítését méshidráttal adagolással (pH > 10, kontaktidő > 6 óra) javították. További kedvező hatásként tapasztalták, hogy az anaerob stabilizáción átesett, megfelelően víztelenített iszap hosszabb tárolás alatt, netán segédanyagokkal, más szerves, elsősorban mezőgazdasági hulladékokkal keverve komposztálható. Ez ismételt, termofil aerob kezelés fertőtlenítést, humifikációt eredményez. Az így kapott terméket a mezőgazdaságban sokkal jobban lehet hasznosítani.

Mivel a szennyvíztisztítás kezdeti időszakában a feladat tulajdonképpen a csatornarendszer kialakítása, ülepítő medencék tervezése és építése volt, a szennyvíztisztítással gyakorlatilag csak építésmérnökök, 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 iszap-fermentáció fejlesztését jelentette (kombinált ülepítő-rothasztó egységek, kétszintes ülepítők).

A kutatások kezdeti eredményét jelentette az anaerob iszaprothasztás 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 szennyvíztisztítóknál, mint Moszkva, Los Angeles és számos nagyváros szennyvíztisztítója.

A komolyabb fejlesztési igény csak később jelentkezett az iparosodottabb területeken, Angliában, Amerikában, Németországban, s ez is időben csak lépcsőzetesen jelentkezett. Előbb a bontható (befogadóban oxigénigényt jelentő) szerves anyag minél tökéletesebb eltávolítása, majd azt követően a múlt század 30-40-es éveitől az ammónium, a 60-as évektől a nitrát, végül a 70-es évektől a foszfát maximális eltávolítás lett a cél. Ezeket a lépéseket a tisztítás biotechnológiájának a fejlesztésével lehetett elérni. Ezt követően napjainkig a tisztítás fajlagos energia igényének csökkentése (technológiai, gépészeti, szabályozástechnikai megoldások), szerves anyaga energiataralmának a maximális hasznosítása lett a fejlesztések célja. További

a szennyvíztisztítás előtt álló hosszabb távú feladat a szennyvíz ammónium és foszfát tartalmának, mint a szerves anyag mellett hasznos nyersanyagnak a változatlan formában történő kinyerése és újrahasznosítása.

2. AZ ELSŐ „NAGYIPARI” FEJLESZTÉS – CSEPEGTETŐTESTEK ÉS INTENZIFIKÁLÁSUK.

A nyers szennyvíz nagy befogadóba, folyóba történő bevezetését követően az előülepítés elégtelen hatása 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-közei pontjain a szaprobitást. Hamarosan felismerték, hogy nagyon sok indikátor mikroorganizmus, protozoa és egysejtű, továbbá rovarok is 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 Liebmán (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 beocsátás hatásaként egyértelművé vált, hogy az ilyen városokban a szennyvíz befogadóba történő bevezetését megelőzően hatásosabb tisztításra van szükség. A kérdés tehát az volt, hogy az előülepítéssel 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 látványos, kolloid anyag szűréssel és biológiai átalakítással működő csepegtetőtest tűnt (Fazekas el al., 2015).

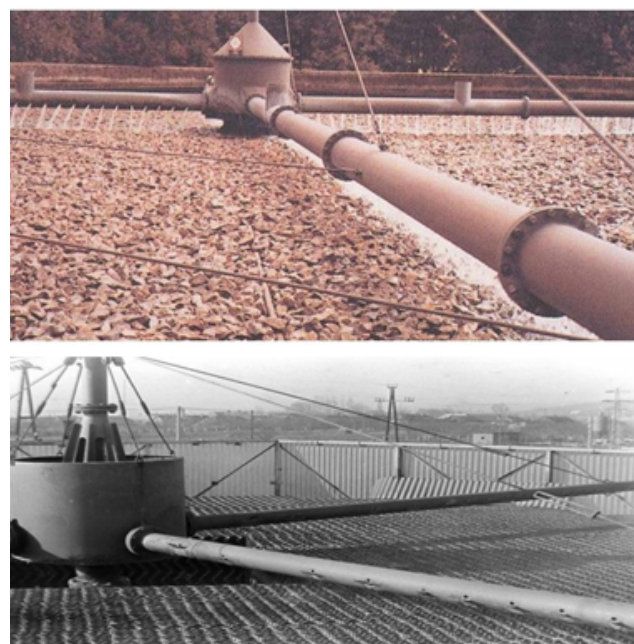
Ennek fejlesztését Angliában kezdték és vittek sikerre. A szűréssel a talajszűrést próbálták utánozni egyre durvább hordozó vagy szűrő anyaggal, mignem eljutottak a kisebb kavicsok, illetőleg változó méretű közüzalék felhasználásáig. Az első időszakban ebből az anyagból vagy töltetből építettek 2-3 m 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 mesterseges, 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 folyadékeloszlását és a folyadéklocsolást 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 biofilm felületén. A második a megkötött anyag azt követő mineralizációja. Az ilyen technológia feltételezése az egyszerű fizikai (mechanikus) gondolkodás eredménye volt, amely a kérdéskörrel abban az időben foglalkozó mérnököket elsősorban jellemezte. Biológiai ismereteik szükségszerűen nagyon hiányosak voltak. Ez az adszorpció elmélete 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 adszorpció, 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 térfogatra volt szükség. 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 lebegőanyag mentes 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 esett. A 30-40-es évek során azonban már jelentős fejlesztés következett be az eleveniszapos rendszerek tekintetében. Ettől függetlenül a csepegtetőtestek további fejlesztésével azok még az 50-es évekig versenyképesek maradtak. Ilyen fejlesztés volt a nagyterhelésű csepegtetőtestes szennyvíztisztítás kidolgozása. A terhelés növelését az tette lehetővé, hogy a töltetet, vagy biofilm hordozót, könnyebb fajsúlyú anyagra, műanyagra cserélték. Ez lehetővé tette azután a tisztítótér fogat csökkentését, s abban egyidejűleg nagyobb szabad üres térfogat elérését. Ezzel javult a levegőztetés, valamint nagyobb felületen alakulhatott ki biofilm. Egy kőzúzalékos és egy műanyagtöltetes csepegtetőtestet mutat be a 3. ábra. A nagyterhelésű csepegtetőtesteknél a tisztítás hatékonysága a ciklikus biofilm leszakadás, aprózódás miatt azonban csökkent, s ez szükségessé tette a csepegtetőtesteket követően az utóülepítő kiépítését is.

elég kellemetlen hátránya az utódenitrifikáció további lépcsőben történő kivitelezése, szerves tápanyag igényének a biztosítása.



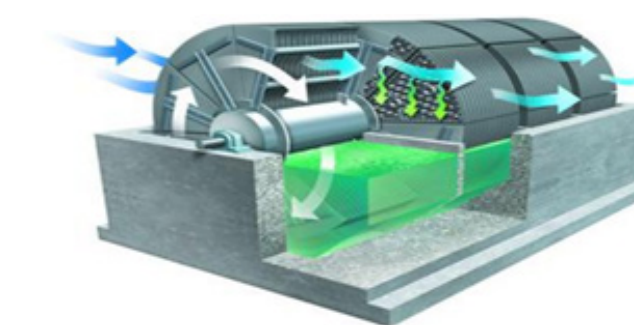
3. ábra. Darabos kőzúzalékkal töltött, illetve műanyagtöltetes csepegtetőtest és felső folyadék elosztása, szabályozott nedvesítése (Fazekas et al., 2015)

A klasszikus 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, felhasználásra kerülnek. Természetesen az olyan változatuk is széles körben elterjedt, ahol a csepegtetőtesteket elő-, vagy utótisztító egységként kombinálták az eleveniszapos egységekkel (Tricling Filter Solid Contact megoldások - FTSC). 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

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 (Tricling Filter Solid Contact megoldások). 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

kellemetlen hátránya az utódenitrifikáció további lépcsőben történő kivitelezése, szerves tápanyag igényének a biztosítása.

A csepegtetőtestek speciális változatai a forgótárcsás kontaktorok, és egyéb azt utánozó 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 alig 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. Kialakítása a 4. ábrán látható.



4. ábra. Forgó tárcsás kontaktorok, melyeknél a tárcsákról leszakadó iszaprészeket megfelelő szűrővel, ülepítéssel kell visszatartani (Fazekas et al., 2015).

A biofilmes szennyvíztisztítás további fejlesztése a speciális kialakítású, még nagyobb fajlagos felületet biztosító műanyagtöltetek kialakításával a múlt század nyolcvanas éveitől vált lehetővé. Az ilyen

tölteteket azonban már többnyire biofilmes és eleve-niszapos kombinált hasznosításra (hibrid rendszerek) használják a szennyvíztisztításban. Bemutatása előtt azonban elengedhetetlen a közvetlen szennyvíz hasznosításként megvalósított szennyvíztisztítás megemlítése, valamint az eleveniszapos rendszerek kidolgozásához vezetett elméleti ismeretek bővülésének, s az eleveniszapos rendszerek szerves-C, nitrogén és foszfát eltávolítását biztosító eleveniszapos kombinált biotechnológiai eljárások fejlesztésének az ismertetése.

3. MEZŐGAZDASÁGI HASZNOSÍTÁS, TAVASZ TISZTÍTÁS - A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS OLDALÁGA

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 ételmiszer-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 lakossámu helységeknél mindenképpen szóba jöhet.

4. A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS ELMÉLETI ISMERETEINEK 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 könnyelművé 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 lebomthatóságának a megállapítására. A szennyvíztisztítás mélyebb biológiai alapjainak a tisztázása azonban ekkor még nem volt lehetséges, hiszen a gyakorlatát, kutatását nem azok a szakemberek végezték, akik megfelelő kapcsolódó biológiai ismeretekkel rendelkeztek, hanem elsősorban kultúrmérnökök, akik 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 mérése 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 az egyébként zárt rendszer 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 (Hartmann, 1992). Ez adta meg végül is a lehetőségét a különböző szerves anyagok biológiai lebomthatóságának a vizsgálatára. Természetesen ettől kezdve nagyon sok új vegyipari termék, produktum, szerves anyag biológiai lebomthatóságát vizsgálták a módszerrel. Az oxigénfogyasztás 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 átalakításának, valamint az úgynevezett endogén respirációnak az eredménye. Az elhalt mikroorganizmusok hasznosítható szerves anyagai (döntően fehérjék) ugyanis tovább, vagy ismételten felhasználandó tápanyagok az életben maradtak számára. Ez a baktériumok saját tápanyagának ismételt hasznosítását, fajlagos izaphozamának a csökkentését is jelenti. Emellett a BOI mérés második lépcsőjében az ammónium oxidációjára is sor kerül, melyért azonban már egy más mikroorganizmus csoport, a nem szerves szén, hanem a szerves szén felhasználó autotrof ammónium oxidálók a felelős. Ezekkel felismerésekkel, mérésekkel gyakorlatilag behatárolódott a biológiai szennyvíztisztítás folyamatában a szerves szennyezőanyagok eltávolításához, s az ammónium szimultán oxidációjához szükséges tartózkodási idő, illetőleg oxigénigény is.

5. ELEVENISZAPOS ELJÁRÁSOK KIALAKULÁSA.

Az eleveniszapos rendszerek fontosságára először az 1910-es évek közepén hívták fel a figyelmet (Ardens és Lockett, 1914). Ők helyesen látták, hogy sűrűn lakott nagyvárosok körzetében, ahol nagy szennyvízterhelés várható és azt kis térfogatban kellene tisztítani, csakis a csepegtetőtesteknél nagyobb iszapkoncentrációval kiépíthető megoldások lehetnek eredményesek. Mégis annak az elve adta az ötletet a lebegő iszappal működtethető, levegőztetett iszapos tisztítás (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 pelyhecskéit mintegy szabadon úszó biofilm részeknek feltételezték, melyekben a baktériumok és a protozoák életközössége végzi a szerves anyag vizes fázisból történő eltávolítását. A korábbi elméleti megfontolással szemben viszont már látták, hogy a fizikai-kémiai körülmények nagyon fontosak a kialakuló iszappelyhek méretére, stabilizálódása, ülepedés során bekövetkező koagulációjára, szűrőhatására.

Természetesen az eleveniszapnak óriási előnye a biofilmmel szemben, hogy kevesebb üzemeltetési problémát okoz, s lehetővé teszi a tisztítóban működő iszap jó levegőztetését, oxigénellátását, folyamatos aktivitását. Mivel hamar felismerték, hogy ilyen esetben az iszap oxidációs teljesítménye a levegőellátással, s az aktív iszaptömeggel arányos, az utóbbit úgy stabilizálták, hogy a levegőztető medence után egy iszapülepítőt építettek, melyből a fenékrészen koncentrálnak iszapot folyamatosan, vagy megfelelő ciklusokban a levegőztető medencébe vezették vissza (iszaprecirkuláció). Ezzel megfelelően stabilizálni lehetett a levegőztető medence iszapkoncentrációját és teljesítményét is. Fontos lett ezért

a keletkező iszapos víz jó utólagos ülepidíthetősége, szűrőképessége (lebegőanyag mentes tiszta fázis elérhetősége). Beigazolódott, hogy jó levegőellátás mellett ezt viszonylag rövid tisztítási idő (folyadék tartózkodási idő =HRT) már biztosíthatja. Mivel azonban a lakossági szennyvizeknek is eléggé változó a szerves anyag és ammónium koncentrációja, a megfelelő szerves anyag és ammónium oxidáció biztosításához nem is elsősorban a HRT, hanem az oxidációt végző szennyvíziszap fajlagos tápanyag, elsősorban bontható szerves anyag terhelésének a limitálása szükséges. A gyakorlatban azután az azzal fordítottan arányos iszapkor (a tisztítóban működő iszaptömeg átlagos tartózkodási ideje) terjedt el a szabályozásban. Ez a rendszerben levő teljes iszaptömeg, s a napi BOI terhelés átalakításakor keletkező iszapproduktum, vagy iszapelvétele hányadosaként számolható paraméter.

Az eleveniszapos rendszereknek jelentős 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 ekkor 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 milyennek 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 a többszöröse 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 szennyvíz szerves anyagai látszólag 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 adszorpciós 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 fontosnak bizonyult, hogy a recirkulált iszapot hova és hogyan vezetik be a levegőztető medencébe.

Eddig az időszakig a szennyvíztisztítókat nagyon különböző terhelések mellett üzemeltették. A kis-terhelésű rendszerekben a szerves anyag teljes lebomlását tapasztalták (Dohmann, 1998), míg a nagyterhelésű rendszereknél a szerves anyag egy része oldott formában, vagy finom

lebegőanyagként a szennyvízben maradt. A szennyvíztisztítóknál ilyenkor az eleveniszapos rendszerben a folyadék tartózkodási idejét tartották meghatározónak, amit rendszerint 6-12 óra között igyekeztek tartani. Erre az időszakra már az is világossá vált, hogy a különböző biológiai terhelésű rendszerekben eltérő mikroorganizmus tenyészet alakul ki. A kis iszapterhelésű rendszereknél (Food/Medium < 0,15 kg BOI₅/kg MLVSS d) teljes biológiai oxidációt értek el. Ilyen iszapterhelésnél, ahol a fajlagos iszaphozam (Y = kg MLSS/kg BOI₅ közelítőleg 0,7), a napi fajlagos iszapproduktum kisebb, mint 0,1 kg MLVSS/kg MLVSS d, tehát az iszapkor mintegy 10 nap. Ekkor 15 °C hőmérséklet körül a szerves anyag eltávolításán túl az ammónium oxidációja is teljessé válik. A nagyterhelésű rendszerekben (F/M = 1) ugyanakkor csak a biológiai könnyen felvehető szerves anyag távolítható el az ilyen tisztítás során a lassabban szaporodó autotrofik iszaptömegből történő kiszorulása, úgynevezett kimosódása miatt. Ilyen terhelésnél ugyanis az iszapkor csak mintegy másfél napra csökken, amely még a szerves anyag megfelelő iszappá alakításához is kevés. Az iszap utóüleptetőjéből tehát nem kellően szűrt, zavaros tisztított víz fog túlfolyni. A szerves anyag megfelelő eltávolítása is legalább 2-3 napos iszapkort (iszapmunkát) igényel.

A hagyományos csepegtetőtestekkel elérhető 0,2 kg BOI/m³d térfogati terheléssel szemben azonban a kis terhelésű eleveniszapos tisztítás is nagyobb térfogati terhelést tett lehetővé. 4 kg MLSS/m³ iszapkoncentráció esetén a 0,15 kg BOI/kg MLSS terhelés ugyanis 0,6 kg BOI/m³d, vagy 1 kg KOI/m³d értéket jelent. Ez a csepegtetőtestekénél a többszöröse. Viszont elkerülhetetlen, hogy a fajlagos iszaphozam is nagyobb legyen az utóbbinál, mert a tisztítandó szerves anyagnak mintegy a fele alakul biomasszává, úgynevezett fölősiszappá.

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 segéd-vegyszereket 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 energiaköltséget. 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.

Ezek a kutatók írták le először az eleveniszapos szennyvíztisztítás működési paramétereit, valamint a közöttük, s 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 időszokban a mikrobiológusok még nem jutottak megfelelő szerephez a biológiai szennyvíztisztítók, illetve eleveniszapos rendszerek fejlesztésében, építésében. Képtelenek voltak ekkor még a biológiai oxigénigény méréséből megfelelő következtetésre, valamint az ennél sokkal bonyolultabban működő eleveniszapos rendszer eltéréseinek 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.

6. DETERGENSEK HATÁSÁNAK A FELISMERÉSE

Időben a denitrifikáció és biológiai többletfoszfor felvétel pontosítása előtt, 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 már részben 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 szennyvíztisztítók 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 detergensek 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 mosószereket törvényileg kizárták a forgalomból. Ettől kezdődően valamennyi új vegyszer, mosószert, melyet kereskedelmi forgalomba kívántak hozni, előzetes biológiai lebonthatósági vizsgálaton kellett, hogy átmenjen.

A biológiailag bonthatatlan mosószerek 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 szennyvíztisztítóknál érkező szennyvizeknél, 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 paraméterré 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 bírságolási rendszer bevezetését követően már nem volt tovább gazdaságos a szennyező anyagot a városi közcsonnába bocsátani, hiszen azt költség nélkül senki nem tehetette meg ettől az időszaktól kezdődően. A szennyvíz elhelyezési és annak tisztítási költsége a kommunális tisztítóknál 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 szennyvizekből, mintsem azt a kommunális tisztítóba hárítani, és a költségeket fizetni. Néhány esetben természetesen az is bebizonyosodott, hogy a szennyvizekből így eltávolított szennyező anyagok mintegy másod-nyersanyagok is lehetnek vagy az adott iparágban, vagy más iparágakban, üzemekben.