

**BUDAPESTI CORVINUS EGYETEM
KERTÉSZETTUDOMÁNYI KAR**

**A nádgyökerteres szennyvíztisztítási technológia
vizsgálata és környezetvédelmi értékelése**

Gajdov Géza

Készült a Talajtani és Vízgazdálkodási Tanszéken
a Környezetgazdálkodási szakirány keretében

Tanszéki konzulens: Dr. Vermes László egyetemi tanár

Külső konzulens: Gampel Tamás (ÉLŐVÍZ Kft.),
Pártosi Ferencné (HIDROTERV Bt.)

Bírálok: Tóthné dr. Surányi Klára (Budapesti Corvinus Egyetem)
Dr. Buzás Kálmán (BMGE)

Budapest, 2004. október 19.

Látta:

Dr. Tőkei László
egyetemi docens, tanszékvezető

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, célkitűzés	1
2. Szakirodalmi áttekintés	2
2.1. A környezetvédelem aktív és passzív módszerei	2
2.2. A szennyvíztisztítás fogalma	2
2.3. A szennyvíztisztítás szerepe a környezetvédelemben	3
2.3.1. A hazai szennyvíztisztítás jelenlegi helyzete és az elvárások	4
2.3.2. Természetes tisztulás és eutrofizáció	7
2.3.3. A befogadó terhelhetősége	9
2.4. A szennyvíz jellemzői	9
2.4.1. A szennyvíz szennyező anyagai és eredetük	10
2.4.2. Az adott körülmények között alkalmazandó tisztítási módszer kiválasztása	12
2.5. Települési szennyvizek tisztításának módszerei	13
2.5.1. Elsőfokú vagy mechanikai tisztítás	13
2.5.2. Másodfokú, biológiai tisztítás	14
2.5.2.1. Mesterséges biológiai tisztítás	15
2.5.2.1.1. Csepegtetőtestes tisztítás	15
2.5.2.1.2. Eleveniszapos szennyvíztisztítás	15
2.5.2.1.3. Oxidációs-árkos tisztítás	16
2.5.2.2. Természetes biológiai tisztítás	17
2.5.2.2.1. Az élő szervezetek szerepe a természetes szennyvíztisztításban	17
2.5.2.2.2. Tavas szennyvíztisztítás	19
2.5.2.2.3. Az „élőgépek”	21
2.5.2.2.4. Mező- és erdőgazdasági hasznosítással egybekötött, illetve egyéb természetes szűrőmezős szennyvíz-elhelyezési és tisztítási módok	22
2.5.2.3. Közműpótló berendezések	24
2.5.3. Harmadfokú, kémiai tisztítás	26
2.5.3.1. Szennyezőanyagok kicsapása	27
2.5.3.2. Flokkulálás	28
2.5.3.3. Aktívszenes szűrés	28
2.5.3.4. Fertőtlenítés	28
2.5.3.5. Egyéb fizikai-kémiai eljárások	28
2.5.4. Szennyvíziszap-kezelés, -elhelyezés és -hasznosítás	28
2.5.4.1. A szennyvíziszap	28
2.5.4.2. Szennyvíziszap-kezelés	29
2.5.4.3. A szennyvíziszap hasznosítása	30
2.6. Szennyvíztisztítási technológiák környezetvédelmi értékelésének alapelvei	31

2.6.1. A szennyvíztisztítással szemben támasztott általános követelmények	31
2.6.2. A kibocsátási határértékek meghatározásának alapelvei	32
2.6.3. A szennyvízterhelés ellenőrzése	32
2.6.4. Egy szennyvíztisztítási technológia, tisztítómű környezetvédelmi értékelésének fontosabb szempontjai	33
3. A nádgyökérteres szennyvíztisztítási technológia vizsgálata	35
3.1. A vizsgálat módszere	35
3.2. A nádgyökérteres szennyvíztisztítás technológiája	37
3.2.1. A gyökértéri szennyvíztisztítás általános sajátosságai, működésének alapjai	37
3.2.2. A Kickuth-féle nádgyökérteres szennyvíztisztítási eljárás jellemzői	38
3.2.3. A technológia alkalmazásának lehetőségei és annak határai	39
3.2.4. A Kickuth-féle technológia működésének részletes ismertetése	39
3.2.4.1. A nád szerepe a tisztításban	40
3.2.4.2. A tisztulás mechanizmusa, mikrobiológiája, a biofilmek	40
3.2.4.3. A nádágyakból elfolyó víz további kezelése	42
3.2.4.4. A talaj-mátrix összeállítása	42
3.2.5. A Kickuth-féle nádgyökérteres tisztítási eljárás technológiai elemei	43
3.2.6. Az alkalmazási engedély ismertetése	46
3.3. A vizsgált kámi szennyvíztisztító telep bemutatása	46
3.3.1. A szennyvíztisztító telep általános ismertetése	46
3.3.1.1. Kám település földrajzi elhelyezkedése, a helyszín rövid bemutatása	47
3.3.1.2. A tisztítótelep elhelyezkedése	47
3.3.1.3. A szennyvízgyűjtés módja	47
3.3.1.4. A keletkező szennyvíz jellemzői	47
3.3.1.4.1. A telepre érkező szennyvíz mennyisége	48
3.3.1.4.2. A telepre érkező szennyvíz minőségi paraméterei	48
3.3.1.5. A tisztítástól elvárt hatások	48
3.3.2. A tisztítótelep létesítményei	49
3.3.2.1. Előülepítő műtárgy	49
3.3.2.2. Elosztó aknák	49
3.3.2.3. Nádas medencék (gyökértér)	49
3.3.2.4. Ellenőrző akna	50
3.3.2.5. Utótisztító árkok és tó	50
3.3.2.6. Mérőhelyek	50
3.4. A kámi üzemeltetési tapasztalatok bemutatása	51
3.4.1. Az üzemeltetési feltételek	51
3.4.2. A beérkező szennyvíz paraméterei	51

3.4.3. A technológiai elemek működésének hatásfoka	52
3.4.4. A tisztítás mértéke a tervezetthez képest	54
3.4.5. A szükséges tisztítási hatásfok értelmezése, meghatározása	54
3.4.5.1. A befogadóra vonatkozó határértékek	54
3.4.5.2. A különböző technológiai elemek tisztítási hatásfokának értelmezése	56
3.4.6. Üzemeltetési feladatok	58
3.4.7. A klimatikus viszonyok hatása a működési hatásfokra, téli üzem	59
3.4.8. Módosítások, technológiai-hidraulikai ellenőrző számítások	61
3.4.9. A kámi szennyvíztisztító telep költségeinek alakulása	62
3.4.9.1. Beruházási költségek	62
3.4.9.2. Üzemeltetési költségek	62
3.5. A telep működésének környezetvédelmi értékelése	62
3.5.1. A telep részletes környezetvédelmi értékelése	62
3.5.2. A végső következtetés	65
4. Összefoglalás, javaslatok	66
Irodalomjegyzék	69
Melléklet I.	71
Melléklet II.	72

1. Bevezetés, célkitűzés

A környezet állapotának átfogó javítása Magyarországon is fontos szempont úgy az ember, mint más élőlények életkörülményeinek fenntartása illetve javítása céljából különösen az Európai Unió csatlakozással járó elvárások ismeretében. Utóbbiak főleg a hulladékkezelésre és a szennyvíztisztításra koncentrálnak.

A szennyvizek tisztításának nagyarányú fejlődése volt tapasztalható az 1950-es évektől kezdve, ekkortól számos szennyvíztisztító telep épült hazánkban is. E felfutás első évtizedeiben a hangsúly főleg a megtisztított víz mennyiségén volt, de az ekkor létesült tisztítóművek nem mindig tudták azt a vízminőséget produkálni, melynek a befogadóba történő engedése nem változtatja meg lényegesen annak minőségi paramétereit. Másrészt ezek általában a nagyobb településekhez köthető költséges nagyberuházások voltak, melyek ugyan az érintett város szennyezés kibocsátását jelentősen csökkentették, ám az ezek rendszereibe be nem kapcsolható, távolabbi kistelepülések számára nem követhető példának bizonyultak. Az alacsony népességű települések kisebb költségen megvalósítható, egyszerűen és kis költséggel üzemeltethető szennyvíztisztító technológiát igényelnek. Mivel ezek nem valósultak meg jelentős számban, a kistelepülések csatornázottsága és a hozzá kapcsolódó szennyvíztisztítás tekintetében számottevően lemaradtak. Aktuálissá vált tehát egy, az előbbi kívánalmaknak megfelelő hatékony és elérhető, hazánk viszonyaihoz adaptált tisztítási technológia kifejlesztése illetve átvétele. A hazai gyakorlatban is megjelent már néhány kísérleti jellegű, ill. prototípusként megvalósult, természetes vagy telepített nádasokat alkalmazó gyökérszűrés típusú tisztító telep, de hatásfokukról és működésük részleteiről még nincsenek értékelte adataink.

Munkám célja ennek megfelelően egy átfogó képet adni az ismert szennyvíztisztítási technológiákról az ide vonatkozó szakirodalom ismertetésével, valamint bemutatni egy – a fent említett kívánalmak szerint létrehozott – természetközeli tisztítási technológiát a már megvalósult telepek létesítési és üzemeltetési tapasztalatainak bemutatásán és a környezetvédelmi szempontok szerinti értékelésén keresztül.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. A környezetvédelem aktív és passzív módszerei

A környezetvédelem olyan tevékenységek és intézkedések összessége, amelyek célja a környezet veszélyeztetésének, károsításának, szennyezésének megelőzése, valamint a kialakult károk mérséklése vagy megszüntetése, és a károsító tevékenységet megelőző állapot helyreállítása. (Vermes, 1998)

A környezetvédelem aktív módszerei a környezet veszélyeztetésének megelőzésére irányulnak, olyan korszerű, környezettudatos intézkedések hozásával, és modern, a fenntartható fejlődés kívánalmainak tudatában fejlesztett technológiák bevezetésével, amelyek kiküszöbölik a károkozás lehetőségét. Az aktív módszerek közé tartozik a szennyvíztisztítás is, mivel annak segítségével megelőzhető a vizek elszennyeződése. Korszerű, hatékony szennyvíztisztítás mellett kevesebbet kell a vizek utólagos tisztítására és az ivóvíz-előállításra költeni.

A passzív módszerek a már kialakult károk mérséklését és felszámolását szolgálják, általában a környezet valamely elemének tisztítását jelentik, illetve a károsított terület eredeti állapot szerinti helyreállítását, rekultiválását.

Az eredményes környezetvédelem szükség szerint mind az aktív, mind a passzív módszert alkalmazza: a passzív módszerre leginkább az elmúlt idők környezeti tudatlansága, hanyagsága miatt bekövetkezett környezetkárosítások miatt van szükség a már bekövetkezett szennyezések felszámolásához, az aktív módszerek pedig azt szolgálják, hogy az ezután létesülő beruházások, tevékenységek ne okozzanak további károkat.

2.2. A szennyvíztisztítás fogalma

Szennyvíztisztítás: a keletkező szennyvíz szennyező anyagainak olyan mértékű eltávolítása, illetve minőségi átalakítása, melynek során a tisztított víz a természetes befogadókba kerülve ott ne okozzon károsítást. (Vermes, 1997)

A tisztítás általában három fokozatban valósul meg. Először megtörténik a mechanikai tisztítás, melynek során a szennyvizek fizikailag leválasztható úszó és lebegő anyagait távolítják el rácsok, ülepitők, szűrők segítségével. A második fokozatban vagyis a biológiai tisztítás során a mechanikai úton el nem távolítható szerves anyagok lebontása következik be a szennyvizekben található mikroorganizmusok segítségével. A harmadik tisztítási fokozat alatt az oldott ásványi anyagok – elsősorban növényi tápanyagok – eltávolítása történik. (Vermes, 1998)

2.3. A szennyvíztisztítás szerepe a környezetvédelemben

Az emberiség a térhódításával, a népesség növekedésével egyre több nyomot hagy maga után bolygónkon, pl. egyre több hulladékot termel. Ennek egyik formája a szennyvíz is, mely ráadásul a lakosság városokban történő koncentrálódásával maga is egyre koncentráltabban jelenik meg, így egyre nagyobb tehertételt jelentve a sűrűbben lakott területek környezete, különösen pedig a vizei számára.

Máig gyakori „megoldás”, hogy a nagy folyók, tavak mellé, vagy a tengerpartra települt városok, falvak szennyvize közvetlenül az élővízbe ömlik. Kétségtelen, hogy az élővizeknek a víztömegtől, a vízi ökoszisztéma állapotától függően kisebb-nagyobb természetes tisztuló képessége van, de ennek ellenére a víztömeg egy része, esetleg egésze elszennyeződik. A tavak, a zárt tengeröblök és a beltengerek olyan nagy szervesanyag-terhelést kaphatnak, hogy beindulhat a kultúreutrofizáció folyamata. A szakirodalom olyan nagy befogadók eutrofizációjáról is említést tesz, mint az Erie-tó, vagy a Balti-tenger. A települések további növekedésével és a lakossági vízfogyasztás emelkedésével ez a szennyvíz-elhelyezési mód nem járható, a vízi élővilágot veszélyezteti, és az újabb vízbeszerzéseket is korlátozza. Meg kell tehát oldani, hogy a kommunális szennyvíz csak megfelelő tisztítás után kerüljön az élővizekbe. (Kerényi, 1995)

A mesterséges tisztításnak is meg vannak azonban a korlátjai és költséges, ezért hosszútávon nem elsősorban a mesterséges tisztítás fejlesztésével, hanem a megfelelő gyártási és egyéb vízhasználati technológia kialakítása mellett keletkező

minimális mennyiségű és szennyezettű víz termelésével kell a problémát megoldani.

A vízhasználatunk során tekintettel kell lennünk arra, hogy ugyan a Föld teljes vízkészlete hatalmas: kb. 2 milliárd km³, de ebből csupán 9 millió km³ a szárazföldek vízkészlete (Domokos és mts., 1999). Ez a kontinentális vízkészlet azonban rendkívüli jelentőségű, hiszen használati célra, vízbázisként jobbára csak ez jöhet számításba (a könnyen hozzáférhető édesvízkészlet nem éri el a Föld vízkészletének 0,5%-át (Sántha, 1996)), ráadásul ezen vízkészletek eloszlása erősen egyenetlen, sőt mennyisége az utóbbi évtizedek klímaváltozásának hatására néhol jelentékenyen csökken, így megfelelő mennyiségben és minőségben történő megőrzésük égetően fontos.

2.3.1. A hazai szennyvíztisztítás jelenlegi helyzete és az elvárások

A csatornázás és a szennyvíztisztítás elmaradottsága miatt hazai vizeink legnagyobb terhelője a tisztítatlan szennyvíz.

Az 1998-as adatok szerint a 10 000-nél kisebb népességű településeken a település méretétől függően a lakásoknak 79,5-86,6 %-a van a közüzemi ivóvízhálózatba, míg 3,6-22,0 %-a a közcatorna-hálózatra kapcsolva.

A 10 000-200 000 lakosú településeknél ezek az arányok 88,9-98,1 %, illetve 37,9-76,1 között mozognak.

A 200 000 főt meghaladó népességű településeken a közüzemi ivóvízhálózatba kapcsolt lakások aránya átlagosan 97,7 %, ugyanakkor a közcatorna-hálózatba átlagosan csak 71,2 %-uk van bekötve. Budapesten ezek arányok 98,3 %, illetve 90,7 %. Látható tehát, hogy a kisebb településeken rosszabbak az arányok.

Országos átlagban 1998-ban a lakások 91,1 %-a vezetékes ivóvízzel ellátott, 47,6 %-a pedig a közcatorna-hálózatba bekötött, míg 1999 végére ez 91,6, illetve 49,3 %-ra nőtt, ami 42,3 %-os közműollót jelent. (forrás: KVVM)

Az MTA adatai szerint (Beliczay és mts.,1994) 1992-ben az összes szennyvíz

- 13 %-a csak mechanikai,
- 31 %-a mechanikai és biológiai tisztításon ment át, és mindössze

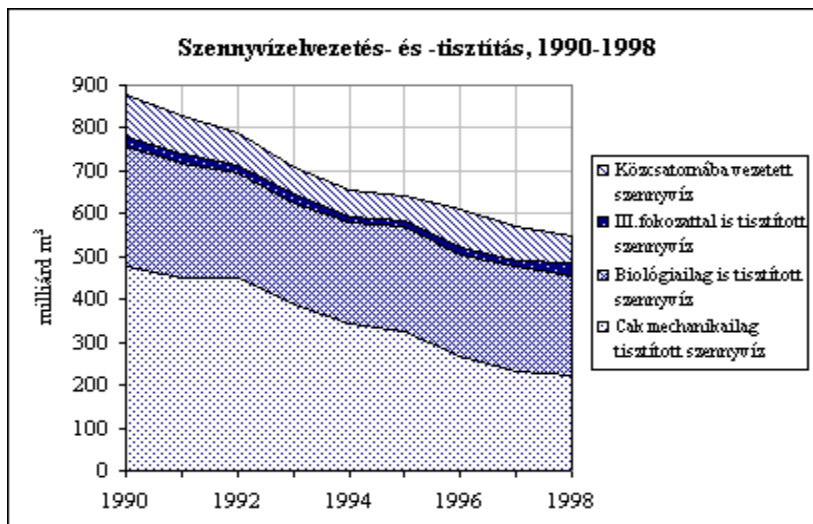
- 2 %-a a harmadlagosan, tehát a maradék szerves és szervesetlen eutrofizációt okozó mikroszennyezőktől is megtisztított szennyvíz. A fennmaradó 54 % tisztítás nélkül került a befogadóba.

A KVVM szerint az 1997. évben termelődött 707 millió m³ szennyvíz

- 14 %-a csak mechanikailag tisztított,
- 53 %-a a mechanikailag és biológiailag, míg
- közel 30 %-a tisztítatlan formában került az élővizekbe, és csak
- kb. 3 %-a esett át harmadfokú tisztításon.

A biológiailag is tisztított települési szennyvíz aránya 1999-re 57 %-ra nőtt. A befogadóba tisztítatlanul bocsátott szennyvíz mennyisége az 1990-es 948 000 m³/nap (53,5 %) értékről 1998-ra 726 000 m³/nap (45,9 %) mértékűre csökkent. Azonban a szennyezőanyag mennyisége lényegesen nem csökkent, mivel a víz mennyiségének csökkenésével párhuzamosan növekedett a töménysége.

1.ábra A szennyvizek tisztítási fázisok szerinti arányai Magyarországon (forrás: KVVM)



A felszíni vízminőség alakulásának egyik jelentős befolyásoló tényezője, hogy a települési szennyvízkezelés még mindig lényegesen elmarad a vezetékes vízellátás szintjétől, amit az 1999-ben országos szinten mért 42,3 %-os közműolló is mutat. A jelenlegi közműolló kialakulásában nagy szerepet játszott az, hogy az önkormányzatok kötelezően ellátandó feladatai közé tartozott a lakosság egészséges

ivóvízzel való ellátása, viszont a szennyvíztisztítási feladatok nem, így ezek háttérbe szorultak. Ennek eredményeképpen a kis vízhozamú vízfolyások hígító és tisztulási képességét már sokszorosan meghaladja a szennyezés mértéke.

A csatornázatlan területeken megközelítően 1,1 millió egyedi (csatornapótló) megoldással hozzávetőlegesen 500 000 m³/nap szennyvizet helyeznek el. Ez zömében lakossági eredetű. Mind a működtetés, mind a berendezések technológiai kialakítása rendkívül heterogén.

Általában elmondható, hogy mára a vezetékes ivóvíz ellátással a szennyvíz mennyisége annyira megnőtt, hogy azt már nem lehet a telken belül eredményesen elszikkasztani. Ezt csak a központi csatornahálózat és központi szennyvíztisztító berendezés segítségével lehet megoldani. A központi csatornázásnak azonban azt a közegészségügyi előnyét is látni kell, melyet a szennyező anyagok és kórokozó szervezetek gyors elvezetése jelent föld alatti csővezetékeken egészen a tisztítótelepig, így zárva ki a fertőzésveszélyt.

Az Európai Unióhoz való csatlakozásunkra való tekintettel a 91/271/EGK irányelv alapján az alábbi minimális követelményeknek kell eleget tennie hazánknak:

- legkésőbb 2008 december 31.-ig az érzékeny területeken fekvő 10 ezer lakosegyenérték (LE) feletti kibocsátású agglomerációkban biztosítani kell a szennyvízelvezető hálózat kiépítését, és meg kell oldani a biológiai tisztítás mellett a harmadik fokozatú tisztítást (maradék tápanyag eltávolítást) is;
- legkésőbb 2010 december 31.-ig minden 15 ezer LE-nél nagyobb agglomerációt el kell látni szennyvízelvezető hálózattal, és legalább másodfokú, azaz biológiai tisztításnak kell a szennyvizet alávetni;
- legkésőbb 2015 december 31.-ig minden 2 ezer és 15 ezer LE közötti agglomerációban meg kell oldani a szennyvízelvezetést és a szennyvíz legalább másodfokú, azaz biológiai tisztítását a befogadóba bocsátás előtt;
- amennyiben 2 ezer LE alatti település is rendelkezik közműves szennyvízelvezetéssel, és a befogadó felszíni víz, akkor a befogadónak megfelelő szennyvíztisztításra megállapított határidő 2005 december 31.

Tehát mind az uniós előírások, mind a hazai vizek terheltségének foka indokolja a csatornázási és szennyvíztisztítási beruházások minél előbbi felfuttatását.

2.3.2. Természetes tisztulás és eutrofizáció

Természetes tisztulásnak nevezzük a felszíni vizeknek azt a tulajdonságát, hogy a beléjük került szennyező anyagokat bizonyos idő alatt képesek lebontani, nem szennyező anyagokká átalakítani. A természetes tisztulás fizikai, kémiai és biológiai úton megy végbe a szennyező anyagok és a befogadó jellegének megfelelően.

A felszíni vizek természetes tisztulásában igen fontos szerepet játszó *fizikai folyamatok* közül az ülepedés és az adszorpció emelhető ki.

Ülepedés útján tisztul meg a felszíni befogadó mindazon oldhatatlan és biológiailag nem lebontható anyagoktól, amelyek az adott körülmények (sebesség, turbulencia, hőmérséklet) között önmagukban ülepedni képesek, illetve azoktól melyek az adott hőmérsékleti és vízminőségi viszonyok mellett koagulálásra képesek. Az így kiülepedett anyag csak addig marad a mederfenéken, ameddig a víz mozgási viszonyai újra meg nem mozgatta és a víztestbe nem emeli. A felszíni vizek ülepedéssel történő tisztulása ezért csak a kisebb vagy közepes vízhozamokra ad megfelelő eredményt.

Az anyagok egy része a vízben lévő fizikai szennyező anyagokra adszorpcióval kötődik és a továbbiakban osztozik sorsukban.

A *kémiai tisztulás* döntő formája az oxidáció. A befogadóba kerülő szennyező anyagok egy kis hányada a vízben lévő oxigént felvéve oxiddá alakul. Az oxidok a vízből kicsapódnak és leülepednek. Így a kémiai tisztulás során az oxidálható anyagokból fizikai szennyezések lesznek, amelyek általában kiülepednek.

A *biológiai tisztulás* a szerves szennyezések eltávolításának döntő formája. A biológiai folyamat vagy oxigént használ fel (aerob folyamat), és szén-dioxidot, foszfátot, szulfátot termel, vagy oxigénmentes környezetben megy végbe (anaerob folyamat), és kén-hidrogén, metán, ammónia, szén-dioxid, valamint szulfidok keletkeznek a folyamat végén. Az aerob lebomlás során meghatározott mennyiségű oxigénre van szüksége az élő szervezeteknek. Ezt az oxigént a befogadóban lévő – a

hőmérséklettől függő – oldott-oxigén tartalom szolgáltatja. A felhasznált oxigén pótlása döntően a levegőből történik a vízfelület nagysága, a szél, a hullámozás, a víz keveredési viszonyai, a vízhőmérséklet, a levegőhőmérséklet és a víz relatív oxigén hiánya által megszabott mennyiségben, valamint a biológiai folyamatok is juttatnak oxigént a vízbe (fitoplankton, vízínövények, nádgyökérzet).

Amennyiben a víz az oxidációhoz szükséges oxigénmennyiségen felül annyi többlet oxigént is tartalmaz, ami a különböző fejlettségű élőlények életkörülményeihez szükséges, a víz tisztulása teljes.

Anaerob körülmények között történik a bomlás oxigénszegény vagy oxigénhiányos környezetben. Viszonylag kevés baktérium és protozoa faj végez anaerob lebontást, de igen nagy egyedszámmal. Élővízben anaerob bomlás legfeljebb a fenék közeli vízrétegben vagy a fenékiszapban történik normális körülmények között. Az anaerob bomlás lassúsága és kellemetlen velejárói (szag, látvány) mindenképpen indokolják azt, hogy a tisztulási folyamatból lehetőleg legyen kizárva. A gyakorlatban ez úgy érhető el, hogy a befogadót vagy tisztító tavat, nádat a terhelhetőség határán belül használjuk ki.

A befogadó természetes tisztító képessége nagymértékben függ a hőmérséklettől, a mikroszervezetek tevékenységétől és a keveredési viszonyoktól (néhány °C hőmérséklet emelkedés hatására akár a többszörösére is nőhet, ha a víz oxigéntartalma nem limitáló tényező). Itt kell megemlíteni, hogy a folyóvizek természetes tisztulási képessége – főleg a magasabb oldott oxigén tartalma folytán – jobb, mint az állóvizeké. A természetes tisztulás igen bonyolult folyamatának tehát egy döntő láncszeme a vízben lévő oxigén mennyisége. (Juhász, 1977)

Ha az élővíz tartósan a természetes tisztulási kapacitását meghaladó mértékű szennyezésnek van kitéve, bekövetkezik az *eutrofizáció*. Az eutrofizálódás során a vizek tápanyagtartalmának (főleg N és P) növekedése (a tápanyagfeldúsulás) következtében nagy tömegben elszaporodnak az alga és hínár fajok vízvirágzást okozva. Ezek több szerves anyagot produkálnak, mint amennyit a heterotróf szervezetek felhasználnak. Megváltoznak a víz fizikai, kémiai paraméterei, mely az élővilág átalakulását (fajszám tekintetében szegényedését) is maga után vonja. Megkezdődik a tavak feltöltődése, elmocsarasodása. (Sántha, 1996)

2.3.3. A befogadó terhelhetősége

A befogadó terhelhetősége függ annak szerves anyag tartalmától, öntisztuló képességétől, méretétől, vízfolyások esetén a vízhozamtól (főleg a mértékadó valószínűségű kisvízhozamtól), vagyis a hígulási viszonyoktól, valamint a beengedés felett lévő vízfolyás-szakasz terheltségétől.

A befogadó terhelésének csökkentésére alkalmazott eljárás a szennyvíz, vagy részben tisztított víz megfelelően szigetelt módon történő tárolása kisvíz idején, majd magasabb vízállás esetén a befogadóba bocsátása (pl. fűzfői szennyvíztározó). Másik a hígítási fokot növelő eljárás a bebocsátandó szennyvíz hígítása esővíztározóból, vagy egy másik vízfolyásból bevezetett vízzel. (Juhász, 1977)

2.4. A szennyvíz jellemzői

A szennyvíz fogalma: A különféle vízhasználatok során keletkező, ásványi és szerves szennyeződések tartalmazó víz, amelyet a közüzemi csatornahálózaton külön vagy a csapadékvízzel együtt vezetnek el.

A kommunális (települési) szennyvíz jellemzően a háztartások által termelt szennyvizet foglalja magában a helyi kis volumenű gyártó és szolgáltató ipar járulékos szennyveivel együtt. Közcsatornába csak olyan összetételű és mennyiségű szennyvizet szabad bevezetni, amelynek paraméterei a vonatkozó jogszabályban megfogalmazott határértékeknek megfelel. Tehát a kommunális szennyvíz összetétele bizonyos határokon belül marad.(Vermes, 1998)

2.4.1. A szennyvíz szennyező anyagai és eredetük

Eredetük szerint nagyjából az alábbi módon csoportosíthatjuk a szennyező anyagokat:

■ Az emberi szervezet hulladékai az egyik fő összetevő:

-vizelet: 1,2-1,4 l / nap;

-bélsár: 100-150 g / nap.

Ezek könnyen bomló szerves vegyületeket és nagy mennyiségű baktériumot tartalmaznak (az emberi bélsár tömegének 25 %-a baktérium), ezért már két órán belül rothadásnak indulnak. Bennük jellemzően megtalálhatók az alábbi mikroszervezetek: Streptococcus spp., Escherichia spp., Pseudomonas spp., illetve patogén szervezetek: Salmonella, Leptosperia, Tuberculosis és számos egyéb baktériumfaj, valamint nehezen elpusztítható bélféregpeték, Hepatitis és számos egyéb vírus.

- Tisztálkodásból származó hulladékok: szappan, haj, szőr, bőrhám, zsiradék, por, kozmetikai hulladékok stb.
- Konyhai műveletekből származók: technológiai vizek (bennük jellemzőek az olaj, zsírok jelenléte), mosogatásból származó szennyezések: darabos élelmiszerhulladék és egyéb szerves szennyezések, mosogatószer maradék, detergenssek...
- Takarításból származók: pl. tisztítószer maradványok, zsír, olaj, por, vegyszer hulladékok stb.
- Ehhez adódik még hozzá a már említett helyi iparból illetve szolgáltatásokból származó kis mennyiségű szennyvíz, melynek összetétele azonban nem térhet el lényegesen a háztartási szennyvizétől.
- Egyesített rendszerű csatornahálózat esetén (amikor a csapadékvíz és a háztartási szennyvíz elvezetése egy csatornahálózaton keresztül történik) további szennyezést jelent a csapadékkal lemosott utcai szennyeződés: por, homok, talaj, olaj, aszfalt és gumipor, darabos szemét és főleg télen a só is.
- Egészségügyi intézmény csatornára csatlakozása esetén erősen fertőző szennyeződés, gyógyszer, antibiotikum maradékok kerülhetnek a település szennyvizébe. Utóbbi nagy mértékben nehezíti a biológiai tisztítást. (Juhász, 1977)

A tisztítást nehezítő anyagok között kiemelendők még a zsírok és olajok, melyek nehezen távolíthatók el, és a víz színén szétterülve az aerob lebomlást gátolva rontják a tisztítás hatásfokát. Hasonlóan kellemetlen anyagok a detergenssek, melyek habképződést okozhatnak, biológiailag nehezen bonthatók, és így szintén rontják a szennyvíztisztítás hatásfokát, bár ma már törekednek a könnyen lebomló ún. „lágý” detergenssek használatára.

A szennyező anyagok csoportosítása jellemzőik szerint:

A házi szennyvíz szennyező anyagait sokféleségük miatt anyagcsoportok szerint határozzuk meg, azok fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságaik szerint (Benedek, 1989):

- oldott szennyezők;
- nem oldott szennyezők, melyeket két csoportra oszthatunk:
 - nem lebegő;
 - lebegő anyagokra, melyet még tovább oszthatunk:
 - ◆ ülededő (fajsúlya nagyobb egynél) és
 - ◆ nem ülededő anyagokra (fajsúlya ≤ 1).

1. táblázat Házi szennyvíz átlagos összetétele (mg/l) (Juhász, 1977):

	összes szennyező	szervesanyag	BOI ₅	ásványi anyag
oldott anyag	660	330	80	330
lebegő anyag	600	400	280	200
ebből üledíthető	400	270	130	130
nem üledíthető	200	130	150	70
összes	1260	730	360	530

Amint az 1. táblázatban látható a házi szennyvizekben az oldott-anyag tartalom kicsit magasabb a nem oldottnál, a szennyvíz összes szennyező anyagának alig egyharmada a nem oldott üledíthető, vagyis a legegyszerűbben, üledítéssel eltávolítható rész, tehát általában szükség van valamilyen biológiai tisztításra is.

A kommunális szennyvíz mennyiségének, koncentrációjának jellemzői:

Általában elmondható, hogy a gazdasági és kulturális fejlődéssel a vízfogyasztás jobban nő, mint a hulladéktermelés, ezért a kisebb települések szennyvizei rendszerint koncentráltabbak.

A lakosság szennyvíz termelése időben is változik: hosszútávon a gazdasági és társadalmi viszonyok függvényében, míg rövidtávon a lakossági szokásoknak, életritmusnak megfelelően ingadozik. E rövidtávú ingadozás periódusideje alapján megkülönböztethetünk:

- éves periódust: nyáron kb. másfélszerese a szennyvízhozam az évi átlagnak;

- heti periódus: hétköznap a hétvégihez képest nagyobb szennyvíztermelés észlelhető, és jelentősen nagyobb töménységgel;
- napi periódus: az éjszaka folyamán a nappalihoz képest kisebb mennyiségű és töménységű szennyvíz termelődik.

Egyesített rendszerű csatornahálózat esetén még ehhez az ingadozáshoz járul hozzá a nagyobb esőzésekkor elvezetendő nagy mennyiségű csapadékvíz. Ilyenkor a szennyvízhozam a szárazideinek az 50-100-szorosát is meghaladhatja. (Csapóné Felleg, 2000)

2.4.2. Az adott körülmények között alkalmazandó tisztítási módszer kiválasztása

A fentebb megfogalmazottak fényében a szennyvíz tulajdonságai és a tisztítás célja alapján döntenek el, hogy milyen víztisztítási módszerek sorát alkalmazzák. Ha csupán az a cél, hogy a befogadót – feltételezve annak nagy természetes tisztuló képességét – ne terhelje túlságosan a beléje engedett szennyvíz, elegendő lehet a mechanikai tisztítás egyedüli alkalmazása. (Kerényi, 1995)

Az alkalmazásra kerülő szennyvíztisztítási eljárás kiválasztása az adott időszakra jellemző, és a helyi feltételeket is figyelembe vevő többszemponútú döntés-előkészítő értékelés alapján történik. A döntést meghatározó fontosabb szempontok:

- a szennyvíz mennyisége, összetétele, és azok ingadozása;
- a befogadó és annak terhelhetősége;
- a tisztítási rendszerrel elérhető hatékonyság;
- a keletkező szennyvíziszap mennyisége és összetétele, elhelyezési lehetősége;
- a települési viszonyok, helyi feltételek;
- a beruházás műszaki kivitelezhetősége;
- a telep üzemeltetési biztonsága;
- környezeti és egészségügyi feltételek;
- a beruházási és üzemeltetési költségek a helyi önkormányzat anyagi lehetőségeinek, és az általa elérhető plussz pénzügyi források fényében.

2.5. Települési szennyvizek tisztításának módszerei

A települési szennyvizek tisztítása három fokozatban történik: fizikai (első-), biológiai (másod-), kémiai (harmadfokú) tisztítás. (Vermes, 1997) A gyakorlatban ezen fokozatok különböző eljárásainak kombinációjából áll össze a mesterséges szennyvíztisztítás menete. A mesterséges szennyvíztisztítás tehát bonyolult fizikai, kémiai és biológiai folyamatok célszerűen összeállított láncolata. (Juhász, 1977)

2.5.1. Elsőfokú vagy mechanikai tisztítás

Ennek során a szennyvíz fizikailag elválasztható, darabosabb úszó és lebegő anyagait távolítják el rácsok, szűrők, ülepítő berendezések segítségével. Ez a fokozat sokszor önmagában is működik, szennyezés csökkentő hatása akár 40-60 %-os is lehet, de a korszerű szennyvíztisztítás bármely módszeréhez kapcsolódóan az első fokozatként jön számításba. Ide tartozik a csatornahálózaton elvezetett szennyvízbe infiltrációval bekerülő homok eltávolítása is homokfogók segítségével.

A mechanikai tisztítás műveleti elemei a durvább rácsok és finom rácsszűrők, az ezeken keletkező rácsszemét kezelése, homok és zsírfogók, és az előülepítés.

Rácsok: Használják durva rácsokat 40-100 mm és utána beépítve finom rácsokat 5-10 mm közötti rácsmérettel. A rácson fennakadt szennyeződések (rácsszemét) eltávolítása kézi vagy gépi úton történik. A rácson átfolyó szennyvíz sebességét kb. 0,6 m/s értéken tartják, hogy a homok kiülepedése csak a rácsok után történjen meg. A rács az összes szennyező anyag maximum 5 %-ának visszatartására képes.

A rácsszemét kezelése: A durva rácsokon évente 2-3 l/fő rácsszemét keletkezik, a finom rácsokon kb. 3-4 l/fő. A rácsszemétet összegyűjtik, és vagy ellenőrzött tárolókban, szeméttelen helyezik el, vagy égetéssel semmisítik meg.

A homok és zsírfogóban: a szennyvíznél könnyebb olajok és zsírok, valamint a nagyobb fajsúlyú szennyező anyagok leválasztása történik. A homokfogón átáramló víz sebessége kb. 0,3 m/s, ami megfelelő a homok és egyéb nagyobb szemcsék lerakódásához, de a szerves szemcsék még tovább sodródnak. E művelet eszközei a

különböző ülepitő tartályok és medencék. A leülepedett szilárd fázist rendszeresen eltávolítják kézi úton kaparókanállal, vagy gépi úton általában szivattyú segítségével.

A zsírfogó egy úszó merülőfal, mely a kisebb fajsúlyuk miatt felúszó olajokat és zsírokat felfogja. A merülőfal előtt felhalmozódó anyagot kézi vagy gépi úton időről-időre lemerítik a vízfelszínről.

A homok és zsírfogóknak létezik egy levegőztetett változata is, mely kiküszöböli az egyszerű rendszer hátrányait. Az előnyök: csökken a szaghatás, a homokülepedés és a zsírleválasztás nem függ a bevezetett víz sebességétől. A rendszerbe vezetett levegő ugyanis maga hoz létre egy körkörös áramlást, mely segíti a zsírok felúszását és a homok leülepedését.

Előülepités: Ez a mechanikai fokozat utolsó, fakultatív eleme. Használatával a bevezetett szennyvíz lebegőanyag tartalma akár 50-60 %-kal is csökkenhet, amely jelentősen tehermentesíti az utána következő biológiai fokozatot. Az így leválasztott szerves iszap kezelése egy későbbi fejezetben, a szennyvíziszapok kezelésénél tárgyalt módokon történhet. Az előülepités viszont csak nagy szervesanyag-tartalmú szennyvíznél alkalmazható, hogy a továbbvezetett víz szervesanyag-tartalma elegendő legyen a következő fokozat mikroorganizmusainak táplálására, így a megfelelő hatásfokú biológiai tisztítás fenntartására. (Juhász, 1977)

2.5.2. Másodfokú, biológiai tisztítás

A másodfokú, vagy biológiai tisztítás folyamán a szennyvízben lévő mikroorganizmusok elszaporítása és tevékenységük felfokozása révén bontják és ásványiasítják, élő sejtanyaggá alakítják a szennyvíz szerves anyagait, ezáltal a víz szennyező hatása jelentősen csökken. A szerves anyagokat rendszerint aerob viszonyok közt működő mikroorganizmusok bontják, de a lebontás történhet levegőtlen, anaerob körülmények között is. A jól működő biológiai fokozattal a szennyvíz tisztulása 80-90%-os hatásfokot is elérhet. A szennyvizek biológiai kezelési megoldásait alapvetően két fő csoportba sorolhatjuk: mesterséges és természetes eljárásokra. (Öllös, 1992)

2.5.2.1. Mesterséges biológiai tisztítás

A mesterséges biológiai tisztítás tipikusnak mondható példái a csepegtetőtestes tisztítás, amely a talajban lejátszódó tisztulási folyamatokat igyekeznek utánogni, valamint az eleveniszapos tisztítás, amely a vizekben végbemenő tisztulást veszi példaként.

2.5.2.1.1. Csepegtetőtestes tisztítás

A szennyvíz oldott szerves anyagainak elbontására alkalmazott aerob módszer.

A hagyományos (közüzalékos) és a műanyag töltetű csepegtetőtestekben az előülepített szennyvíz a nagy fajlagos felületű töltőanyagra települt biológiai hártya mikroorganizmusainak lebontóképessége folytán tisztul meg. A szennyvizet egyenletesen juttatjuk a töltőanyagra.. A BOI eltávolítás bioszorpció és koaguláció, az oldott komponenseknek a biológiai hártában történő fokozatos lebontása révén jön létre. A lebontó mikroorganizmusok számára szükséges aerob viszonyokat a legtöbb esetben a természetes légmozgás biztosítja.

A gyakorlatban a csepegtetőtestek szervesanyag, illetve hidraulikai terhelésének mértékétől függően megkülönböztethetünk kis, mérsékelt, nagy és szuper terhelésű berendezéseket. (Öllös, 1992)

A csepegtetőtestes tisztítás kezdeti népszerűségét egyszerű üzemeltetésének, alacsony beruházási és üzemköltségének köszönhetette, azonban tisztítási határfok tekintetében általában elmarad az eleveniszapos tisztítási módszerek mögött.

2.5.2.1.2. Eleveniszapos szennyvíztisztítás

Általában ez a leggyakrabban alkalmazott eljárás országszerte. A mechanikailag előtisztított szennyvíz a nagy mikroorganizmus tömeget tartalmazó eleveniszapos medencébe kerül, ahol a mikroorganizmusok életben tartása és nagy számban történő megújítása érdekében az iszap–szennyvíz keveréket levegőztetik, keverik és áramoltatják. Bizonyos idő elteltével az eleveniszapot ülepítéssel elválasztják a víz fázistól, és egy részét fölös iszapként elvezetik, másik részét visszaforgatják (recirkuláltatják) az újonnan érkező szennyvíz „beoltása” céljából.

Az eleveniszapos eljárás szuszpendált állapotban lévő baktériumokat használ az oldott és a kolloid állapotú szervesanyagoknak szén-dioxiddá és vízzé való oxidálásához. Az oxidáció révén a szervesanyag nagy része a sejtekbe épül be, valamint a fölös iszappal távolítják el a rendszerből.

Az eleveniszapos tisztítási megoldások az iszap tartózkodási idejétől függően három nagyobb csoportba sorolhatók, melyek működési határfokban, létesítési és üzemeltetési költségben eltérhetnek:

- 1) Nagy terhelésű rendszer: Ez esetben nagy a lebegő anyagok koncentrációja és a térfogati terhelés, magas a tápanyag/mikroorganizmus arány és rövid az iszap tartózkodási ideje (1/2-2 nap). Az ilyen rendszerben tisztított szennyvíz minősége a többiéhez képest a leggyengébb, a rendszer üzemi egyensúlya könnyen felborul, ezért szigorú ellenőrzésre és szabályozásra van szükség.
- 2) Hagyományos rendszer: Napjainkban ez a legelterjedtebb eljárás. Az iszap tartózkodási ideje 3,5-7 nap, a tisztított szennyvíz minősége jó, és a rendszer bizonyos határokon belül a lökészerű terheléseket is elviseli a tisztított víz minőségének jelentősebb romlása nélkül.
- 3) A hosszú idejű levegőztetéses (totáloxidációs) rendszer: Itt kicsi a szervesanyag-terhelés, és hosszú a levegőztetési idő, az iszap tartózkodási ideje 10-20 nap. A legstabilabb üzemű, de a legkisebb kapacitású változat. Jellemzője, hogy az elfolyó víz lebegőanyag tartalma nagyobb, mint a másik két rendszerénél, előnye, hogy kevés fölös iszap keletkezik. (Öllös, 1992)

2.5.2.1.3. Oxidációs-árkos tisztítás

Az oxidációs árok voltaképpen az eleveniszapos rendszer egyik változatának tekinthető. Kialakítása: egy önmagába visszatérő, rendszerint trapéz szelvényű árok a levegőztető medence funkcióját látja el, melyben vízszintes tengelyű rotorok végzik a szennyvíz levegőztetését.

Az ilyen tisztítóberendezés nagy előnye, hogy a tisztítás közben keletkező bakteriális pelyhekből keletkező iszap oly mértékig oxidálódik és stabilizálódik, hogy az elvezetett fölös iszap jelentősebb szagképződés nélkül tárolómedencébe vagy iszapszikkasztó ágyra vezethető. Ehhez azonban az üzemeltetés során a felvízi

ágban az oldott oxigén tartalmat 0,5-2,0 mg/l között kell tartani. A túllevegőztetés ugyanis rontja a tisztítás hatásfokát, mert olyan iszappelyhek képződését segíti, amelyek nem ülepsznek ki, hanem az elfolyó vízbe kerülnek. Az árokban mozgó szennyvíz áramlási sebességét 0,3-0,5 m/s értékek között érdemes tartani, így a pelyhek az árokban ülepednek ki, ahonnan azt időnként kitermelik.

A rendszer érzékeny a nagyobb csapadékokból származó többlet hidraulikai terhelésre és a téli üzemeltetésre is. A jól működő oxidációs árokban a BOI eltávolításának hatásfoka 90-98%-os is lehet, és a rendszerben a szervesanyagok oxidálásán kívül a nitrifikáció és a denitrifikáció is végbemegy. (Öllös, 1992)

2.5.2.2. Természetes biológiai tisztítás

A természetes biológiai szennyvíztisztítás az a folyamat, melyben a szennyvíz másodfokú tisztítása, vagyis szilárd részeinek eltávolítása és szervesanyagainak lebontása természetes ökoszisztémák (ökológiai rendszerek) igénybevételével folyik, szemben a mesterséges biológiai tisztítással, ahol mindez műtárgyakban, gépi berendezések segítségével, fosszilis energia felhasználásával megy végbe. A természetes biológiai tisztítás is igényel műszaki létesítményeket és beavatkozásokat, de a tisztulás folyamatai zömmel természetes, újratermelődő energiaforrások fölhasználásával zajlanak. Ide tartoznak: a tavas szennyvíztisztítás, a szennyvizek mező- és erdőgazdasági hasznosítással egybekötött tisztítási és elhelyezési megoldásai, valamint az egyéb szűrőmezős eljárások.

2.5.2.2.1. Az élő szervezetek szerepe a természetes szennyvíztisztításban

A szennyvízben lévő szerves és szervesetlen anyagokat a vízben élő baktériumok, növényi és állati szervezetek populációi alakítják át, bontják le és használják föl saját testük felépítéséhez.

A tavak aerob zónáiban az aerob baktériumok tevékenykednek, amelyek a szerves vegyületeket egyszerűbb oxidált termékekre pl szén-dioxidra és vízre bontják. Az ebben a folyamatban részt vevő, leggyakrabban kimutatható

baktériumfajok, illetve nemzetségek: *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Beggiatoa alba*, *Flavobacter*, *Pseudomonas*, *Spherotilus natans*, *Zooglea* stb.

Az anaerob zónában a heterotróf sav- és metántermelő baktériumok bontják le a komplex szerves vegyületeket egyszerű alkoholokká és savakká, majd ezek további bontása révén szén-dioxiddá, vízzé, metánná és más végtermékekké.

A Cyanobaktériumok és a bíbor kénbaktériumok (*Chromatiaceae*) asszimilálni képesek az egyszerűbb szerves vegyületeket, de megélik a szerves anyagokon is, és oxigéntermelésükkel nagymértékben hozzájárulnak a tóban élő aerob baktériumok oxigénellátásához.

A szennyvízzel, valamint a szerves anyagok lebontásából a tavakba került oldott növényi tápanyagok a vízben élő algáknak és magasabb rendű vízi növényeknek jelentenek táplálékot, amelyet azok a fotoszintézishez használnak fel, és új növényi szerves anyagot építenek föl belőlük. A szennyvíztavakban ezért az algák jelenléte általában kedvező és kívánatos, csakúgy mint az úszó-, vagy a gyökeres vízi növényeké. Ezek jelentős szerepet játszanak a nitrogén-, a foszfor- és a kálium-vegyületek eltávolításában, és táplálékkul szolgálnak a vízben élő mikroszkópikus és makroszkópikus állati szervezeteknek (pl *Cyclops*, *Daphnia*, halak stb.), amelyek testükbe építik be a vízből kivont anyagokat.

A legintenzívebb növényi tápanyag-hasznosítóként –és ezáltal víztisztítóként– ismert a magasabb rendű növények közül a vízijácint (*Eichornia crassipes*), a kagylótutaj (*Pistia stratiotes*), a békalencsék (*Lemna spp.*), de ilyenek az évelő nád (*Phragmites*), a sás (*Carex*), vagy a káka (*Schoenoplectus*) különböző fajai, változatai is. Utóbbiak szerepe a tápanyaghasznosítás mellett a talaj szerkezetének fenntartása és javítása, és annak aerob jellegének növelése is. Víztisztító hatásukat újabban mesterséges akvakultúrákban is igyekeznek hasznosítani. (Vermes, 1997)

A mikroorganizmusok és növények által együttesen végzett víztisztító szerepre alapozódnak az ún. gyökérszűrőmezős tisztítórendszerek – így a diplomadolgozatom témájául szolgáló nádgyökerteres szennyvíztisztító rendszer is –, amelyeket mesterségesen létesítenek főként kisebb települések, üdülőtelepek kommunális szennyvizeinek kezelésére.

2.5.2.2.2. Tavaszennyvíztisztítás

A természetes biológiai szennyvíztisztítás sokféle elterjedt módszere, ahol a szennyező anyagok a vízben lezajló természetes folyamatok hatására bomlanak le. A rendszerint földmedrű és viszonylag sekély tavakban a bevezetett szennyvizet a fizikai, a kémiai és a biológiai hatások együttese tisztítja meg, miközben hígulás, oldódás, ülepedés, beszivárgás, szűrés, oxidáció, sejtszintézis, fotoszintézis, gázcseré, párolgás, hőcsere és más folyamatok mennek végbe. A szennyvíz kiülepedett és szuszpenzióban lévő szerves anyagait egyaránt a vízben élő baktériumok bontják le. Jól tervezett és szakszerűen üzemeltetett szennyvíztavakban ezek a természetes folyamatok eredményesen, megfelelő hatásfokkal hasznosíthatók a kommunális szennyvizek tisztítására. Jellemzőjük a kis beruházási és üzemeltetési költség, valamint az egyszerű üzemeltetés. (Vermes, 1997)

A szennyvíztisztító tavakat általában a mélység, a levegőztetés megléte és módja, a biológiai folyamatok típusa, a bevezetett szennyvíz minősége, a víz tartózkodási ideje, a kapcsolás módja, a recirkuláció jellemzői, illetve feladatuk szerint osztályozhatjuk.

A szennyvíztisztító tavak feladatuk szerint lehetnek:

Stabilizációs tó: olyan tisztító tó, amelybe a szennyvizet nyersen, minden előtisztítás nélkül vezetik be, feladata a szennyvíz stabilizálása.

Oxidációs tavak: ezeket előülepítés után biológiai fokozatként, rendszerint sorba kapcsolva működtetik, bennük oxidatív körülmények uralkodnak.

Utőtisztító tavak: olyan aerob vagy fakultatív tó, amely a biológiai tisztításon átesett szennyvíz minőségét tovább javítja az ülepedhető anyagok, a BOI-koncentráció, az eutróf tápanyagok (főleg az ammónia) tartalmának, valamint a fekálbaktériumok csökkentése révén, különösen az érzékeny befogadók vízminőségének védelmére. (Öllös, 1991)

Az uralkodó biológiai reakciók szempontjából csoportosítva:

Aerob tó: ennek jellemzője a kis mélység, a teljes átvilágítottság, oldott oxigéntartalom a teljes mélységben anaerob zónák nélkül. A tóban a szilárd részecskék szuszpendált állapotban vannak, s ezért az elfolyó vízben a

lebegőanyag-tartalom is magasabb, mint pl. a fakultatív tóban. Megfelelő nagyságú terhelés esetén külön levegőztetésre nincs szükség, elegendő a tó felületén beoldódó oxigén mennyiség. Az aerob tó különösen alkalmas a főleg oldott szerves anyagokat tartalmazó, kis lebegőanyag-tartalmú szennyvizek tisztítására. (Vermes, 1997)

Fakultatív tó: jellemzője, hogy benne aerob és anaerob folyamatok is végbemennek. A tisztításhoz szükséges tartózkodási idő viszonylag hosszú, mivel mind a BOI, mind a lebegőanyag csökkentés a tóban megy végbe.

Jellemzőjük a közepes (2 m körüli) vízmélység és három vízréteg elkülönülése. A fenék közelében anaerob viszonyok uralkodnak, közepén található a fakultatív zóna, felett pedig az aerob réteg helyezkedik el.

Üzemeltetésük és fenntartásuk nem nehéz feladat, de tisztítási hatásfokuk is korlátozott, ezért több, csökkenő nagyságú tó sorba kapcsolása szükséges. Másik megoldás, hogy a fakultatív tavakat párhuzamosan kapcsolva, vagy változtatott kapcsolású üzemben működtetik. Hatásfokuk miatt relatíve nagy vízfelületek kialakítása szükséges, ezért területigényük nagy.

A tartózkodási idő szerint megkülönböztetünk rövid (1-3 napos), közepes (3-20 napos) és hosszú (21-180 napos) tartózkodási idejű fakultatív tavakat. Az utótisztító tóként alkalmazott fakultatív tóban az elfolyó tisztított víz minőségét rontó algásodás elkerülése végett a víz tartózkodási ideje 60 napnál nem lehet hosszabb.

Levegőztetett tó: Ennek a tónak az oldott oxigén tartalmát mesterségesen, rotorokkal, szivattyúkkal, illetve sűrített levegő injektálásával kell kiegészíteni. Mivel a levegőztetett tavakban nagy a tápanyag/mikroorganizmus arány, és rövid a tartózkodási idő, a szervesanyag-stabilizálás kismértékű, az oldott szervesanyagok sejtanyagokba alakulnak. Ezen anyagok az elfolyó vízből történő eltávolítása céljából utóülepítésre általában szükség van.

Anaerob tó: Itt nincs aerob zóna, a nagy szervesanyag-terhelés következtében az oldott oxigén a vízből teljesen hiányzik. A tisztítás hatásfoka a sav- és a metántermelő baktériumok arányától, ezek megfelelő egyensúlyától függ. Az anaerob tavak főleg a magas szervesanyag tartalmú ipari szennyvizek biológiai,

valamint előtisztítására alkalmasak. Nagy hátrányuk, hogy működésük erős szagképződéssel jár, illetve bennük a tisztulás folyamata csak részleges.

A különféle szennyvíztavakból gyakran alakítanak ki különböző kombinált szennyvíztavas rendszereket, újabban szennyvizes halastavak és algás tavak is kapcsolódnak pl. aerob vagy fakultatív szennyvíztisztító tavakhoz. Igen jó eredményeket értek el az egy aerob, egy fakultatív és két utőtisztító tó sorba kapcsolásával kialakított tavas rendszerben. (Vermes, 1997)

2.5.2.2.3. Az „élőgépek”

Az „élőgép” technológia tulajdonképpen egy merített fixfilm-hordozó töltettel intenzifikált eleveniszapos biológiai rendszer, amely azonban új technológiai elemek alkalmazása, és a hagyományos eljárásban is megtalálható elemek sajátos elrendezése révén annál hatékonyabban működik. Jellemzője, hogy töltetként élő növényi gyökereket alkalmaznak, amely hatalmas fajlagos felülettel rendelkezik, valamint oxigénnel és különböző szerves savakkal segíti a mikrobiális lebontást.

A növények a medencék felszínére feszített műanyag rácson helyezkednek el, gyökereik 0,5-1,5 m mélyen nyúlik a reaktortérbe. A technológia további jellegzetessége a kaszkádszerűen sorba kapcsolt medencesor, a keletkező szaganyagok eltávolítását szolgáló biofilter és a levegőztetett biológiai szűrő. A technológiai sor a szennyvíz mennyiségétől, összetételétől, a befogadóra előírt paraméterektől, illetve a helyi adottságoktól függően kiegészülhet mechanikai előtisztító fokozattal, biológiai vagy fizikai-kémiai előtisztítóval, iszapkezelő- és víztelenítő, illetve ha szükséges fertőtlenítő egységgel.

A szervesanyag és a növényi tápanyagok lebontását legnagyobb részben különböző mikroorganizmusok végzik. Ezt a folyamatot segíti a szennyvíz, illetve a szennyvíziszap reaktortartályok közötti recirkuláltatása a technológiai sor végén elhelyezkedő nyitott aerob tartályokból és az ülepítőből a sor elején elhelyezkedő tartályokba. A tisztításban részt vesznek egyéb mikroszervezetek, gombák, kagylók, csigák, a technológiai sor végén pedig bioindikátorként halak élnek. Tehát egy

mesterségesen összeállított, de komplex természetközeli ökoszisztéma jön létre. Ennek köszönhető a rendszer stabilitása.

A technológia előnye még, hogy teljesen zárt, nincs kellemetlen zaj- és szagmisszió, illetve az üde növényfelület látványként sem utolsó. A hazai viszonyok mellett üvegházba érdemes telepíteni, így a technológia egész évben kielégíti az elfolyó vízzel szemben támasztott minőségi előírásokat. A folyamat során fajlagosan alacsony mennyiségű fölös iszap képződik. (Takács, 2001)

2.5.2.2.4. Mező- és erdőgazdasági hasznosítással egybekötött, illetve egyéb természetes szűrőmezős szennyvíz-elhelyezési és tisztítási módok

Jelenlegi is folyó környezetvédelmi kutatások egyik kiemelt célja olyan ökológiai rendszerek kialakítása és fejlesztése, amelyek alkalmasak a természetben, a természetes ökoszisztémákban érvényesülő hulladéklebontó és anyagátalakító folyamatok felhasználásával az egyre nagyobb mennyiségben keletkező természetes eredetű szennyvizek és hulladékok ártalmatlanítására és egyben hasznosítására.

Az ebből a célból szóba jöhető rendszerek két nagy csoportba sorolhatók:

- 1) a vízben (víz-növény-állat), valamint
- 2) a talajban, illetve talajon (talaj-növény-állat) kialakult ökológiai rendszerekre.

A vízi vagy akvatis rendszerekkel az előző két fejezetben már foglalkoztam, a teresztris vagy talaj rendszerekhez tartoznak azok a megoldások, amelyekben a talaj jelenti a lebontás fő közegét és színterét, s amelyek lehetővé teszik az oda juttatott szennyvíz anyagainak mező- és erdőgazdasági hasznosítását is.

A szükséges mértékben előkezelt szennyvíz átmeneti tárolás után a továbbító és szétosztó berendezés segítségével az akvatis vagy talaj-növény rendszerű elhelyező/hasznosító területre kerül. A mindkettőben végbemenő – bár más és más feltételek között, eltérő ütemben és mértékben lezajló – lebontási folyamatok eredményeként a víz megtisztul, egy része az evapotranszpiráció révén a légkörbe jut, másik része beépül a növényekbe, tárolódik a talajban, illetve megtisztult formában bekerül a talajvízbe, a fennmaradó hányadát pedig, mint megszárt, tisztított vizet vezethetjük a felszíni befogadóba. A rendszerben a tisztulás részint

az első fázisban az előkezelés folyamán (általában mechanikai, néha biológiai vagy részleges biológiai tisztítás, szükség esetén kémiai kezelés), részint az elhelyezés/hasznosítás színterén a vízben, illetve a talajban megy végbe. Eközben – eltérően a mesterséges műtárgyas tisztítási technológiáktól – a növények (vagy halak) által létrehozott hasznosítható produktum révén mindkét ökológiai rendszer gazdaságilag értékelhető eredményt is nyújt az ember számára amellet, hogy megoldja a víz tisztítását. Ez gazdaságosabbá teszi a beruházást, illetve ily módon a biomassa anyagai is visszakerülnek a természetes körforgásba.

Az említett szennyvízhasznosítási módok számos változatban és variációban elképzelhetők. Eltérhetnek az előkezelés fázisában alkalmazott mechanikai, biológiai, kémiai kezelés alkalmazásában, az átmeneti tárolás idejében (1 naptól a néhány hónapig), a kijuttatás, szétosztás módjában.

A technológiai rendszernek az elhelyező/hasznosító telepet tekintve

1) a vízi ökoszisztémához tartoznak:

- pl. a szennyvíztisztító és hasznosító halastavak

2) a talaj-növény rendszerekhez:

- a meglévő erdők és egyéb természetes vegetációjú területek (hazánkban ez jogszabályilag tiltott);
- a speciálisan a szennyvízhasznosításra létrehozott faültetvények (pl. cellulóznyárasok, energiaerdők);
- a szántóföldi művelés alatt álló területek;
- a nádas vagy gyepes szűrőmezők.

További változatokat jelentenek a talaj-növény rendszerekben a különböző ültetvények, a szántóföldi termesztésben az évelő és az egyéves kultúrák, valamint a talaj típusa és szerkezete szerint kialakuló változatok. (Vermeš, 1997)

Azon megoldásoknak, amelyek a szennyvíz tisztítását nem haszonnövényekkel, hanem a természetben is előforduló növényekkel, növénytársulásokkal (pl. nádassal), illetve erdőgazdasági hasznosítás útján oldják meg, kétségtelen előnye, hogy elkerülik a táplálékláncot, így eleve kiküszöböli a potenciálisan fertőző vagy mérgező anyagok eljutását a haszonállatokhoz és az emberekhez.

A felsoroltak közül a talaj-növény rendszerek, azon belül is a nyárfás elhelyező rendszer, illetve a szántóföldi elhelyezés a legelterjedtebb.

A nyárfás rendszernél a mechanikai tisztítás és rövid idejű tárolás után a szennyvíz egész évben folyamatosan kerül kijuttatásra. Ilyen pl. hazánkban az 1970 óta működő Gyula Városi Szennyvíztisztító és Elhelyező telep, de azóta más településen is létesült ilyen.

A szántóföldi elhelyezés általában úgy működik, hogy előtisztítás (esetleg részleges biológiai tisztítás), majd rövid tárolás után a szennyvizet az év egy részében a szántóföldi területre, másik részében cellulóznyszerültetvényre juttatják. Ez az ún. kombinált elhelyező/hasznosító rendszer. Ilyen kombinált rendszerként létesítették a Kecskeméti, valamint a Cegléd Városi Szennyvízelhelyező és Hasznosító Rendszert, de hasonló telep már 1895 óta üzemel Braunschweigban, és napjainkban is több hasznosító telep létesül pl. az Egyesült Államokban.

Az ilyen szűrőmezők jó működésének alapfeltétele a rendszeres és egyenletes elosztású, de szakaszos terhelés, a kiszámított mértékű szennyvízadagolás, továbbá a növényzettel való borítottság, ami a szűrőhatás regenerálásának és fenntartásának fontos feltétele. (Vermes, 1997)

2.5.2.3. Közműpótló berendezések

Bizonyos lakosságszám alatt gazdaságtalan a csatornahálózat és szennyvíztisztító telep kiépítése és üzemeltetése. Ezeken a területeken, ahol nincs csatornarendszer, vagy az önkormányzat anyagi helyzete miatt csak később valósulhat meg, a helyben történő szennyvíztisztítás lehet a környezet szempontjából az egyetlen jó megoldás. Különösen ott fontos az ilyen berendezések kiépítése, ahol a vezetékes vizet már bevezették, hiszen a termelő szennyvíz mennyiségét ez jelentősen megnöveli. Az erre alkalmas kis tisztítóberendezések egyes lakóházak vagy közösségek szennyvízeinek kezelésére megfelelőek max. 200-250 lakosig. Ezeket csak kiegészítő berendezéseknek kell tekinteni, ezért csak ott szabad őket alkalmazni, ahol a központi szennyvíztisztító teleppel ellátott közműves csatornahálózatra való csatlakozás nem lehetséges. Ennek megfelelően telepítésük

és üzemeltetésük hatóságilag szabályozott. Csak megfelelő karbantartás mellett üzemelnek megfelelően. (Öllős, 1992)

Az egyéni (házi) tisztítóberendezések főbb típusai:

Az egyszerű tisztító gödrök: A legegyszerűbb ilyen berendezések. Lényegében földbe süllyesztett, lefedett, vízzáró falú medencék, melyekben a lakóházból kikerülő kis mennyiségű szennyvízből leülepedett iszap szerves anyagait anaerob rothasztó baktériumok bontják le. Hátrány a lassú lebomlás és az azzal járó szaghatás, valamint a kifolyó víz oxigénben nagyon szegény, ami hátrányos a befogadó élővízre nézve. Előnye egyszerű felépítésén túl a kis karbantartásigénye.

Egyszerű és többkamrás oldómedencék: Az előbbitől abban különböznek, hogy itt a rothadási folyamat átterjed az iszap felett lévő ülepitett szennyvízre is, amely még tartalmaz oldott és félig oldott állapotban bomló anyagokat. A kétnapos tartózkodási időre méretezett medencét egyszerű oldómedencének nevezzük (mely lényegében csak az iszap ülepitésére szolgál), a 10 napos tartózkodási időre tervezett pedig bővített oldómedencének (ennyi idő alatt a szervesanyag legnagyobb része biológiailag lebomlik).

A bővített oldómedencét közfalakkal több kamrára szokták osztani. Egyetlen család számára többnyire kis kétkamrás oldómedencét készítenek, többcsaládos lakóházak számára pedig 3-4 kamrásat. Ilyen többkamrás kb. 50 m³-es oldómedence végső terhelhetősége 200-250 lakos. A szennyvíz a kamrákon folyik át, az első kamrában leülepednek a durva szennyezések, a második, harmadik, negyedik kamrában pedig a finomabb ülepedő részek. Az oldómedencét évente legalább kétszer tisztítani kell, ilyenkor az iszap kb. 1/6-át meghagyják oltóiszapnak.

Az oldómedencékben a tisztulás csak részben megy végbe, ezért azok tartalmát nem szabad egyenesen az élővízbe vezetni, további tisztítási fokozatra van szükség, amely lehet homokszűrés, vagy az elfolyó víz nagy területen történő elszikkasztása szikkasztócső hálózaton keresztül. Ezek alkalmazásának előfeltétele a megfelelően nagy terület. Az elszivárogtatás során egyrészt a talajban a mikroorganizmusok tevékenysége révén tovább tisztul az oldómedencéből kilépő víz, másrészt szétoszódik a kert altalajában, nedvességgel és tápanyagokkal látva el a növényzetet. Ilyenformán nem csak szennyvíztisztítás, hanem értékesítés is.

Szikkasztáskor aerob lebomlási folyamatok mennek végbe (a szikkasztócsövekhez csatlakoztatott szellőzők révén), a szennyező anyagok ásványosodnak.

Szikkasztás nem valósítható meg a különösen nehéz agyagtalajoknál, illetve ott ahol a sérülékeny felszín alatti vizek miatt ez hatóságilag tilos. Például ez utóbbi esetben alkalmazhatjuk a homokszűrést mely szintén a biológiai tisztulás befejezését célozza. A módszer lényege a földbe süllyesztett két, egymás felett elhelyezett perforált cső homokréteggel elválasztva. A felsőbe vezetik a szennyvizet, az alsóból pedig az összegyűlt megtisztított vizet immár a befogadóba lehet vezetni. Az aerob viszonyokról a csövek szellőztetésével kell gondoskodni.

Emscher-kút: Ez nem más, mint egy kétszintes ülepítő-medence. A felső részének a feneké ferdén középfelé lejtő, egymáshoz hajló csúszófelületből áll, melyek lefelé nem záródnak össze teljesen. Az így megmaradt résen keresztül tudnak az ülepedő iszaprészek az alul lévő rothasztótérbe lecsúszni, ahol az iszap az anaerob metánbaktériumok segítségével lebomlik.

Kiskapacitású csepegtetőtestes medence és eleveniszapos biológiai kisberendezés: hasonlóan működnek, mint a már ismertetett nagyméretű telepeken üzemelők, csak kisebb méretekben megvalósítva.

A szikkasztóakna vagy szikkasztókút sajnos még napjainkban is széles körben használt módszer. Ezen keresztül általában a teljesen nyers, tisztítatlan szennyvizet próbálják meg eltüntetni. Gyakran a szikkasztógödör falát átütve hoznak létre szikkasztókutat, így spórolva meg a szennyvízszippantás, elszállítás és szakszerű elhelyezés, vagy egy alkalmas tisztítómű megépítésének költségeit. Ez a módszer azonban súlyosan elfertőzheti, elszennyezheti a talajvizet. (Randolf, 1970)

Az említetteken kívül ma már számos változatban készülnek különböző konténeres biológiai szennyvíztisztító kisberendezések, melyek rövid idő alatt telepíthetők és beüzemelhetők. (Kerényi, 2003)

2.5.3. Harmadfokú, kémiai tisztítás

A harmadfokú tisztítással az előző fokozatok után a szennyvízben maradó oldott ásványi anyagok egy részét, főként az eutrofizációt okozó növényi

tápanyagokat, a nitrogént és a foszfort, illetve a szennyvízből más úton nehezen kivonható nehézfémeket távolítják el. Különösen az érzékeny befogadókba kerülő vizek tisztításakor (állóvizek, kis vízhozamú vízfolyások, vízparti üdülőterületek) fontos ennek a fokozatnak a beiktatása a szennyvíztisztítás rendszerébe.

Ezenkívül kémiai-fizikai (bár nem a harmadfokú tisztítási fokozathoz sorolható) kezelések használatosak még az alábbi területeken:

- szennyvizek előkezelése, ha eredeti összetételük a mechanikai-biológiai kezelést nem teszi lehetővé;
- oldhatatlan vagy kicsapható alkotórészek előzetes eltávolítása;
- a terhelésingadozás megszüntetéséhez a szennyvíz-hozzáfolyással arányosan;
- az iszapfelfúvódás megakadályozására;
- az elfolyó tisztított víz ülepedési tulajdonságainak javítására. (Förstner, 1993)

A harmadfokú kezelés lehetséges módjai (Barótfi, 2000):

:

2.5.3.1. Szennyezőanyagok kicsapása

Az oldott ionok az adagolt kicsapószerrel nehezen oldódó és ennek következtében inert vegyületeket képeznek, amelyek kiülepedésük után a kicsapóreaktorból, illetve az ülepitőmedencéből eltávolíthatók.

Mindenek előtt a foszfáteltávolítás fontos (kicsapószerként a vas-, alumínium- és kalciumsók váltak be). Kicsapatást ezenkívül a nehézfémek, szulfidok, cianidok és tenzidek eltávolításához alkalmaznak. Ám nem minden kicsapató szer köt le minden szennyező iont, ezt a hiányosságot utánkapcsolt technikák pl. aktívyszénszűrő, vagy ioncserélő alkalmazásával egyenlítik ki.

A tisztítási sorba illesztés helye szerint a kicsapatás lehet (Förstner, 1993):

- előkicsapás: a kicsapószerrel az előülepités előtt adagolják;
- szimultán kicsapás: a kicsapószerrel a biológiai tisztítási fokozatba adagolják;
- utókicsapás: a biológiai fokozatból távozó szennyvízbe adagolják a kicsapószerrel;
- pehelyszűrés: az utókicsapáshoz pehelyszűrést is csatlakoztatva a szűrés jobb fázisszétválasztása miatt alacsonyabb elfolyó foszfor koncentráció érhető el.

2.5.3.2 Flokkulálás

A flokkulációs (pelyhesítési) eljárás során oldatlan szilárd, de kis méretük folytán nehezen ülepszítható anyagok összekapcsolása történik. Ezen szennyezők kolloid eloszlását bizonyos hatóanyagok (flokkulálószer, flokkulánsok) segítségével úgy alakítják át, hogy azok mechanikai eljárásokkal (üleptetés, szűrés, centrifugálás vagy flotáció) leválaszthatók lesznek. Flokkuláló anyagként kalcium-hidroxid, vas(II)-, vas(III)- és alumíniumsók, illetve aktivált agyagföldet, kaolin és bentonit jellegű anyagokat alkalmaznak.

2.5.3.3. Aktívszenes szűrés

A ki nem csapott oldott anyagok és a nehezen lebontható szervesanyagok, mindenekelőtt a szerves szintetikus vegyületek (SOV) eltávolításához használatos eljárás, mely a szűrésre használt aktívszén nagy fajlagos felületén bekövetkező abszorpció alapszik.

2.5.3.4. Fertőtlenítés

Az utolsó fokozat részeként gyakran alkalmaznak a tisztított vízben még jelenlévő mikrobák, főleg az ellenálló patogén szervezetek elpusztítására klórozást vagy ózonizálást. (Barótfi, 2000)

2.5.3.5. Egyéb fizikai-kémiai eljárások

Oldott ionok eltávolítására pl. sótalánításra, nehézfémek eliminálására használják még az ioncserélés, vagy a reverz ozmózis eljárását. (Kerényi, 2003)

2.5.4. Szennyvíziszap-kezelés, -elhelyezés és –hasznosítás

2.5.4.1. A szennyvíziszap

A szennyvíziszap a szennyvíztisztítás mellékterméke, a szennyvízből eltávolított úszó és lebegő szilárd anyagok, valamint a biológiai tisztításkor keletkező élő és elhalt baktériumpelyhek tömege alkotja. A tisztítás során képződő legnagyobb térfogatú melléktermék. (Vermes, 1997)

Eredete szerint kétféle lehet:

- 1) a mechanikai tisztítási fokozatban az előülepítő fenekén összegyűlő, onnan eltávolított ún. nyersiszap, melyben durva, szálás anyagok is vannak, sűrűsége nagy, szervesanyag-tartalma 60-80%;
- 2) az utóülepítő iszapja: ezt a biológiai fokozatban, az eleveniszapos vagy a csepegtetőtestes tisztítás utóülepítőjében különítik el a szennyvíztől. pelyhesebb szerkezetű, szervesanyag-tartalma 75-80%. Ennek egy részét visszaforgatják a biológiai fokozatban, másik részét fölös iszapként elvezetik és tovább kezelik.

2.5.4.2 Szennyvíziszap-kezelés

Szennyvíziszap-kezelésnek nevezzük mindazokat a műveleteket, amelyeket a keletkező iszappal a szennyvíztisztító telepen végeznek a térfogat és a fertőzőképesség csökkentése, illetve a kezelhetőség, a hasznosíthatóság vagy az elhelyezhetőség javítása céljából. (Vermes, 1997)

A szennyvíziszap minősége jellemző az adott településre, leginkább a tisztítási technológiára, s így településenként változhat. Ezek a tényezők befolyásolják a későbbi felhasználási módot.

A szennyvíziszap általános összetételét két nagy csoportba soroljuk:

- 1) a hasznosítható anyagokra (iszapvíz, ásványi és szervesanyagok, tápanyagok, nyomelemek), melyek révén az iszap hasznosítható melléktermék;
- 2) korlátozó összetevőkre (pl. nehézfémek, patogén mikroorganizmusok), melyek gátolják az iszap hasznosítási lehetőségeit, de legalábbis költséges többlet technológiai elem beépítését teszik szükségessé. (Barótfi, 2000)

Mivel a települési szennyvíziszap víztartalma nagy (95-98 %), a leggyakoribb kezelési módszer ezen víztartalom csökkentése, mert ezzel az iszap tömege jelentősen lecsökken megkönnyítve az iszap későbbi manipulálását. Ezt szolgálja a gravitációsan vagy gépi úton végzett **sűrítés**.

Iszapstabilizálás: célja, hogy az iszap könnyen bomló szerves anyagait szagmentes és önmagától tovább már nem bomló, fertőzést nem okozó anyagokká alakítsa át, ezáltal megkönnyítse és biztonságossá tegye a további mozgatást, elhelyezést, illetve hasznosítást. E cél elérésére alkalmazott háromféle eljárás:

- 1) **aerob stabilizálás**, melyet az iszap levegőztetésével végeznek;
- 2) **anaerob rothasztás**, mely zárt térben, levegőtől elzártan végzett fermentáció (az ennek során képződő főleg metánból álló biogáz jól hasznosítható energiaforrás);
- 3) **kémiai kezelés**, amely az iszapot mész vagy klór adagolásával teszi stabilá.

Az iszapkondicionálás művelete az iszap kezelése az iszapvíz jobb hatásfokú leadása, valamint a benne lévő szervesanyagok stabilizálása, a patogén szervezetek számának csökkentése céljából. Ez történhet vegyszerek adagolásával, hővel (termikus kondicionálás), iszapmosással, nedves oxidációval. (Barótfi, 2000)

A víztelenítés: az iszap víztartalmának további csökkentése. Eredményképpen az iszap mechanikusan manipulálhatóvá, prizmában tárolhatóvá válik. Történhet napon szárítással, iszapszikkasztó ágyakban vagy számos víztelenítő berendezéssel.

Ezt követően még további víztelenítés is alkalmazható pl. hőkezeléssel, granulálással, de ezek már tetemes (100-1000-szeres) többlet energiafelhasználással járnak. (Benedek, 1990)

A már említett eljárásokon kívül az iszap fertőtlenítése történhet még besugárzással vagy ultrahangos kezeléssel is. (Barótfi, 2000)

Az iszapkezelés utolsó fázisa a **tárolás**, amely lehet:

- 1) későbbi felhasználás esetén átmeneti tárolás, vagy
- 2) végleges depóniában való elhelyezés az erre a célra kialakított lerakóban.

Ha a szennyvíziszap mezőgazdasági célú vagy egyéb hasznosítása valamely okból (pl. annak összetevői miatt) nem valósítható meg, akkor az iszap ártalmatlanítására, megsemmisítésére az **égetés** is szóba jöhet arra megfelelő égetőműben. Ennek hátránya az iszap képviselte biomasza elvesztése, illetve a légszennyezés.

2.5.4.3. A szennyvíziszap hasznosítása

Az iszap hasznosítása az erdő-, illetve mezőgazdasági területen történő elhelyezéssel valósítható meg, így hasznosul annak értékes szervesanyag és mikroelem tartalma. Kísérletek bizonyítják, hogy a rendszeresen és körültekintően végzett szennyvíziszap-adagolás jelentősen javítja a talaj szerkezetét, a humusz-, tápanyag- és nedvességtartalmát, valamint a mikrobiális talajéletet. Az iszapkezelés hatására számottevő termésmegnövekedés tapasztalható. Mindemellett tekintettel kell

lenni az általa tartalmazott toxikus nehézfémekre is, melyek alapvetően meghatározzák a szennyvíziszap hasznosíthatóságát, illetve az adott területre maximálisan kijuttatható mennyiségét.

A szennyvíziszap felhasználási módjai a következők:

- elhelyezés rekultiválandó területen a talaj termékenységének, művelhetőségének helyreállítására;
- talajjavítást célzó elhelyezés;
- elhelyezés meglévő erdőben (Magyarországon csak az erre a célra telepített faültetvényben engedélyezett);
- elhelyezés faültetvényeken és egyéb ültetvényeken;
- szántóföldi elhelyezés, mely a leggyakoribb iszap elhelyezési mód.

A szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítás céljából kijuttatható folyékony iszap, földszerű víztelenített iszap vagy granulált iszap formájában. (Vermes, 1997)

2.6. Szennyvíztisztítási technológiák környezetvédelmi értékelésének alapelvei

2.6.1. A szennyvíztisztítással szemben támasztott általános követelmények

A szennyvíztisztítás feladata tehát a szennyvíztelepre befolyó víznek a káros alkotóktól való megtisztítása, vagy ezen alkotók szintjének olyan mértékű csökkentése, amely már nem veszélyes a környezetre, a befogadó élővízben nem okoz eutrofizációt, sem közegészségügyi, sem gazdasági kárt, vagyis a befogadó vízének ipari, mezőgazdasági vagy egyéb célú felhasználhatóságát nem korlátozza.

Jogsabályi követelmény, hogy az elfolyó tisztított víz paraméterei hosszútávon is megfeleljenek a 203/2001. (X.26.) Korm. Rendeletben és a 9/2002. (III.22) KöM-KöViM Rendeletben foglalt határértékeknek, illetve a területileg illetékes környezetvédelmi felügyelőség által a jogszabályi alapokon hozott határozatban foglalt kibocsátási határértékeknek.

Azonban csak olyan mértékű tisztítás indokolt, amelyet a befogadó vízminősége feltétlenül megkíván, mert az indokoltnál nagyobb mértékű tisztítás jelentős költség többletet okozna.

2.6.2. A kibocsátási határértékek meghatározásának alapelvei

A kibocsátási (emissziós) standardok a vízszennyezés szabályozásának olyan eszközei, melyek közvetve vagy közvetlenül a vízszennyezés csökkentési technológiákra vannak hatással. A határérték kommunális szennyvizek esetén kifejezhető az egy lakosra jutó szennyezőanyag kibocsátásban, vagy az elfolyó szennyvízben megengedett koncentrációkban. A magyar standard területspecifikus vízgyűjtő szerinti, vízhasználati igény szerinti határértékeket ír elő.

Az elfolyó szennyvízre vonatkozó határértékek a biológiai oxigénigény (BOI), a kémiai oxigénigény (KOI) és az összes lebegőanyag mellett számos szennyező anyag, az eutrofizációnak kitett érzékeny területeken az összes foszfor és az összes nitrogén koncentrációjában, illetve a százalékos csökkentési igényben van megadva.

A határérték megállapításakor a befogadó sérülékenységén és a vízhasznosítási igényeken kívül figyelembe veendő a befogadó pillanatnyi és célállapota, illetve a gazdaságosan elérhető leghatékonyabb megoldás is. (Barótfi, 2000)

2.6.3. A szennyvízterhelés ellenőrzése

A szennyvízterhelés ellenőrzését gyakorlatilag a befogadó jellemző szelvényének, valamint a bejutó szennyvizeknek a rendszeres minőségvizsgálatával lehet megoldani. A szennyezettség ellenőrzése lehet közvetlen vagy közvetett.

A közvetlen ellenőrzés a szennyvízkiömléseknél a tömény szennyvízből vett mintákon, másrészt a beömlés alatt jól megválasztott keresztzelvényekben a befogadóból vett mintákon történik. A kivett mintaanyagot vízminőségi laboratóriumban elemzik. A minősítés a főbb komponensekre a mintavétel helyszínén is történhet kisebb pontossággal ún. gyorsesztekkel.

A közvetett ellenőrzés során a víznek valamely könnyen észlelhető olyan fizikai vagy biológiai tulajdonságát mérik, ami jellemző a víz minőségére vagy annak néhány fontos komponensére. Ez lehet pl. a víz zavarosságának nyomon követése.

A kibocsátásokat évente 4-24 alkalommal vett terhelésarányos, vagy 14 órás mintákkal kell ellenőrizni. Megfelelő tisztított az a szennyvíz, mely a határértékeket úgy teljesíti, hogy az a nem megfelelő minták maximalizált számát sem haladja meg, s a nem megfelelő minták értékei sem térhetnek el a határérték 100 %-ánál nagyobb mértékben. (Barótfi, 2000)

2.6.4. Egy szennyvíztisztítási technológia, tisztítómű környezetvédelmi értékelésének fontosabb szempontjai

Egy szennyvíztisztítási technológia vagy tisztítómű környezetvédelmi szempontú értékelésekor figyelembe veendő fontosabb szempontok:

- 1)** a szennyvíztisztító telepről elfolyó víz minősége (lebegőanyag-, szervesanyag-, oldott só-, toxikus anyag pl. nehézfém tartalma, pH-ja, fertőzőképessége, oldott oxigén tartalma, egyéb paraméterek pl. hőmérséklete stb.), mennyisége, illetve arány a telepre bevezetett vízéhez képest (pl. a növények evaprotranszspirációja által eltávozó víz miatt), a tisztított víz befogadóba bocsátásának menete (szakaszos vagy folyamatos);
- 2)** a technológiai műveletek közben keletkező melléktermékek (rácsszemét, szennyvíziszap) mennyisége, minősége (pl. nehézfém tartalma) és ezek alapján mezőgazdasági vagy energetikai célú hasznosíthatósága;
- 3)** a tisztítási technológia során fellépő légköri emisszió és szaghatás (anaerob folyamatok esetén jelentős szaghatással kell számolni, miközben kén-hidrogén, ammónia, metán és egyéb bomlástermék kerülnek a légkörbe);
- 4)** a technológia vagy az azt alkalmazó tisztító telep külső energiaigénye (pl. szivattyúk, keverők levegőztetők elektromos áramigénye);
- 5)** a technológia adalékanyag igénye (pl. flokkuláló-, ülepítő-, kicsapó-, fertőtlenítőszer);

- 6) a tisztítómű által keltett zajterhelés (a telepen üzemelő gépek pl. szivattyúk, levegőztetők stb. zaja);
- 7) a technológia elszigeteltsége a talajtól, talajvíztől (nyers szennyvíz kerül-e kapcsolatba a talajjal ahol elszivároghat talaj vagy talajvíz szennyezést okozhat);
- 8) tájképi beilleszkedés, a szennyvíztisztító telep fajlagos mérete;
- 9) a technológia érzékenysége az átlagostól jelentősen eltérő mennyiségű vagy szennyezőanyag tartalmú szennyvíz érkezésére, nagyobb terhelésingadozáskor mennyire stabil a tisztítás határfoka;
- 10) a technológia érzékenysége az egyéb külső körülményekre pl. téli üzemeltetés során az alacsony hőmérsékletre. (Vermees, 1997)

A felsorolt szempontok jórészt azonosak egy tisztítómű létesítését megelőző környezeti hatásvizsgálat szempontjaival.

3. A nádgyökérteres szennyvíztisztító technológia vizsgálata

3.1. A vizsgálat módszere

A diplomamunkámat a nádgyökérteres szennyvíztisztítási technológia hazai meghonosítójának, az ÉLŐVÍZ Kft.-nek és e technológiát használó magyarországi tisztító telepek üzemeltetését felügyelő HIDROTERV Bt.-nek a segítségével készítettem. A vizsgálatot konkrét telep (kámi) vizsgálatán keresztül végeztem.

A nádgyökértéri szennyvíztisztítás iránti érdeklődésem a szakmai gyakorlatom kapcsán az ÉLŐVÍZ Kft. ügyvezető igazgatójánál tett látogatásom alkalmával vette kezdetét 2002 augusztusában. Dr. Pálfalvy Zoltánnal, első találkozásunk alkalmával a rendszer általános jellemzőibe, más technológiákkal szembeni előnyeibe, valamint működésének alapjaiba vezetett be. A tőle kapott technológiai leírások, valamint az ilyen beruházások költségeit, előnyeit összefoglaló anyagok áttanulmányozását követően több alkalommal találkoztunk, amikor konzultációs jelleggel megbeszéltük a tőle kapott írásos anyagok, illetve néhány általam megkérdezett, szintén a szennyvíztisztítási szakmában dolgozó szakember e technológiával kapcsolatos véleménye alapján bennem felmerült és összegyűjtött kérdéseket. Ekkor (2003 októberében) – látva a téma iránti fokozódó érdeklődésemet és a technológia diplomamunkám témájává választását – az ő segítségével jutottam el Dr. Gampel Tamáshoz, aki a cég által létesített szennyvíztisztító telepek tervezéséért felelős, és akitől további jelentős segítséget kaptam úgy a Kickuth-féle eljárással kapcsolatban, mint a diplomamunkám első részét képező szakirodalmi áttekintéshez.

Az ilyen módon összegyűlt, illetve saját könyvtári kutatásaim során gyűjtött információk, írásos anyagok feldolgozását követően 2004 júniusában újra felkerestem a technológia működésével kapcsolatban felmerült kérdések tisztázása céljából. Ekkor figyelmembe ajánlotta az Országos Vízügyi Főigazgatóság egy frissen elkészült tanulmányát, mely a természetközeli szennyvíztisztítási technológiák vízminőség-szabályozási aspektusait és a vízínövények

szennyvíztisztításában játszott szerepét tekinti át, és melyben a vizsgálatok alapját a nádgyökérteres szennyvíztisztító telepek, azon belül is elsősorban a Kickuth-féle rendszer képezi. Ez a tanulmány is segített a technológia ismertetésének elkészítésében, az ilyen telepek működésének környezetvédelmi célú értékelésében, az általuk megvalósítható tisztítási hatások megítélésének kérdésében.

A munkám készítésének későbbi fázisában 2004 szeptemberében újra többször konzultáltam Dr. Gampel Tamással, hogy a Magyarországon már működő Kickuth-rendszerű tisztítótelepek létesítésének és üzemeltetésének tapasztalatairól további felvilágosítást kapjak, valamint a technológia működési mechanizmusainak kapcsolatos még felmerült kérdéseket megbeszéljük.

A létesítési és az üzemeltetési tapasztalatokra vonatkozó információk teljes összegyűjtéséhez felvettem a kapcsolatot az üzemeltetést végző HIDROTERV Bt. ez ügyben felelős mérnökével Pártosi Ferencnével is, aki ezeken kívül a számszerű értékeléshez szükséges, a cég által végzett mérések adatait is a rendelkezésemre bocsátotta. Az adatok feldolgozása során szeptemberben és októberben e témákban még többszöri konzultációt folytattunk.

A kapott adatok feldolgozása során kiemelt figyelmet fordítottam a telepek, és az eljárás hatékonyságát, szennyezőanyag kibocsátását, illetve a környezetvédelmi megítélésében szerepet játszó egyéb vizsgálati szempontokat jellemző mérési eredmények, megfigyelések bemutatására.

Tehát diplomamunkám elkészítését a téma jellegéből, illetve a szükséges vizsgálatok elvégzésének nehézségeiből (elsősorban költségeiből) adódóan az eljárás hazai alkalmazójától (ÉLŐVÍZ Kft.), a telepek üzemeltetését végző cégtől (HIDROTERV Bt.), az eljárás működéséről, hatékonyságáról tanulmányt készítő Országos Vízügyi Főigazgatóságtól, a természetes szennyvíztisztítás e módszerével is foglalkozó szakirodalomból, illetve néhány egyéb forrásból pl. építésügyi tanácsadó vagy környezetvédelmi szervezet internetes honlapjáról nyert információk feldolgozására alapozva végeztem, ügyelve a felhasznált adatok aktualitására is.

3.2. A nádgyökerteres szennyvíztisztítás technológiája

3.2.1. A gyökértéri szennyvíztisztítás általános sajátosságai, működésének alapjai

A gyökérteres eljárás olyan természetes (természetközeli) szennyvíztisztítási eljárás, mely a gyökértérben, illetőleg a gyökerekkel átszótt talajban élő aktív baktériumok és gombák sokaságát használja fel a szennyvíz tisztítására.

Empirikus tények igazolják, hogy a magasabbrendű vízinövények kedvező hatást gyakorolnak a természetes vizek minőségére. Ezt a hatást a vízszintes és függőleges irányban fejlődő terjedelmes, sűrű szövevényt alkotó gyökérzetük biztosítja. A gyökerekkel átszótt talajban a baktériumsűrűség többszöröse (akár 10-100-szorosa) a gyökérhiányos talajnak, ami lehetővé teszi egészen kis térben nagy mennyiségű szervesanyag lebontását. A gyökérzónában feldúsult oxigén jelenlétében és a talajban mozaikszerűen kialakuló aerob, valamint anaerob folyamatok hatásaként a szennyvízben lévő tápanyagok ebben a közegben biokémiai úton lebomlanak. Szennyvíztisztításra felhasználható a nád (*Phragmites communis*), a széles- és keskenylevelű gyékény (*Typha latifolia* illetve *T. angustifolia*), a sás (*Carex gracilis*) vagy a tavi káka (*Schoenoplectus lacustris*).

Ezeknek az alternatív szennyvíztisztítási módszerek közé sorolt megoldásoknak ma már számos változata ismert pl. a német Kickuth-féle rendszer vagy az osztrák Purátor rendszer. A különböző változatok eltérhetnek a vízáramlás irányában (vertikális vagy horizontális), ettől függően a víz elvezetése történhet a szűrőágy alatt elhelyezett vagy a szűrőágy alsó végén lévő drénrétegben elhelyezett alagsövön keresztül, különbség lehet a szűrőágy szigetelésében (beton vagy fólia borítású medence), az alkalmazott növényfajokban (általában sás, nád, káka, amelyek lehetnek egynemű vagy vegyes állományban), a víz bevezetése és szétosztása történhet pl. alagsövön vagy bukóélen keresztül, a nádágyak sorba kapcsolhatók, kiegészíthetők stabilizációs tóval vagy szikkasztó rendszerrel stb.

Jelen dolgozat – behatárolt terjedelme miatt – csupán az egyik legelterjedtebb, hazánkban is több éve működő szennyvíztisztító telepekkel képviselt technológia ismertetésére vállalkozik.

3.2.2. A Kickuth-féle nádgyökerteres szennyvíztisztítási eljárás jellemzői

A gyökérszűrőmezős eljárás a német Kickuth munkássága nyomán terjedt el. Magyarországon két a Kickuth által létrehozott rendszer hazai viszonyokra adaptált változatát alkalmazó gyökerteres tisztító telep is működik.

Itt térnék ki a növényeket szennyvíztisztítás céljából alkalmazó rendszerek elnevezését illető – gyakran a szakirodalomban is megjelenő – bizonytalanságra. A növényeket komplex összetételű talajban alkalmazó vízszintes átfolyási irányú rendszer elnevezése helyesen **gyökerteres** vagy **gyökértéri**, míg a növényeket csepegtetőtestes tisztítás során csupán a töltet (általában kavics) intenzifikálására felhasználó függőleges átfolyási irányú rendszer neve **gyökérmezős** szennyvíztisztító rendszer.

Lefolytatott kísérletek igazolják, hogy a gyökérmező talajának aktivizálására a Kickuth-féle technológiai eljárás keretében a legalkalmasabb vízínövénynek a nád (*Phragmites communis*) bizonyult, mivel nagy tűrőképessége révén az életterében bekövetkezett jelentősebb változásokat (hőmérséklet, pH, oldott sótartalom vagy a víz szervesanyag tartalmának ingadozása, toxikus szennyvíz komponensek pl. fenolok, detergensok, nehézfémek) is különösebb károsodás nélkül képes elviselni, ezért alkalmas a kommunális szennyvizek változó paramétereinek elviselésére is. A nád rizómái a talajban olyan sűrű paplant alkotnak, hogy a többi növény részére lehetetlenné teszik a megtelepedést. A nád mellett szól a tájbailleszhetősége is, hiszen a nádas látvány sehol sem idegen, bárhol, akár még természetvédelmi területen is alkalmazható.

Tapasztalati adatok és gazdasági számítások alapján a Kickuth-féle szennyvíztisztítási eljárás még számos további előnnyel rendelkezik:

- A művi szennyvíztisztítási eljáráshoz képest a beruházási költségek 40-60 %-kal alacsonyabbak.

- A település fejlődésével arányosan a telep kapacitása bármikor rugalmasan bővíthető, netán szűkíthető.
- Alacsonyak a karbantartási és üzemeltetési költségek, mert a technológiában nincsenek energiaigényes mozgó gépi berendezések, és az önszabályozó biológiai lebomlás szükségtelenné teszi külső energiaforrás felhasználását.
- A rendszer élettartama hosszú, és nagy a megújuló képessége.
- A nádágak, és az egyéb technológiai elemek biztonságos szigetelése megakadályozza a talaj és a talajvíz elszennyeződését.
- Szaghatása elhanyagolható, mivel a szennyvíz zárt vezetéken jut el a nád gyökérszónájába, ahol a lebomlás szintén a földfelszín alatt megy végbe.
- A rendszer a téli hideg időszakban is eredményesen üzemeltethető.

3.2.3.A technológia alkalmazásának lehetőségei és annak határai

A technológia elsősorban a kis települések, üdülőtelepek kommunális szennyvizének, illetve települési folyékony hulladékainak biológiai úton történő tisztítására alkalmas. Körülbelül 2000 lakosegyenértékig alkalmazható ez a tisztítási módszer, e méret felett már jelentősen megnő a szükséges telep mérete növelve a területigényt, nehezítve a kivitelezést, ezek viszont a létesítési költségeket növelik drasztikusan. Ennek oka, hogy a kapacitás növelésével egyenes arányban nő a nádágak, így a telep szükséges mérete, szemben a legelterjedtebb eleveniszapos technológiával, ahol a kapacitással a medence térfogata nő egyenes arányban, míg a szükséges terület kevésbé. Tehát a 2000 lakos felett a rendszer költség előnyei elenyésznek.

3.2.4. A Kickuth-féle technológia működésének részletes ismertetése

A Kickuth-féle nádgyökértéri szennyvíztisztításnál a tisztítási folyamat egy szennyvízzel telített, nádgyökerekkel erősen átszótt talaj-mátrixban történik. A szennyvíz mozgási iránya ebben a közegben túlnyomóan horizontális. A melléklet első oldalán látható a rendszer fő eleme, a nádág felépítését szemléltető 2. ábra.

3.2.4.1. A nád szerepe a tisztításban

A gyökérszóna sűrűsége növeli a talaj átteresztőképességét, ami meghatározza az adott nádágy szivárgási tényezőjét. A szivárgási tényezőtől függ a talaj hidraulikus terhelési határfoka is. Ha a gyökerek és a rizómák elhalnak és lebomlanak, a makropórusok a talajban átmenetileg megmaradnak, növelik és stabilizálják a talaj hidraulikai konduktivitását. A Kickuth-féle rendszerben a nád elsősorban nem tisztító, hanem talajaktiváló rendszeralkotó, legfontosabb funkciója, hogy a szűrőágyakat stabilizálja, megfelelő körülményeket teremtve ezzel a fizikai szűrésnek, továbbá hogy hatalmas felületet biztosítanak a mikrobiális növekedésnek. A nád fejlett rizóma rendszerét mutatja a melléklet 1. képe.

A nád számára nem szükséges, hogy a talaj-kapillárisokon keresztül vegyen fel oxigént. A növények morfológiailag alkalmazkodtak a vízzel telített üledékekben történő növekedéshez, mégpedig úgy, hogy egy hatalmas belső légtér szolgál a gyökerekhez és a rizómákhoz irányuló oxigén-transzportoz. A kiterjedt belső üreges rendszer (aerenchyma) az anoxikus szubsztrátban is biztosítja az oxigéndús környezetet, amely elősegíti a szervesanyagok aerob lebontását és a nitrifikáló baktériumok növekedését. E mikroorganizmusok életterét jelentős mértékben az oxigén jelenléte határozza meg. Így az oxigéndús terekben megindult aerob lebomlási folyamatok az oxigénszegény terekben anaerob folyamatokra váltanak. A váltakozóan aerob és anaerob terekből kialakult szerkezet miatt a felületi kapacitás megsokszorozódik.

3.2.4.2. A tisztulás mechanizmusa, mikrobiológiája, a biofilmek

A mesterséges szennyvíztisztító üzemekben éppúgy, mint a vízi illetve mocsári növényeket felhasználó természetes szennyvíztisztítási eljárásokban a szerves és szervetlen anyagokkal terhelt szennyvizet a tápanyagokat az alámerült felületeken kialakuló biofilmek baktériumközösségei távolítják el. A különböző elemek körforgalmát irányító baktériumok a vízzel elárasztott rendszerekben igen nagy számban fordulnak elő a vízínövények felületén lévő biofilmekben. A biofilmek kompakt mikrobiális közösségek, amelyekben a különböző anyagcsere-folyamatok igen magas intenzitással folynak. A biofilmek morfológiai szempontból

elkülöníthető rétegekből állnak, melyekben egyidejűleg több különböző folyamat is lezajlik, annak ellenére, hogy a különböző igényű szervezetek szoros közelségben tevékenykednek. Például a nitrogén-eltávolítás során előbb a nitrifikáció, majd a denitrifikáció lépését hajtják végre a baktériumok. A nitrifikáció két lépése szorosan kapcsolódik, az ammóniából képződött nitrit az adott helyen ugyancsak megtalálható nitrit-oxidáló baktériumok tevékenysége révén maradéktalanul átalakul nitráttá. Az ammónia-oxidálók a biofilm felső részében egy sejtsomókból álló sűrű réteget képeznek, míg a nitrit-oxidálók kevésbé tömött aggregátumokban fordulnak elő a Nitrosomonas csoportosulásainak közvetlen közelében. A kémiai gradiens értékeket és a baktériumok rétegződését vizsgálva megállapítható a közösség szerkezete és a metabolikus funkciók közötti szoros összefüggés. A biofilmekben tapasztalható magas szintű aktivitás a mikroorganizmusok nagy egyedszámának és a szerves szubsztrátok jó hozzáférhetőségének köszönhető, valamint a növényi gyökerek által kiválasztott anyagok (gyökérmédek vagy exudátumok) is tápanyagul szolgálhatnak egyes mikroorganizmusoknak növelve azok számát. A biofilm tulajdonképpen a sejtek és az extracelluláris termékek biológiailag aktív összefüggő rétege.

A nitrogénvegyületek lebontásának következő lépcsője a denitrifikáció, amely a nitrátok disszimilációs folyamatokkal társuló redukciója a molekuláris nitrogénig. A denitrifikálók mindenhol előfordulnak a vízben, de kimutatható mértékű N_2 -produkciónak csak az aerob zónákban tapasztalható. A szulfátredukáló baktériumok fiziológiája hasonló a denitrifikálókéhoz, viszont kizárólagosan anaerobok. A szulfátredukálók tevékenysége révén nem csak a szulfátok elvonása valósul meg, hanem többek között a nehézfémek eliminálása is, amelyek fémszulfidok alakjában kicsapódnak. A redukált kénvegyületek oxidálásában a Thiobacillus-ok töltenek be jelentős szerepet. Mivel a kén-hidrogént a vizekben a mikrobák gyorsan oxidálják, kén-hidrogén felhalmozódása csak anaerob körülmények között észlelhető.

A szennyező anyagok lebontását, átalakítását döntőrészt „az élő szervezetek szerepe természetes szennyvíztisztításban” című fejezetben már ismertetett baktériumfajok illetve nemzetségek végzik.

A tápanyagok eltávolításában a mikrobiológiai folyamatok mellett szerepe van fizikai-kémiai folyamatoknak is: pl. a foszfát vas és alumínium általi megkötése a talajszűrő rétegben. Ez a folyamat azonban a nádágy élettartamát is megszabja.

Tehát a növények, a talaj és az abban élő mikroorganizmusok összjátéka eszközli a szennyvíz tisztítását. A legfontosabb részfolyamatok az oldott szervesanyagok (mindenekelőtt bakteriális) lebontásából, a talajrészekhez való lekötődéséből, a talaj vízáteresztő képességének gyökerek általi növeléséből, illetve fenntartásából és a nád általi oxigénbevitelből állnak. Az így létrejött ásványiasodott növényi tápanyagok egy részét felveszik a növények, és az új növényi biomassza kialakításához felhasználva testükbe építik, miközben a víz egy részét is elpárologtatják az evapotranszpiráció révén, mérések szerint ez 1,3-1,6 m/év mennyiséget jelent. A nádat nem vágják le, mivel a növényi biomasszában az egyik fő szennyező, a nitrogén csekély mértékben halmozódik fel. Mérések szerint a mérsékelt égövben a növényi részek learatásával a lakossági szennyvizek nitrogén-szennyezésének csak 5-10 %-a távolítható el, miközben a vágás jelentős károsodást okozhat a nádnak a vágásfelületen történő befertőződés és az állati kártevők üreges szárban történő megtelepedése miatt. (Balogh és Megyeri, 2004)

3.2.4.3. A nádágyból elfolyó víz további kezelése

A nádágyból elfolyó víz így nagyrészt megtisztult, bár a nádágyakban lévő anaerob zónák következtében bizonyos mennyiségben még tartalmazhat ammóniát, valamint le nem kötődött foszfort. Ezek eltávolítására (különösen érzékeny befogadók esetén van erre szükség) a nádágy után kapcsolt stabilizációs tó szolgálhat, ahol a szennyvíz kb. 1-1,5 napot tartózkodik, és ez idő alatt a vízből a maradék ammónia kiszellőzhet. Hasonló szerepet játszhat a foszfát-mentesítő árok is, ahol vastartalmú kavicsöltet segíti a még vízben lévő foszfor adszorbciónját. Erre ott lehet szükség ahol az elfolyó vízben nagyon alacsony a megengedett foszfortartalom. A nádágy és a stabilizációs tó közé utólevegőztetőt beiktatva a bevitt oxigén hatására tovább javítható a tisztítás határfoka.

3.2.4.4. A talaj-mátrix összeállítása

Tehát a természetben is lejátszódó anyagátalakítási folyamatok tudatos rendszerezése, valamint a nád gyökérzetének leginkább megfelelő talaj-mátrix összeállítása képezi a Kickuth-féle szennyvíztisztítási technológia alapvető lényegét. A talajjal szemben támasztott alapvető követelmény annak kötöttsége, agyagtartalma, ugyanis az agyagásványok felelősek a talaj-mátrixban végbemenő adszorbcióért (különösen a foszfor eliminációjáért). A nádgyökérzet igényeinek kielégítésekor a talaj humusztartalmára és kötöttségére kell figyelemmel lenni. Bár különös igényei nincsenek a nádnak, de a túlzottan kötött talaj gátolhatja a rizómák növekedését, így közvetve és közvetlenül is rontva a talaj vízáteresztő képességét, míg szervesanyagból egy kevés biztosítása már kielégíti a nád igényeit. A megfelelő talaj keverék összeállítása tehát alapvetően a megfelelő kötöttségi érték, illetve vízáteresztőképesség beállítását jelenti. A talajkeveréket mindig a létesítendő tisztító telep környékéről vett talajminták vizsgálatát követően, azok eredményei alapján a helyi talajokból állítják elő, így csökkentve a talaj szállításának költségeit. Amennyiben nincs a közelben megfelelően magas agyagtartalmú talaj, a helyszínre hozott bentonittal növelik a keverék adszorbcíós kapacitását, esetleg nagyon alacsony humusztartalom esetén istállótrágya illetve szecskázott szalma keverhető bele. A talajkeverékbe ezen felül más adalékanyag adagolása nem történik.

3.2.5. A Kickuth-féle nádgyökérteres tisztítási eljárás technológiai elemei

Rács

Magas durva szennyezőanyag tartalmú szennyvíz esetén az előülepítő előtt rácsszűrő alkalmazandó.

Előülepítő műtárgy

A technológia első eleme egy több aknás (minimum 3 db) vasbeton medence, amely a beérkező szennyvíz fogadására és a benne lévő lebegő anyagok ülepítésére szolgál. A leülepedett iszap eltávolítása évente 2-3 alkalommal történik.

Adagoló műtárgy, elosztó akna

A mechanikailag előtisztított, kiüledett szennyvíz szétválasztása egyenlő vízhozamú ágakra a gyökérteres medencék számának függvényében. A víz innen a nádágyakba alagsövön keresztül, kavics vagy murva rétegen szétosztva egyenletes eloszlásban kerül bevezetésre.

Nádas medencék, nádágyak

A Kickuth-féle szennyvíztisztítási technológiának kulcseleme a nádágy, illetve a nád gyökerei által átszőtt talaj, vagyis a gyökértér. Ezen a közegen horizontálisan átszivárogtatva tisztul meg a szennyvíz.

A nádágy egy négyszögletesen kialakított, erre a célra megfelelő műanyag fóliával szigetelt földmedence, melynek melynek szélesség-hosszúság aránya 1/1,5, átlagos mélysége 80-100 cm. A nádas medence fenékszintjét 1-2 % -os lejtéssel kell kiképezni az átszivárgó szennyvíz átfolyási irányának megfelelően.

A talajban átszivárgó szennyvíz a gyökérzónában lezajló tisztulási folyamat után a medence ellenkező oldalán lévő kavics vagy murva rétegben gyűlik össze, majd szintén alagsövön keresztül távozik.

A nádágyban a talaj szennyvízzel való telítettségét, és így a hidraulikai esés nagyságát a kifolyó oldalon kialakított ellenőrző aknában lévő flexibilis csövek végének magasságbeli állításával, mint egyszerű vízszintszabályozóval lehet változtatni. A talajban a gyökérzet sűrűsége a vízszint alakulásától függ. Így az üzemeltetés során a vízszint időnkénti csökkentésével nagyban elősegíthető a gyökérzet fejlődése, átrendeződése. Ezt váltogatva végzik nádágyakon a nyári meleg időszakban. A rendszer működése akkor tekinthető ideálisnak, ha a nádágyokban az átszivárgó szennyvíz szintje nem emelkedik a talaj felszínétől számított 10 cm fölé. Ebben az esetben a biológiai lebomlás a gyökérzónában zajlik és a felszínen bűzhatás nem tapasztalható.

A nádágy méretezésénél az eddigi tapasztalatokat figyelembe véve lakos-egyenértékenként átlagosan 5 m² nádfelület kialakítása szükséges. Ebben benne foglaltatik a nyári vízszintcsökkentés miatti, valamint a téli alacsony hőmérséklet

következtében lecsökkent intenzitású lebomlás miatti teljesítménycsökkenés igényelte ráhagyás is.

A nádágyak szükséges területét befolyásolja:

- a szennyvíz minősége,
- a befogadóra előírt határértékek, valamint
- a nyári időszakban ciklikusan végrehajtásra kerülő víztelenítési időszakok kapacitás csökkentő hatása.

Ellenőrző akna

Az ellenőrző akna vasbetonból vagy klinkertéglából készül, és zárható acéllemez fedéllel van ellátva. Flexibilis csövön ide kerül bevezetésre a nádágyban megtisztított szennyvíz. A cső szintjének állításával szabályozható a nádágyban a vízszint magassága.

Foszfát-mentesítő árok

Fakultatív elem. Vastartalmú kavicssal töltött árok, melyen a víz horizontálisan folyik át. Az árkot szigetelés választja el a talajtól.

Stabilizációs tó

Az ellenőrző aknából, illetve a foszfát-mentesítő árokból a tisztított szennyvíz az aerob stabilizációs (utótisztító) tóba folyik. A tó fenékszigetelése fólia vagy helyszíni agyagréteg. Benne a víz tartózkodási ideje 1-1,5 nap, ezért relatíve kis méretű tóról van szó.

Egyéb fakultatív technológiai elemek

Az ellenőrző akna és a stabilizációs tó közé különböző utólevegőztető lehetőségek iktathatók, mellyel tovább javítható a tisztítás hatásfoka.

Fertőtlenítő medence beiktatásával a fertőtlenítés lehetősége is biztosított.

A Kickuth-féle technológia alkalmazásakor a szennyvíz kémiai elő- vagy utókezelésére nem kerül sor.

3.2.6. Az alkalmazási engedély ismertetése

Az ÉLŐVÍZ Természet- és Környezetvédő Kft. első alkalommal 1994. 09. 21-én kapott alkalmazási engedélyt 2155/2/1994. számon “Gyökértéri szennyvíztisztító eljárás” címén az új technológiára. Ezen engedély 1999. december 31.-ig volt érvényes. A Kft. gyakorlatilag változatlan tartalommal 2000. április 18-án 00232/2000. számon a “Gyökértéri szennyvíztisztítási eljárásra” visszavonásig alkalmazási engedélyt kapott. A gyökértéri szennyvíztisztító eljárással kommunális jellegű szennyvizek tisztíthatók.

3.3. A vizsgált kámi szennyvíztisztító telep bemutatása

3.3.1. A szennyvíztisztító telep általános ismertetése

A kámi Polgármesteri Hivatal megbízásából az ÉLŐVÍZ Kft. 1992-ben készítette el a szennyvíztisztító telep tervét, amely átdolgozás után 1997-ben 10.441/4/1997. számon kapott vízjogi létesítési engedélyt. Az alkalmazott technológia: Kickuth-féle (kötött talajú, horizontális átfolyású) nádgyökérteres szennyvíztisztítás. A befogadó a Szent János-patak 0+320 km szelvénye.

A csatornahálózat 1997. novemberében készült el. A szennyvíztisztító telep építésének előkészítése 1997. szeptemberében, kivitelezése decemberben kezdődött meg. A műszaki átadás 1998. augusztus 18-án volt. és 1998. augusztus 19.–1999. március 31.-ig a telep beüzemelése folyt, melynek során ellenőrzés mellett a telep fokozatos terhelése, a vízhozam-kiegyenlítő és elosztó szerkezetek beállítása, valamint a különböző létesítmények működőképességének vizsgálata történt meg.

A hatóságok 2 éves próbaüzemi időt írtak elő. A telep próbaüzeme 1999. április 1.-én kezdődött meg, és 2001. március 31.-ig tartott, lefolytatására próbaüzemi terv készült. A próbaüzemet az ÉLŐVÍZ Kft. vezette a HIDROTERV Bt. közreműködésével. A laboratóriumi vizsgálatok a próbaüzem első évében a Nyugat-dunántúli Környezetvédelmi Felügyelőség, a második évében pedig a VASIVÍZ Rt.

akkreditált laboratóriumában történtek. A próbaüzemről készült negyedévenkénti jelentéseket ill. a próbaüzemi zárójelentést a próbaüzem végzője készítette, melyek a hatóságok részére megküldésre kerültek. A végleges működési engedély kiadása a mai napig folyamatban van.

3.3.1.1. Kám település földrajzi elhelyezkedése, a helyszín rövid bemutatása

Kám község a nyugat-magyarországi Kemeneshát déli részén, a 8. sz. főközlekedési, és a 87. sz. közút csatlakozásánál terül el.

A településen keresztül folyik a Szent-János patak, mely a település felszíni vizeinek befogadója. A Szent-János patak a Herpenyőn keresztül a Rába folyóba vezeti a vizet. Az uralkodó szélirány ÉK-i.

A település jelenlegi lakosság száma 487 fő, dinamikusan fejlődik. A településen kiépített vezetékes ivóvíz-ellátás van.

3.3.1.2. A tisztító telep elhelyezkedése

A szennyvíztisztító telep a községtől É-K-i irányban, a Szent-János patak jobb partján, a patak és a 8439 sz. közút közötti területen helyezkedik el. Megközelítése e közútról lehetséges. A telep területe: 9875 m², a Szent János-patak felé lejt.

3.3.1.3. A szennyvízgyűjtés módja

A településen gravitációs csatornahálózat került kiépítésre. A csatornahálózaton 3 db szennyvízátemelő épült, melyek közül az egyik az ún. végátemelő, mely a település teljes szennyvízmennyiségét a szennyvíztisztító telepre juttatja. Jelenleg a lakossági rákötés 72 %-os a vízzel ellátott ingatlanok számához viszonyítva.

3.3.1.4. A keletkező szennyvíz jellemzői

A településen kizárólag kommunális szennyvíz keletkezik. A csatornahálózat elválasztó rendszerű, illegális csapadékvíz bekötések nincsenek, az infiltráció nem jellemző, így csapadékvíz hozzáfolyással nem kell számolni. A településen ipari

jellegű szennyvíz nem keletkezik, a helyi Termelő Szövetkezet állattartásából származó hígtrágyát külön kezelik.

3.3.1.4.1. A telepre érkező szennyvíz mennyisége

A tervezés 77 m³/d kapacitás figyelembe vételével történt. A tényleges szennyvízmennyiség ennek alatta maradt, de növekvő tendenciát mutat. A telep átadása után a beüzemelés időszakában 10 m³/d körül volt a beérkező szennyvízmennyiség, mely 18 m³/d-re növekedett a próbaüzem kezdetéig, 1999. áprilisáig, 2002. évben pedig már 43 m³/d érték is előfordult.

3.3.1.4.2. A telepre érkező szennyvíz minőségi paraméterei

2. táblázat

Paraméter	Tervezett (mg/l)	Tényleges* (mg/l)
KOI _{cr}	800	797,6 (99,7 %)
BOI ₅	350	402,7 (115,1 %)
NH ₄ -N	80	104,5 (130,6 %)

*kétéves átlag (1999-2000)

Az adatokból látható, hogy a KOI terhelés a tervezettnél megfelelő, a BOI₅ terhelés a tervezettnél 15 %-kal, míg az ammóniaterhelés majdnem 31 %-kal nagyobb, miközben a szennyvíz mennyisége jelentősen kisebb a tervezettnél. (Részletesebben a 4. táblázatban.) Tehát a tervezetthez képest jóval töményebb szennyvízről van szó.

3.3.1.5. A tisztítástól elvárt hatásfok:

3. táblázat A teleptől elvárt tisztítási hatásfok a főbb értékekre:

Jellemzők	Értéke a nyers szennyvízben	Értéke a tisztított szennyvízben
KOI mg/l	800	75
BOI ₅ mg/l	350	25
NH ₄ -N mg/l	80	10
		illetve a IV. vízminőségi kategóriára előírt határértékek

3.3.2. A tisztító telep létesítményei

3.3.2.1. Előülepítő műtárgy

A csatornahálózat utolsó átemelője aprítószivattyúként is funkcionál, így a telepre nyomóvezetéken érkező szennyvíz szűrőrácson történő áthaladás nélkül közvetlenül egy vasbetonból készült, 120 m^3 hasznos térfogatú háromkamrás oldómedencében gyűlik össze, ahol a durva szennyező anyagok kiülednek. (Medencetérfogatok: $V_1 = 61,2 \text{ m}^3$, $V_2 = V_3 = 29,8 \text{ m}^3$) A tartózkodási idő: 38 óra. A kiüledett iszap kiemeléssig részben kirothad. Az iszapelszállítás félévente történik, amit szerződés alapján a FLORASCA Környezetgazdálkodási Kft. végez.

Az előülepítő műtárgyban egy vízhozam-kiegyenlítő szerkezet került elhelyezésre, a lökészerű hidraulikus terhelések kiküszöbölésére.

3.3.2.2. Elosztó aknák

A szennyvíznek a 8 nádágyra való egyenlő szétosztása mechanikus úton ún. billegők segítségével történik, melyek betonaknákban helyezkednek el.

3.3.2.3. Nádas medencék (gyökértér)

A gyökértér a nád gyökerei által átszótt talaj. A telepen 8 db egyenként 375 m^2 felületű nádágy épült. A nádas medencékben a szennyvíz a felszín alatt, vízszintes irányban áramlik. Tartózkodási idő: 9,9 nap.

A földmedencék rézsús széllel lettek kialakítva, a bevezetési oldalon 60 cm, a kivezetési oldalon 80 cm mélységgel. A fenéklejtés 1 %. A durva tükör kiemelése után a medence fenékre, és a rézsúkra homokterítés került, a fólia szigetelés védelme érdekében. A medencék szigetelése 1,5 mm-es SICOFOL fóliából készült helyszíni hegesztéssel. A medencék bevezetési és kivezetési oldalán durva murva-prizma épült, melynek az egyenletes szennyvízelosztás a feladata. A bevezetési oldalon a murva-prizmában felül, a kivezetési oldalon a murva-prizmában alul helyeztek el elosztó, illetve gyűjtő dréncsövet. A bevezetési oldalon a medence hosszának kb. 1/3-ig a fenéken kavicssterítés készült, melynek a szennyvíz előrejutásának az elősegítése a célja, különösen a kezdeti időkben, amikor a

gyökérzet még nem alakult ki a mélyebb rétegekben. A kavicssterítés végében dréncső került elhelyezésre üzemeltetési célból. Ez a dréncső és a kivezetési kórákatban lévő gyűjtő dréncső az ellenőrző aknába csatlakozik.

A medencék fenti előkészítése után történt a medencék talajának a betöltése. Ebben az esetben a helyi kavicsos talajt, anyagyerő helyről szállított agyagos talajjal és a humusztartalom javítása céljából istállótrágyával, valamint szecskázott szalmával keverték össze. A földbetöltést követően kerültek elültetésre a nádrizómák, melyeket a szomszédos Oszkó település területéről szereztek be. A nád fejlődését a melléklet második oldalán található 3. és 4. kép szemlélteti.

3.3.2.4. Ellenőrző akna

A nádas medencék kifolyási oldalán elhelyezett gyűjtődrén által összegyűjtött tisztított szennyvizet flexibilis cső eresztí az ellenőrző aknába. A flexibilis cső kifolyási szintjének állításával változtatható a nádas medencékben a hidraulikus esés nagysága. A nádágyakhoz külön-külön 8 db betonból készült ellenőrző akna épült.

3.3.2.5. Utótisztító árkok és tó

Az ellenőrző aknákból a tisztított szennyvíz a gyűjtőárkokba, majd az utótisztító tóba kerül, ahol a maradék lebegő anyagok kiülepedése, valamint a maradék ammónia-tartalom kilevegőztetése történik. A nyílt árkokat és a tavat egyaránt műanyag fóliával szigetelik. (Az eredeti tervekben utótisztító árok szerepelt érdesített betonlap-burkolattal.)

3.3.2.6. Mérőhelyek

A nyers szennyvíz mennyiségi mérése a csatornahálózat végátemelőjének (I. sz. átemelő) szerelvényaknájában elhelyezett indukciós vízmérővel történik.

A tisztított szennyvíz mennyiségi mérése érdekében az utótisztító tóból a befogadó Szent János-patakba történő bevezetése előtt mérőhely került kialakításra. A tisztított szennyvíz mennyiségi mérésére NA 50 mm vízmérő óra került

elhelyezésre. Az óra előtti szűrő gyakori eltömődése miatt a folyamatos üzemelés nehézkes, ezért. ellenőrzésekkor a mennyiségmérés köbözéssel történik.

3.4. A kámi üzemeltetési tapasztalatok bemutatása

3.4.1. Az üzemeltetési feltételek

A próbaüzem alatti vizsgálatok eredményeit a 3–6. sz. táblázatokban foglaltam össze. A táblázatokban szereplő szennyvízmennyiségek a mintavételi jegyzőkönyvekből származnak.

A szennyvíztisztító telepre 2001. első félévében 26–30 m³/d szennyvíz érkezett. A vízzel ellátott ingatlanok száma a faluban 170 ebből a csatornahálózatra kötött ingatlanok száma 119, azaz 70 %. Mindez azt mutatja, hogy a jövőben a telepre érkező szennyvíz mennyisége számottevően nem fog változni.

3.4.2. A beérkező szennyvíz paraméterei

4. táblázat A nyers szennyvíz minőségének adatai a próbaüzem alatt:

Jellemzők	Átlag (g/m ³)	Minimum (g/m ³)	Maximum (g/m ³)
KOI	797,6	403	1122
BOI ₅	402	260	610
NH ₄ -N	104,5	91,7	132
NO ₃	1,4	1,1	1,7
Összes lebegőanyag	239	142	422
Összes P	19,5	15,1	22,3
SZOE	53,6	6,6	98
Coliform/ml	179.667,7	20.000	460.000

A telepre érkező szennyvíz átlagos szervesanyag-tartalmú (KOI 797,6 g/m³). Két esetben volt kiugróan magas a szennyvíz KOI értéke. Ekkor feltehetően a csatornahálózatba idegen anyag bebocsátás (szippantott szennyvíz, stb.) történt. A szennyvíz ammónia-nitrogén koncentrációja viszont rendre magas, hasonlóan a térségben található Kám nagyságrendű településekéhez. A szerves oldószer extrakt

tartalom is magas, holott a településen kifőzde nem üzemel, csak az óvodának és az iskolának van konyhája.

3.4.3. A technológiai elemek működésének hatásfoka

A bővített oldómedencében (előülepítő) a szennyvíz átlagosan 4,3 napot tartózkodik, erősen berothadt állapotúvá válik. A telepen igen gyakori a bűzös kénhidrogénes szag. A bővített oldómedence szennyezőanyag eltávolítási hatásfoka az alábbiak szerint alakult:

KOI	9,1 %
BOI ₅	17 %
Összes lebegő anyag	41 %
SZOE	29 %

A többi komponens tekintetében tisztítási hatásfokról nem beszélhetünk.

5. táblázat A 8 db nádágyról elfolyó kevert szennyvíz minősége az alábbi (Megjegyzendő, hogy igen kevés vizsgálati adat áll rendelkezésre):

	Átlag (g/m ³)	Minimum (g/m ³)	Maximum (g/m ³)
KOI	124,9	74	277
BOI ₅	56,8	12	150
NH ₄ -N	44,9	21	87,8
NO ₃	7,8	< 1	11,4
Összes lebegőanyag	106,0	33	237
Összes P	6,9	4,3	11,7
SZOE	0,5	0,5	0,5
Coliform/ml	2.489,0	78	4900

Ezek szerint a nádágyakon a szennyezőanyag eltávolítás hatásfoka az alábbi:

KOI	82,7 %
BOI ₅	82 %
Ammónia-N	60 %
Összes lebegő anyag	23,0 %
SZOE	98 %
Összes P	64 %

A nádágyakon tehát részleges biológiai tisztítás történik. A KOI és az ammónia-N rendre meghaladja a 3/1984. OVH. sz. rendelkezés határértékeit.

6. táblázat Az utótisztító tó után a befogadó Szent János-patakba bocsátott tisztított szennyvíz minőségi jellemzői a próbaüzem ideje alatt az alábbiak voltak:

	Átlag (g/m ³)	Minimum (g/m ³)	Maximum (g/m ³)
KOI	155,2	98	259
BOI ₅	41,0	11,0	125
NH ₄ -N	33,4	18	49,8
NO ₃	13,4	1,2	61
Összes lebegőanyag	62,4	15,0	237
Összes P	4,9	3,1	10,4
SZOE	1,4	0	4,9
Coliform/ml	820	0	4.600

(Az átlag értékekben az 1999. 06. 10. és 07. 15. közötti értékeket nem vettük figyelembe, mivel még a tisztavizes feltöltés hatása érvényesült az eredményekben.)

A próbaüzem kezdetétől fennálló üzemelési probléma, hogy a nádágyak elején a felszínen megjelenik a víz, és utat találva magának a felszínen, egy része tisztítatlanul jut el a kifolyási oldalig. Télen a fagyott felszín miatt ez a probléma fokozottan jelentkezik. Ezen a problémán lényegesen nem javított a szalmabálából készített valamint a deszkapalló leásával létesített keresztgát sem.

A nádágyak első felében tehát magasan áll a víz, ezért a nádágyak első harmadánál elhelyezett dréncsövek kivezetései igen magas állásban 90 cm-en üzemelnek, így biztosítható, hogy ott ne történjen kifolyás. A nádágyak kifolyási oldalán tartósan alacsony a vízszint (15–20 cm). Itt megfigyelhető, hogy a nádágyak végén a nád kevésbé fejlett és több a száraz állomány.

Az utótisztító tavat elhagyó tisztított szennyvíz KOI értéke magasabb, mint a nádágyak utáni szennyvízé, ennek oka a nyári időszakban fellépő algásodás. A befogadóba bocsátott szennyvíz opálos, időszakosan kellemetlen szagú, a KOI és az ammónia-N folyamatosan határérték feletti.

A telepen a bakteriológiai tisztulás jelentős, az illetékes ÁNTSz a befogadóba bocsátott szennyvíz fertőtlenítésére nem kötelezte az üzemeltetőt.

3.4.4. A tisztítás mértéke a tervezetthez képest

7. táblázat. A tisztított víz minőségi paraméterei:

Paraméter	Tervezett (mg/l)	Tényleges* (mg/l)
KOI _{cr}	75	149,2
KOI _{cr} szűrt	-	75,5
BOI ₅	25	41,0
NH ₄ -N	10	29,6

*kétéves átlag (1999-2000)

Megjegyzés: az utótisztító tóban bekövetkező algásodás miatt szűrt minták elemzése is történt.

8. táblázat A változás mértéke = nyers – tisztított:

Paraméter	Tervezett (mg/l)	Tényleges* (mg/l)
KOI _{cr}	725	648,4
KOI _{cr} szűrt	-	722,1
BOI ₅	325	361,7
NH ₄ -N	70	74,9

*kétéves átlag (1999-2000)

Az adatokból látható, hogy a KOI eltávolítás szűrt minta esetén a tervezettnél megfelelő, a BOI és az ammónia eltávolítás meghaladja a tervezett mértéket.

3.4.5. A szükséges tisztítási hatások értelmezése, meghatározása

3.4.5.1. A befogóra vonatkozó határértékek

A tervezés időszakában még a 3/1984. sz. OVH rendelet szabályozta, hogy a felszíni vizekbe milyen mértékű szennyezőanyag tartalmú vizek engedhetők be. Kám esetében a befogadó Szent János-patak (Rába vízgyűjtő) a VI. vízminőség-védelmi kategóriába tartozott, ezért a bevezetésre kerülő tisztított szennyvíz minőségének ki kellett elégítenie a 3/1984. OVH sz. rendelet erre vonatkozó előírásait (8. táblázat). A szükséges tisztítási hatásfokot tehát csak a befogadó határozta meg.

Fenti rendelet 2. sz. melléklete (11. táblázat) "Technológiai határértékeket" is meghatároz. Itt már nem csak koncentráció, hanem tisztítási hatások is szerepel, és az új rendelet már részben figyelembe veszi a LE nagyságot.

11. táblázat A 9/2002 (III.22.) KöM-KöViM rendelet 2.sz. melléklete:

Komponens	Koncentráció (mg/l)	Minimális csökkentési hatások (%)
Kémiai oxigénigény (KOI)	125	75
Biokémiai oxigén-igény (BOI ₅ , 20 °C-on nitrifikáció nélkül)	25	70–90 között
Összes lebegőanyag	35	90
Összes foszfor	2 (10 000–100 000 LE között)	80
	1 (>100 000 LE)	80
Összes nitrogén	15 (10 000–100 000 LE között)	70–80 között
	10 (>100 000 LE)	70–80 között

A határértékeket koncentrációra, de legalább a százalékban megadott mértékig való csökkentésre kell alkalmazni. A százalékos csökkentést a tisztító telepre bevezetett nyers szennyvíz koncentrációjához képest kell értelmezni.

3.4.5.2. A különböző technológiai elemek tisztítási hatásfokának értékelése

A szennyvíztisztító telep különböző technológiai elemeinél a tisztítási hatások az alábbiak szerint alakultak (12-14. táblázatok):

12. táblázat Előülepítő: Tisztítási hatások = (nyers – ülepített)/nyers

Paraméter	Tervezett (%)	Tényleges (%)
KOI _{cr}	20,0	9,0
BOI ₅	20,0	17,0
NH ₄ -N	0,0	-3,7

13. táblázat Nádagyak: Tisztítási hatások = (nyers – nádagyakról lejövvő)/nyers

Paraméter	Tervezett (%)	Tényleges (%)
KOI _{cr}	85,0	84,3
BOI ₅	85,0	85,9
NH ₄ -N	62,5	57,0

14. táblázat Utótisztító tó: Tisztítási hatásfok = (nyers – tisztított)/nyers

Paraméter	Tervezett (%)	Tényleges (%)
KOI _{cr}	90,1	81,3
KOI _{cr} szűrt	-	90,5
BOI ₅	92,9	89,8
NH ₄ -N	87,5	71,7

A fenti adatok alapján az alábbi megállapítások tehetők:

Az **előülepítőben** nem a tervezettnak megfelelően történik a tisztítás. A KOI eltávolítás hatásfoka jelentősen alatta marad a tervezettnak. A BOI₅ eltávolítás hatásfoka közel megfelelő, de kissé az is alatta marad a tervezett értéknek.

A **nádágyakban** történik a szervesanyag lebontás zöme. Az adatokból kitűnik, hogy a nádágyak közel a tervezettnak megfelelően működnek, annak ellenére is, hogy az előülepítő nem a tervezettnak megfelelő hatásfokkal működik, illetve hogy a várt hatásfokot csak a teljes begyökeresedés (3 év) után fogja elérni.

Az **utótisztító tó** hivatott a maradék szerves anyag lebontásra, és a maradék ammónia kilevegőztetésére. Az adatok alapján megállapítható, hogy a tisztítási hatásfokot tekintve a KOI érték szűrt minta esetén felel meg közelítőleg a tervezett értéknek, a BOI₅ érték kismértékben marad alul a tervezetthez képest (mintegy 3 %-kal), az ammónia eltávolítási hatásfok azonban jelentősebben alulmarad a tervezetthez képest (18 %-kal).

Az utótisztító tóban nyáron elszaporodnak az algák. Ezek ugyan oxigént termelnek, ami segíti a nitrifikációs folyamatokat, de a bennük lévő szervesanyag tartalom rontja az elfolyó tisztított víz minőségét. Az új határérték rendelet előírja, hogy tavas szennyvíztisztítás után vett vízmintákat a vízminőségi vizsgálatokat megelőzően szűrni kell (az utótisztító tó révén ez itt is alkalmazható), azonban a szüretlen víz összes lebegőanyag koncentrációja nem haladhatja meg a 150 mg/l-t. Esetünkben ez az érték 61,9 (kétéves átlag 1999-2000).

Ami a bakteriológiai tisztulást illeti elmondható, hogy a nádágyak azt jó hatásfokkal elvégzik. A nádágyból elfolyó vízben a koliform baktériumszám a nyers szennyvízéhez képest átlagosan mintegy 98 %-kal lecsökkent, a befogadóba engedett, a stabilizációs tavn is keresztülment tisztított vízben a mért tisztulás átlagos mértéke már meghaladta a 99,5 %-ot is.

3.4.6. Üzemeltetési feladatok

A szennyvíztisztító telep üzemeltetését 1 fő másodállású telepkezelő végzi. Az ilyen jellegű telepeknél folyamatos a változás mindaddig, amíg a gyökérszóna teljesen ki nem alakul. Ebben a szakaszban még szükséges a tervezők általi rendszeres ellenőrzés és utasítás. A teljes gyökérzet 2–3 év alatt alakul ki, ekkor éri el a telep a tervezett kapacitásnak megfelelő teljesítő képességét.

A kámi szennyvíztisztító telep esetében ez az ún. átgyökeresedési folyamat lassabban megy végbe, mert a talaj kötöttebb, nem ideálisak a feltételek a nád számára. A medencékből vett talajminták is azt mutatták, hogy a felső rétegek vizesek, az alsó rétegek csak nedvesek voltak. Az átgyökeresedési folyamatot a medencék időszakos kiszáritásával lehet elősegíteni, mert a nád gyökerei a vizet keresve lefelé fognak nőni. A kiszáritást akkor lehet elkezdni, amikor a nádnövény már kifejlődött, kizöldült, és elérte a megfelelő magasságot (március-május). Két-két nádágy kiszáritását végzik egyszerre. A nád teljes begyökeresedéséig (amíg az el nem éri a fenékfóliát) lehetőség szerint minden nádágy sorra kerül minden évben. A kiszáritás menete a következő: 1) a vízutánpótlás megszüntetése,

- 2) a medencékben lévő víz leeresztése,
- 3) a medencék egy ideig szárazon tartása,
- 4) majd ezután a medencék feltöltése.

A *vízutánpótlás megszüntetése* az elosztó aknában a bevezető csövek elzárásával történik, fadugó segítségével. Ezután kezdik meg a *medencékben lévő víz leeresztését*. Ezt a folyamatot körültekintően kell végezni, az ellenőrző aknában lévő flexibilis csövek láncszemenkénti leeresztésével. 2 naponként eresztenek le kb. 5-6 cm-t. A hirtelen leeresztés káros kimosódásokat okozna, és káros áramlási útvonalak alakulnának ki a gyökértérben. A leeresztő csövet teljesen le kell engedni. A kiszáritási időszak (*száraz periódus*) 6 hét. Ennyi idő már elegendő ahhoz, hogy a gyökérzet lefelé történő növekedése meginduljon, és egy bizonyos mélységet elérjen. További kiszáritás a nádnövény károsodásához vezetne. A száraz periódus befejezése után történik a medencék újbóli *vízutánpótlásának* megindítása. Egyidejűleg az ellenőrző aknában lévő szintszabályzó csöveket felső állásba kell

helyezni, ami a medence felszíne alatt 10 cm-es szintet jelent. Ekkor a *medencék feltöltődéséig* nincs elfolyás a medencéből.

A tisztító telepen, az egyik legfontosabb üzemeltetési feladat a nádágokban lévő vízszintek szükség szerinti beállítása. Ez nem csak a leürítés, illetve a feltöltés időszakában történik, hanem szinte folyamatos állítgatást jelent. A nádágok hidraulikai tulajdonságai nem azonosak, nem lehet pontosan azonos mennyiséget ráereszteni a nádágokra. Folyamatosan ellenőrizni kell a nádágokból elfolyó víz mennyiségét. Legfontosabb alapelv, hogy a nádágokról mindig történjen elfolyás, hogy pangó vizek ne keletkezessenek. Nyáron a párolgás miatt lecsökken a vízszint, ilyenkor a szabályozó csövet is lejjebb kell tenni az áramlás fenntartására. A nádágokról elfolyó víz folyamatos szemrevételezésével megállapítható a minőségromlás. Ekkor két eset lehetséges: műszaki hiba vagy túlterhelés.

Műszaki hiba lehet a bevezető dréncső feliszapolódása következtében fellépő dugulás, ekkor a bevezető kórákatban a felszínre kerül a víz és a felszínen halad tovább, ami esetleges ún. "hidraulikai rövidzárlathoz" vezethet. Ebben az esetben a bevezető dréncsöveket át kell mosatni.

A minőségromlás másik oka lehet, hogy a nádágok több vizet kapnak, mint amennyit a biológiai lebontáshoz szükséges idő alatt át tudnak engedni. Ebben az esetben az osztóműtárgyakban elhelyezett ún. "billegőket" kell beszabályozni. A próbaüzem alatt több ízben megfigyelhető volt, hogy a nádágokra jutó szennyvízmennyiség szabályozásával a kívánt tisztítási mérték beállítható.

3.4.7. A klimatikus viszonyok hatása a működési hatásokra, téli üzem

A létesítmény télen is üzemzavar nélkül üzemelt. A nádágok felszíne befagy, de a felszín alatt a lebontási folyamatok zavartalanul folynak. Mivel a telep méretezése téli üzemmódra történik, a mérési eredmények különösebb eltérést nem mutattak a téli és a nyári időszakok között. Bár a biológiai folyamatok a hőmérséklet csökkenésével lelassulnak, de számottevő eltérést nem tapasztaltunk. A mérési eredmények alapján a legkedvezőbb időszak a tavasz, és az ősz. Nyáron az utótisztító tó algásodása és a vízpangás okoz minőségromlást.

3.4.8. Módosítások, technológiai-hidraulikai ellenőrző számítások

Az **előülepítő**ként funkcionáló háromkamrás oldómedence méretezését 1,5 napos tartózkodásra kell elvégezni, mivel itt csak az üleptető szerepet kell betöltsse, az "oldó" funkció itt nem szükséges, sőt nem is kívánatos.

Az **utótisztító tavat** az átfolyási idő szerint méretezzük. Az utótisztító tavakat általában 1-2 m-es vízmélységgel és 1-5 napos átfolyási idővel méretezik. Rövidebb átfolyási idővel, elsősorban a leülepedő anyagok visszatartásával és a koncentrációkiegyenlítéssel még jó hatás érhető el. Ha tápanyag visszatartás, és csíraszám csökkentés a cél, akkor 2 napnál hosszabb átfolyási időt kell választani. Ez esetben azonban számítani lehet a nemkívánatos algaszaporulattal.

15. táblázat A tervezett és tényleges értékek összefoglalása:

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység	Érték, koncentráció	
			Tervezett	Tényleges
ALAPADATOK				
Lakos-egyenérték	LE	fő	500	413
Fajlagos szennyvíz mennyiség	q	l/fő.d	154	97
Napi szennyvíz-mennyiség	Q	m ³ /d	77	40
Nyers szennyvíz minőségi adatai				
KOI _k koncentráció	KOI _k	g/m ³	800	797,6
BOI ₅ koncentráció	BOI ₅	g/m ³	350	402,7
NH ₄ -N koncentráció	NH ₄ -N	g/m ³	80	104,5
Fajlagos KOI _k terhelés	c _k	g/fő.d	-	77,2
Fajlagos BOI ₅ terhelés	c _b	g/fő.d	54	39
Fajlagos NH ₄ -N terhelés	c _a	g/fő.d	-	10,1
NH ₄ -N / összes N arány	-	%		83
KOI _k / BOI ₅ arány	-	-		1,98
Előülepítő adatai				
Térfogat	V	m ³	120	120
Mélység	H _ü	m	4,0	4,0
Tartózkodási idő	t _ü	d	1,5	3
Felületi terhelés	s	m/d	2,56	1,3

15. táblázat folytatása

Megnevezés	Jelölés	Mérték- egység	Érték, koncentráció	
			Tervezett	Tényleges
Talaj minőségi jellemzői				
Hézagtenyező	p	-	0,45	0,147
Vízvezető képesség	k	m/s	$1,45 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
BOI5 lebontó kapacitás	K	1/d	0,245	0,147
Fajlagos oxigénbevitel	q _{ox}	g/m ² .d	12,0	7,5
Medence geometria				
Mértékadó mélység	H _m	m	0,6	0,6
Medencefenék lejtése	I	%	1,0	1,0
Medence szélesség	B	m	16,0	16,0
Medence hossz	h	m	23,5	23,5
Medencék száma	-	db	8	8
Összes nádfelület	F	m ²	3000	3000
Fajlagos felület	f	m	6,0	7,3
Medencénkénti vízhozam	Q _m	m ³ /d	9,63	5,0
Tartózkodási idő	t _m	d	10	18

Az utótisztító elemek méretezési adatai az összehasonlító táblázatban nem szerepelnek, mert más a tervezett, és más a megvalósított állapot. Tervezve érdesített lapburkolattal ellátott utótisztító árok lett, míg megépítésre gyűjtőárkok és utótisztító tó került.

Az ellenőrző méretezést végigvezetve, látható, hogy a tervezettnak megfelelő műszaki adatokkal megépített létesítmények teljesítése a tervezettől eltérő. Ez az előüleptető műtárgynál a kevesebb beérkező szennyvízmennyiség miatti hosszabb tartózkodási idő miatt van.

A nádágyságok esetében is a kevesebb szennyvíz hosszabb ideig tartózkodik a medencékben. Ez nem lenne probléma. Itt a kisebb teljesítő képesség abból adódik, hogy a medencékbe betöltött talajkeverék kötöttebb, rosszabb vízáteresztő képességű, mint a tervezett, kisebb a hézagterfoga. A betöltött föld inhomogén, a különböző zónákban más, és más baktérium-törzsek szaporodnak el, és ez kedvezőtlenül befolyásolhatja a talaj biológiai lebontó képességét, amely szintén kisebb, mint a tervezett.

3.4.9. A kámi szennyvíztisztító telep költségeinek alakulása

3.4.9.1. Beruházási költségek

A kámi szennyvíztisztító telep beruházási összege 1998 évben ÁFA nélkül 32 millió Ft, a teljes beruházási költség 38,85 millió Ft volt.

A telepet 500 lakosegyenértékre, és 77 m³/d kapacitásra tervezték. A lakosegyenértékre vetített fajlagos költség: 64 000 Ft/ LE, míg a szennyvízmennyiségre vetített fajlagos költség: 415 600 Ft/m³.

3.4.9.2. Üzemeltetési költségek

Az üzemeltetés költségei legnagyobb részét a telepkezelő bérköltségéből, a laborvizsgálatok költségéből és az iszapelszállítás költségéből tevődnek össze.

A kámi szennyvíztisztító telepet a kámi önkormányzat üzemelteti. Az önkormányzat a költségeket teljesen a költségvetéséből finanszírozva évente kb. 1,0 millió forintot fordít a szennyvíztisztító telep működtetésére.

3.5. A telep működésének környezetvédelmi értékelése

Az e fejezetben végzett környezetvédelmi értékelést ugyan konkrét telep vizsgálata nyomán végzem, ugyanakkor főként a technológia értékelésére törekszem elvonatkoztatva a vizsgált telep méretezése kapcsán, illetőleg az üzemeltetés során a tervezettől eltérő körülmények folytán fellépő hiányosságoktól.

3.5.1. A telep működésének részletes környezetvédelmi értékelése

Az értékelést a „ Szennyvíztisztítási technológiák környezetvédelmi értékelésének alapjai” című fejezetben tárgyalt szempontok szerint végeztem.

- 1) Az elfolyó víz minőségét vizsgálva azt tapasztalható, hogy a nádágak tisztítási hatásfoka a legtöbb szennyező anyag esetében megfelelő, az ammónia és a KOI tekintetében marad el némelyest a kívánt szinttől, de ez a nádágak után kapcsolt

kiegészítő műtárgyakkal pl. stabilizációs tóval, oxidációs árokkal, foszfátmentesítő árokkal, esetleg utólevegőztetés beiktatásával, vagy a későbbiekben tervezett változtatásként az előbbiek helyett a víz szikkasztócső-hálózatba vezetésével megoldható. A kámi szennyvíz némely, az átlagostól eltérő paramétere is megnehezítette a tisztítást, ilyen pl. a telepre vezetett szennyvíz szokatlanul magas ammónia, és detergens tartalma. Ezenkívül megjegyzendő, hogy a kámi telepnél felhasznált talajkeverék az ideálisnál kötöttebbre sikerült, ami nagyban megnehezíti a nádak a talaj gyökerekkel történő átszövését, így rontva a tisztítás kezdeti hatásfokát. A telep a tervezett tisztítási kapacitását ideális esetben is az üzembehelyezéstől számított kb. 3 év múlva éri el, a kámi telep esetében ez még több időt vesz igénybe.

A patogének szennyvízből történő eliminációját tanulmányozva azt tapasztalták, hogy az ilyen vízszintes áramlású rendszerből valamennyi vizsgált patogén eltávolítása többé-kevésbé végbement. Ebben a nádgyökerek által kiválasztott gyökérnedvek baktericid hatása is szerepet játszhatott. A vizsgálatok szerint a nádas szennyvíztelep baktérium eltávolítási hatásfoka jobbnak mutatkozott (a koliform baktériumszám átlag kb. 99,5 %-al csökken), mint az eleveniszapos szennyvíztisztításé, jellemzően 2-3 nagyságrenddel képes csökkenteni a rendszer a szennyvíz baktériumtartalmát, bár a fertőtlenítés 10⁵-10⁶ nagyságrendű hatásfokát nem éri el, és az előírt határértékeknek sem teljesen felel meg, ám az illetékes ÁNTSz az eredményeket mégis jóváhagyta.

Tehát a rendszer megfelelő méretezést és kivitelezést feltételezve, megfelelő előülepítéssel ellátva, és a befogadó érzékenységtől valamint a beérkező szennyvíz minőségétől függően megfelelő utótisztító elemek beiktatásával a beüzemelési időszak leteltével képes a tőle elvárt tisztítási hatásfokot teljesíteni.

A tisztított víz befogadóba engedése folyamatos, így abban ebből eredő terhelésingadozások nem lépnek fel.

- 2) A technológiai műveletek közben mindössze az előülepítőben keletkezik melléktermékként iszap, illetve rácsszűrő alkalmazása esetén rácsszemét. Ezek összetétele az átlagos kommunális szennyvizekéhez hasonló, így kezelésük is hasonló módon valósulhat meg. A keletkező szennyvíziszap fajlagos

mennyisége kicsi, hiszen a tisztulás nagyrészt a nádágyakban megy végbe, nem pedig bakteriális pehelyképzés formájában, mint a legelterjedtebb eleveniszapos rendszerek esetében.

- 3) A tisztítási technológia során megfelelően működő telepnél jelentős szaghatás nem lép fel, magában a nádágyban pedig szinte egyáltalán nem, ugyanis a Kickuth-féle technológia nádágyaiban a víz szintje nem emelkedik a talaj felszínétől számított 10 cm fölé. Ebben az esetben a biológiai lebomlás a gyökérszónában zajlik le, a talaj anaerob zónáiban képződő kén-hidrogén az aerob zónákon áthaladva oxidálódik. A szennyvíz a nádágyba illetve onnan történő elvezetése alagcsövön keresztül történik, az előületítő medence fedve van. (A kámi telepen időnként tapasztalt bűz a rosszul működő előületítő tartályból származott, az oka pedig a tervezettnél jóval kisebb szennyvízterhelés okán megnövekedett tartózkodási idő, és az emiatt berodhadt iszap volt.)
- 4) A Kickuth-féle technológiát alkalmazó telep semmiféle külső energiát nem igényel, a víz átvezetése, szétosztása, összegyűjtése stb. gravitációs úton, a vízszint szabályozása a kivezető csövek magasságállításával kézzel történik. A lebomlás mikrobiális úton történik, az oxigénbevitelről a nád gondoskodik.
- 5) A technológia illetve a tisztító telep a talajkeverékbe igény szerint adagolt agyagon és humusztartalom javító anyagokon kívül semmiféle adalékanyagot a működése során nem igényel, bár nagyon érzékeny befogadó vagy magas szennyező anyag tartalmú szennyvíz esetén kiegészíthető bármilyen kémiai utókezeléssel.
- 6) Ezen technológián alapuló telepek a 4. pontnál tárgyalt okból nem alkalmaznak mozgó gépi berendezéseket, tehát zajterhelést egyáltalán nem okoznak.
- 7) A telepen áthaladáskor a szennyvíz a talajjal a tisztulást megelőzően nem érintkezik: a szennyvíz zárt vezetéken érkezik, a nádágy, a tó és az oxidációs árok fóliával szigetelt, az ületítő medence valamint az ellenőrző akna vízzáró betonból készül. Ily módon a talaj vagy a talajvíz nyers szennyvíz általi szennyezése kizárható.
- 8) A nádágyak rendkívül jól beilleszkednek bármilyen tájképbe, a nádas látványa sehol sem hat idegenül, a tisztító telep egyéb berendezései pedig döntően a

földbe süllyesztve helyezkednek el. Tehát ilyen technológiájú tisztító telep létesíthető akár még természetvédelmi, tájvédelmi területen is.

A szükséges területnagyság a kiszolgált lakosság méretével egyenesen arányos. A Kickuth-féle nádgyökerteres eljárást alkalmazó tisztító telepeket döntően kis települések, üdülőtelepek, vagy néhány kistelepülés együttes kiszolgálására létesítik, ezen esetekben pedig kis méreténél fogva is könnyen elhelyezhető.

- 9) A technológia nem érzékeny az akár hirtelen kismértékben megnövekedett szennyvízhozamokra, szennyezőanyag koncentrációra. Alapvetően kommunális eredetű szennyvizek kezelését végzi, melyek hozama elválasztó rendszerű csatornahálózat esetén (a vizsgált telepen is ilyen működik) viszonylag állandónak mondható és jól tervezhető. A rendszerben érvényesül a természetes önszabályozás – lévén komplex ökológiai rendszer –, mely bizonyos határokon belül kivédi az ingadozások hatását. (A tervezettnél jelentősen kisebb hozam okozhat problémát az előülepítő működésében, de ez megfelelő méretezéssel kivédhető.)
- 10) A technológiát alkalmazó tisztító telep a téli időszakban is eredményesen üzemeltethető, mivel a lebomlás a talaj felszíne alatt zajlik, a szárán hagyott nádas illetve a lehullott leveleinek hőszigetelő hatása, a biológiai bomlás során képződő hő, és a folyamatosan áramló víz együttes hatására – ha kisebb intenzitással is – de végbemegy a lebomlás. Télen a megfelelő határfokú tisztuláshoz fajlagosan nagyobb nádas felületre van szükség, ez azonban a lakosegységenkénti 5 m² -es értékbe bele van számítva.

3.5.2. Végső következtetés

Mindezeket összegezve elmondható, hogy a vízszintes átfolyású nádágy egy igen sok környezetvédelmi kritériumnak kiválóan megfelelni képes tisztítási technológiai elem. Noha nem minden szennyező anyag esetén éri el a kívánt tisztítási határfokot, azonban más jól megválasztott utótisztító elemekkel kiegészítve ez korrigálható, és azokkal egy rendszerben alkalmazva megfelelő határfokkal üzemeltethető.

4. Összefoglalás, javaslatok

A környezet, és ezen belül élővizeink állapotának javítása fontos célkitűzés Magyarországon is, mind a természetes ökoszisztémák megőrzése, mind az emberi életkörülmények javítása céljából. Ennek mielőbbi megvalósítását teszi még sürgetőbbé hazánk Európai Unió csatlakozásával járó vállalásai. A szennyvíztisztítás színvonala és élővizeink minősége között szoros összefüggést kell látnunk.

Az elmúlt évtizedekben végrehajtott költséges szennyvíztisztítási beruházások többnyire csak a nagyobb városokat érintették, ugyanakkor adósok maradtunk a kisebb települések szennyvízkezelési gondjainak megoldásával. Márpedig egy kis lakosságszámú, kis költségvetésű önkormányzat számára csak valamilyen kis beruházással megvalósítható, és egyszerűen, kis költséggel üzemeltethető szennyvíztisztító telep lehet elérhető. Ehhez ezen szempontoknak eleget tevő, ugyanakkor hatékony tisztítási technológiára van szükség. Diplomamunkám célja, hogy erre a problémára egy máshol már bevált technológia ismertetésével, illetve annak hazai meghonosításaként létrehozott tisztító telep működési tapasztalatainak bemutatásával keressek megoldást. Ez a Kickuth-féle nádgyökerteres szennyvíztisztítási technológia, melynek vizsgálatát a technológia meghonosítását és a telep tervezését végző ÉLŐVÍZ Kft. és az üzemeltetést irányító HIDROTERV Bt. közreműködése tette számomra lehetővé, illetve munkám során támaszkodtam még az Országos Környezetvédelmi és Vízügyi Főigazgatóságnak a természetközeli vízínövényes szennyvíztisztítási technológiák működéséről, és a növények bennük betöltött szerepéről készült tanulmányára is.

Munkám első felében áttekintettem a szennyvíztisztítás környezetvédelmi szerepét, a jelenleg ismert szennyvíztisztítási eljárásokat, illetve megpróbáltam képet alkotni a szennyvíztisztítás hazai helyzetéről, majd részletesen foglalkoztam az általam vizsgált technológia és az azt alkalmazó konkrét tisztító telep bemutatásával, illetve működésének tapasztalataival, elsősorban a hatásfok

tekintetében. Ennek során igyekeztem rámutatni a rendszer előnyeire és a vizsgálat során tapasztalt hiányosságaira egyaránt.

A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a Kickuth rendszer alapját képező vízszintes átfolyású nádágy beváltotta a hozzá fűzött reményeket, képes a tőle elvárt tisztulást megvalósítani, a probléma inkább a rendszer egyéb elemeinek működésével van, és végső soron ezek korlátozzák a rendszer által elérhető hatásfokot, így ezek módosításával lehetne a legtöbbet javítani a tisztítási színvonalon.

A tapasztalati adatok és a gazdasági számítások alapján a Kickuth-féle nádgyökérteres eljárás az alábbi fontosabb előnyökkel rendelkezik:

- a művi szennyvíztisztításhoz képest a beruházási költségek 40-60 %-kal alacsonyabbak;
- a település fejlődésével arányosan a telep kapacitása bármikor rugalmasan bővíthető, netán szűkíthető;
- alacsonyak a karbantartási és üzemeltetési költségek, mert a technológiában nincsenek energia igényes mozgó gépi berendezések, és az üzemeltetése rendkívül egyszerű;
- ugyanezen oknál fogva a telepek semmiféle zajt nem keltenek, külső energia bevitelt nem igényelnek;
- a rendszer élettartama hosszú, és nagy a megújuló képessége;
- szaghatása elhanyagolható, mivel a szennyvíz zárt vezetéken jut el a nád gyökérzónájába, ahol a lebomlás szintén a földfelszín alatt megy végbe;
- a rendszer a téli hideg időszakban is eredményesen üzemeltethető;
- nagy a rendszer stabilitása, jól tolerálja újfajta szennyező anyag megjelenését köszönhetően a komplex ökoszisztéma nagy diverzitásának és önszabályozó képességének;
- rendkívül jól a tájba illeszthető, akár természetvédelmi területen is alkalmazható.

A vizsgálat során feltárt főbb hiányosságok:

- a nádágyak ammónia eltávolító képessége nem megfelelő, az ennek ellensúlyozására beiktatott stabilizációs tó pedig nyáron a nagyfokú algásodás miatt csak tovább ronthatja az elfolyó víz minőségét;

- a rendszer első eleme, az előülepítő érzékeny a tervezetthez képest kisebb szennyvízhozamra, ami jelentős szaghatást eredményezhet, sőt ronthatja a nádágyakba kerülő víz összetételét pl. ammóniatartalmát;

Az előbbieket kivédésére javasolható megoldások:

- A stabilizációs tó vagy oxidációs árok helyett alkalmazható pl. szikkasztócső-hálózat, így az algásodás kivédhető lenne, és a még vízben lévő szennyező anyagok a talajban hasznosulhatnának.

- Az előülepítőből több kisebb kapacitásút létesítve, és azokat párhuzamosan üzemeltetve, a szennyvízhozam változásától függően le- vagy rákapcsolva elkerülhető lenne a kezdeti kisebb szennyvízhozam miatt megnövekedett tartózkodási idő okozta berothadás, és az ennek következtében kialakuló szaghatás.

A növényi tisztító berendezések gyakran állnak a szakmai viták középpontjában, nem csak nálunk, hanem külföldön is. A jelenlegi hatások mellett törekedni kell ezek továbbfejlesztésére, és ebben az összefüggésben még egy sor vizsgálat válik szükségessé, hiszen itt is, mint a többi hasonló technológiájú magyarországi telepnél nagyon kevés mérési eredmény áll rendelkezésre. A további elemzésekhez fontos lenne egy átfogó felmérés készítése az összes vízinövényes szennyvíztisztítóról. Európai felzárkózásunkhoz szükséges, és környezetvédelmi szempontból is sürgető feladat a csatornázás és szennyvíztisztítás magas színvonalon történő megoldása, melyre ezen rendszerek segítségével a kistelepülések esetén is mód nyílna.

Irodalomjegyzék

- Balogh J. A., Megyeri M., 2004, Természetközeli szennyvíztisztítási technológiák vízminőség-szabályozási aspektusai-tanulmány, Országos Környezetvédelmi és Vízügyi Főigazgatóság
- Barótfi I. (Szerk.), 2000, Környezettechnika, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 348.
- Benedek P. (Szerk.), 1989, Víz tisztítás-szennyvíztisztítás zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Bp.
- Benedek P. (Szerk.), 1990, Biotechnológia a környezetvédelemben, Műszaki Könyvkiadó, Bp., -283.
- Csapóné Felleg Á., 2000, Települési környezetvédelem, KVM-Környezetgazdálkodási Intézet, Bp., -174.
- Förstner, U., 1993, Környezetvédelmi technika, Springer Hungarica Kiadó, Bp., -451.
- Juhász J., 1977, Víz tisztaságvédelmi módszerek és berendezések, Tankönyvkiadó, Bp., -162.
- Kerényi A., 1991, Környezetvédelem, Tankönyvkiadó, Bp.
- Kerényi A., 1995, Általános környezetvédelem, Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged, -383.
- Kerényi A., 2003, Környezettan, Mezőgazda Kiadó, Bp.
- Domokos S., Forgács J., Kopasz M., Kovács N., Tóth A., (Szerk.), 1999, Környezetvédelmi alapismeretek, KöM-Környezetgazdálkodási Intézet, Bp., -310
- Öllős G., 1992, Szennyvíztisztítás I., Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktovábbképző Intézet, Bp.
- Öllős G., 1993, Szennyvíztisztítás II., Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktovábbképző Intézet, Bp.
- Beliczay E., Bulla M., Vári A. (Szerk.), 1994, Magyarország környezeti jövőképe, MTA-Társadalmi Konfliktusok Kutató Központja, Bp., -96
- Pálfalvy Z., 2001, A Kickuth-féle nádgyökértéri szennyvíztisztítás általános sajátosságai, technológiája és költség előirányzatai-termékismertető, ÉLŐVÍZ Kft.

- Pártosi F., 2002, A gyökértéri szennyvíztisztítás alkalmazási tapasztalatai – szakdolgozat, Eötvös József Főiskola, Műszaki Fakultás, Vízellátás-Csatornázási Tanszék, Baja
- Randolf, R., 1976, Mit tegyünk a szennyvízzel, Mezőgazdasági Kiadó, Bp., -126.
- Sántha A., 1996, Környezetgazdálkodás, Nemzeti Tankönyvkiadó, Bp., -348.
- Takács Z., 2001, Organica Élőgépek-negyedik generációs biológiai szennyvíztisztítás, Vízellátás-csatornázás, IV. (67), 64-66.
- Tamás J., 1998, Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés, DATE, Debrecen
- Vermes L., 1998, Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás, Mezőgazda Kiadó, Bp. –191.
- Vermes L. (Szerk.), 1997, Vízgazdálkodás, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp., -395.

Internet:

gisserver1.date.hu/tamas/szennyvizjegyzet

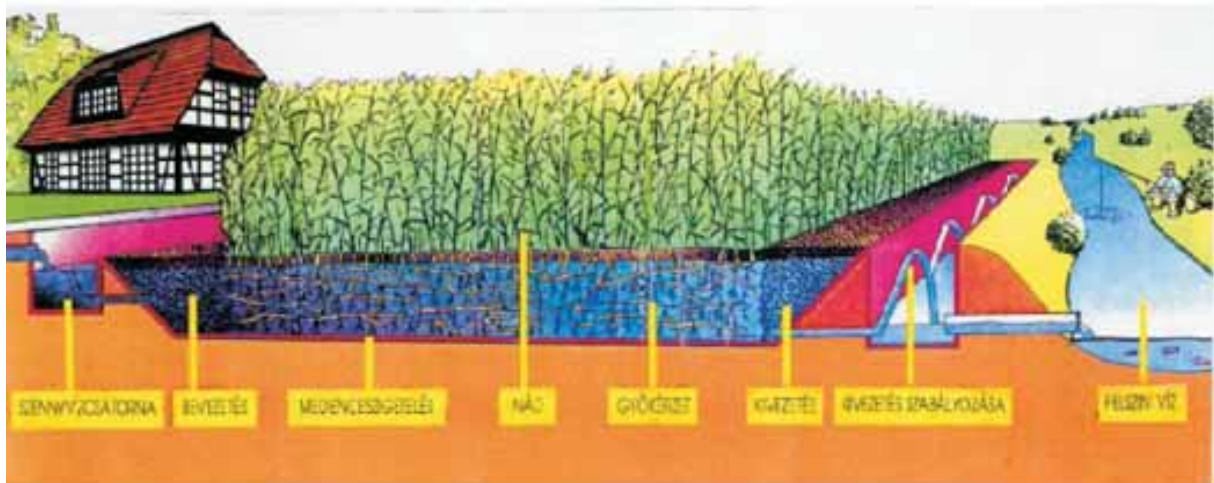
www.kvvm.hu/korny/allapot

www.foek.hu/korkep

Köszönetnyilvánítás

Ezúton is szeretném megköszönni Pártosi Ferencnének (HIDROTERV Bt.),
Dr. Pálfalvy Zoltánnak és Dr. Gampel Tamásnak (ÉLŐVÍZ Kft.)
diplomamunkám megszületéséhez nyújtott segítségüket tanácsaikat,
mellyel mindvégig támogattak.

Melléklet I.



2. Ábra A Kickuth-féle nádgyökérteres szennyvíztisztító felépítése (forrás: www.foek.hu)



1. Kép A nád rizómáinak szövedéke a talaj-mátrixban



2. Kép Nádgyökérzónás szennyvíztisztító telep Németországban (forrás www.foek.hu)

Melléklet II.



3. Kép Kacorlak község szennyvíztisztítója a telepítést követően...



4. Kép ...és két évvel a telepítés után (forrás www.foek.hu)



5. Kép A mesterséges nádas jól tájbailleszthető