

JAVASLATOK A KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZTISZTÍTÁS ÉS A SZENNYVÍZISZAP KEZELÉS FEJLESZTÉSÉRE

Dr. Takács János¹, Sallai Ferenc², Lipták Miklós³
Egyetemi docens¹, Műszaki titkár², Ph.D hallgató³

ME Eljárástechnikai Tanszék¹, ÉMI-KTVF Miskolc², ME Gázmérnöki Tanszék³

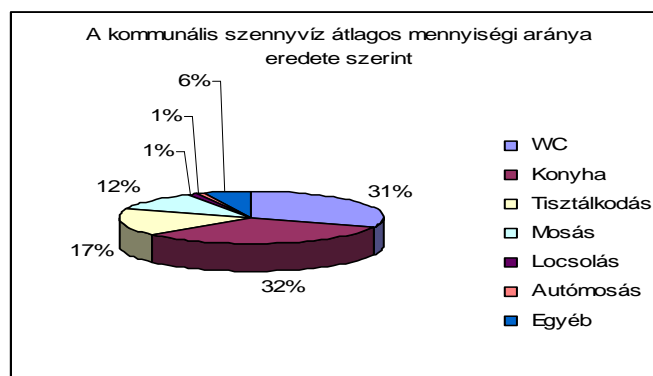
1. BEVEZETÉS

Az élet fenntartásához az egyik legszükségesebb anyag a víz. A vízfelhasználás következménye pedig a szennyvíz. Ezek közé tartozik a kommunális szennyvíz, mely az emberi élet során folyamatosan keletkezik, azaz mindennapi életünk része. Mennyisége és minősége ingadozó, az emberi életvitel, és táplálkozási szokások függvénye, de erősen befolyásolja a keletkezett szennyvíz összegyűjtési és elszállítási módja is.

A vizet szennyező anyagok veszélyessége miatt szükségszerű a kommunális szennyvíz jó hatásfokú tisztítása. A rómaiak már foglalkoztak a szennyvíz tisztításával, majd a történelmen végigvonuló, vízszennyezés okozta járványok (pestis, kolera, tífusz, hepatitisz, stb.) után az 1800-as évek közepe óta egyre nagyobb erőfeszítéseket tettek a kommunális szennyvíz tisztítására, annak hatékonyságának javítására. A tisztítás célja a közegészségi veszély nélkül befogadóba engedhető illetve újrahasznosítható tisztított víz, valamint megfelelő kezelés után értékes anyag tartalma miatt hasznosítható, ártalommentesen elhelyezhető kommunális szennyvíziszap előállítására.

2. A KOMMUNÁLIS SZENNYVÍZEK KÖRNYEZETI HATÁSAI, SZENNYVÍZTISZTÍTÁS

A kommunális szennyvíz általánosságban, a háztartásokban, szállodákban, éttermekben, különböző intézmények konyháiból, illemhelyeiből, mosdóiból kerül ki. Mennyiségét a szennyvízcsatornába jutó csapadék, locsoló- és öntözővizek valamint bizonyos ipari jellegű tevékenységek szennyvizei is növelhetik (1. és 2. ábra).

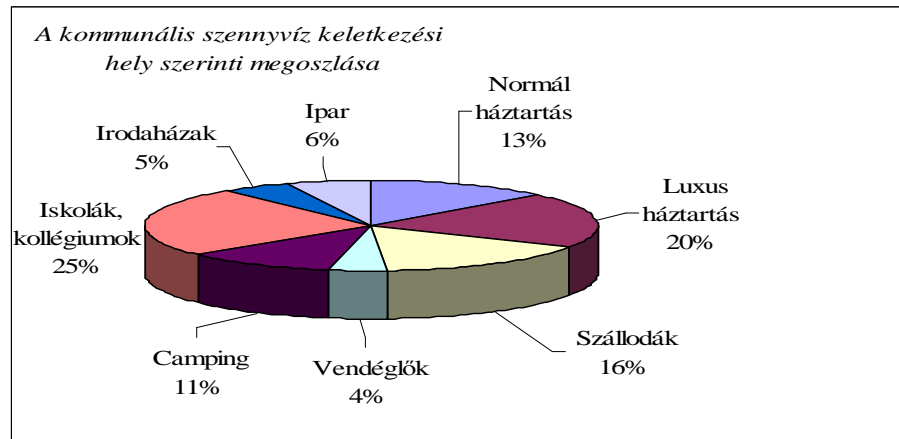


1. ábra

A kommunális szennyvíz átlagos mennyiségi aránya eredete szerint /3/

Az átlagos fajlagos vízfelhasználás a lakos-szám és összegyűjtött szennyvíz mennyisége alapján 60-250 dm³/fő/nap intervallum mellett 150 dm³/fő/nap értékkel jellemezhető. (városokban 80-120 dm³/fő/nap, kistelepüléseken 30-40 dm³/fő/nap a tényleges vízfogyasztás alapján számított érték). Minőségét a vízbe került szilárd és oldott szennyezőanyag (szerves és szervetlen) eredete, az ember életvitele, egészségi állapota, fegyelme, stb. nagymértékben befolyásolja, amit fizikai, kémiai, higiéniai paraméterekkel jellemezhetünk.

Legfontosabb fizikai jellemzők a hőmérséklet, szín, szilárdanyag (ezen belül ülepedő anyag) tartalom.



2. ábra

A kommunális szennyvíz keletkezési hely szerinti megoszlása /3/

A kémiai szennyezők között található az oldott szervetlen (sók, nehézfémek, tápanyagok – C, N, P vegyületek-), és szerves (peszticidek, oldószeres, festékek, zsírok, olajszármazékok, fehérjék, poliklórozott bifenilek, tenzidek, gyógyszer maradványok, stb.) anyagok, vegyületek, melyek komoly hatással bírnak a környezetre, különösen az emberre. Ezen anyagok táplálékláncbeli ökotoxikológiai szerepét jelenleg is kutatják.

A nagy tápanyag koncentráció a befogadó tisztaságát, élővilágát kedvezőtlenül befolyásolja (eutrofizáció, illetve az ivóvíz nagy nitrit, nitrát tartalom esetén methemoglobéniát, csecsemőhalált okozhat). A nehézfémek csak oldott formában toxikusak, az oldhatatlan fémvegyületek biológiailag inaktívak. Gondot jelenthet az, hogy ezek a vegyületek a körülmények megváltozásával, pl. a víz pH-jának változásával, aktiválódhatnak.

Az oldott szervesanyag sokfélesége miatt a szennyvizek a kémiai és biológiai oxigénigénnyel (KOI, BOI) jellemezhetők, azok mértékéből és arányából a szennyvíztisztítás jellegére, paramétereire, mértékére következtethetünk.

A szennyvíz és a szennyvíztisztítás tervezési alapadatait képező fontosabb átlagos fajlagos szennyezőanyag tartalmait az 1. táblázatban foglaltuk össze (szakirodalmi adatok).

1. táblázat
Az átlagos szennyvízhozam és a lakosság által termelt átlagos fajlagos szennyezőanyag értékek

Paraméter	Dimenzió	Fajlagos érték
Fajlagos szennyvízhozam, q	dm ³ /fő/d	150
Kémiai oxigénigény, KOI	g/fő/d	120
Biológiai oxigénigény, BOI	g/fő/d	60
Lebegőanyag, LA	g/fő/d	70
Összes nitrogén, öN	g/fő/d	12
Összes foszfor, öP	g/fő/d	2

A lakosság általi szennyezőanyag termelődés viszonylag kis szórással állandónak tekinthető, míg a fajlagos szennyvízhozam elég nagy szórást mutat (60-250 dm³/fő/nap). Ennek következtében a szennyvíz fajlagos szennyezőanyag koncentrációja is jelentősen eltérhet (pl. a KOI érték az említett szórást és a táblázat adatait figyelembe véve 2000 - 480 mg/l, míg a BOI értéke 1000 – 240 mg/l között ingadozik a szennyvízhozam függvényében).

Nehezen biodegradálható szennyezőanyagok: felhalmozódnak a környezetben, és a kritikus koncentrációt elérve toxikus hatást fejtenek ki. Egyéb kedvezőtlen hatások: pl. habzás, vízben oxigénátadás csökkenése.

Könnyen biodegradálható szennyezőanyagok: a mikrobiológiai folyamatok következtében az élővízben elfogy az oxigén (anaerobitás), ennek következtében halpusztulás, anaerob rothadás állhat elő. Nitrogén és foszfor vegyületek jelenlétében eutrofizáció alakul ki.

A higiéniai paraméterrel a szennyvízben lévő kórokozókra kapunk információt. A kommunális szennyvízben eredeténél fogva nagy mennyiségű, sokféle mikroorganizmus található. Közülük a legismertebbek és legveszélyesebb betegség okozók a baktériumok (pl. salmonellák stb.) a vírusok (pl. enterovírusok stb.), protozoák, valamint a különböző férgek (pl. fonalféreg, szívóféreg stb.), rovarok.

A szennyeződés jellegénél fogva a kommunális szennyvíz nem kellő mértékű tisztításával a befogadó minőségét, ezáltal a befogadó vizének hasznosíthatóságát negatívan befolyásolhatjuk, ugyanakkor komoly fertőzési forrást hozunk létre az ember számára.

A kedvezőtlen hatások miatt a szennyvizet megfelelő hatásfokú tisztításnak kell alávetni. Az első időkben a tisztítás mértékét annak hatásfokával jellemezték, majd ez követően a 28/1978 M.T. rendelet és a 3/1984.(II.7.) OVH számú rendelet rendelkezett a befogadóba vezethető tisztított víz szennyezőanyag koncentráció határértékéről. Az Európai Unióban 1991-től a 91/271 EGK Irányelv a meghatározó a tisztított szennyvíz befogadóba való bevezetésének feltételeként. A magyar és az EU-s követelmények eltértek egymástól. A magyar előírás területi kategóriaként, míg a 91/271 Irányelv a szennyvíztisztító telep kapacitása függvényében határozta meg a szükséges tisztítás mértékét (a kibocsátható szennyezőanyag koncentrációt). A hazai előírások EGK Irányelvhez történő harmonizációja eredményeként született meg a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet, mely a vízszennyező anyagok

kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól szól. A rendelet többek között a települések szennyvízelvezetésre és –tisztítására vonatkozó technológiai határértékeket is tartalmazza a kiépített terhelési kapacitás függvényében. A rendelet határértékek mellett tisztítási hatásfokot is elfogadhatónak tart (2. táblázat).

2. táblázat

A települések szennyvízelvezetésére és –tisztítására vonatkozó technológiai határértékek a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet szerint

Kiépített terhelési kapacitás (LE)	KOI _k		BOI ₅		Összes LA		öP		öN	
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	V.1-XI.15	XI.16-IV.30
									mg/l	mg/l
< 600	300	70	80	75	100	-				
601-2000	200	75	50	80	75	-				
2001-10.000	125	75	25	70-90	35	90				
10.001-100.000	125	75	25	70-90	35	90	2	80	15	25
> 100.000		75	25	70-90	35	90	1	80	10	20

A 10.000 LE alatti telepek a kibocsátható tápanyagtartalomra egyedi határértéket kaphatnak.

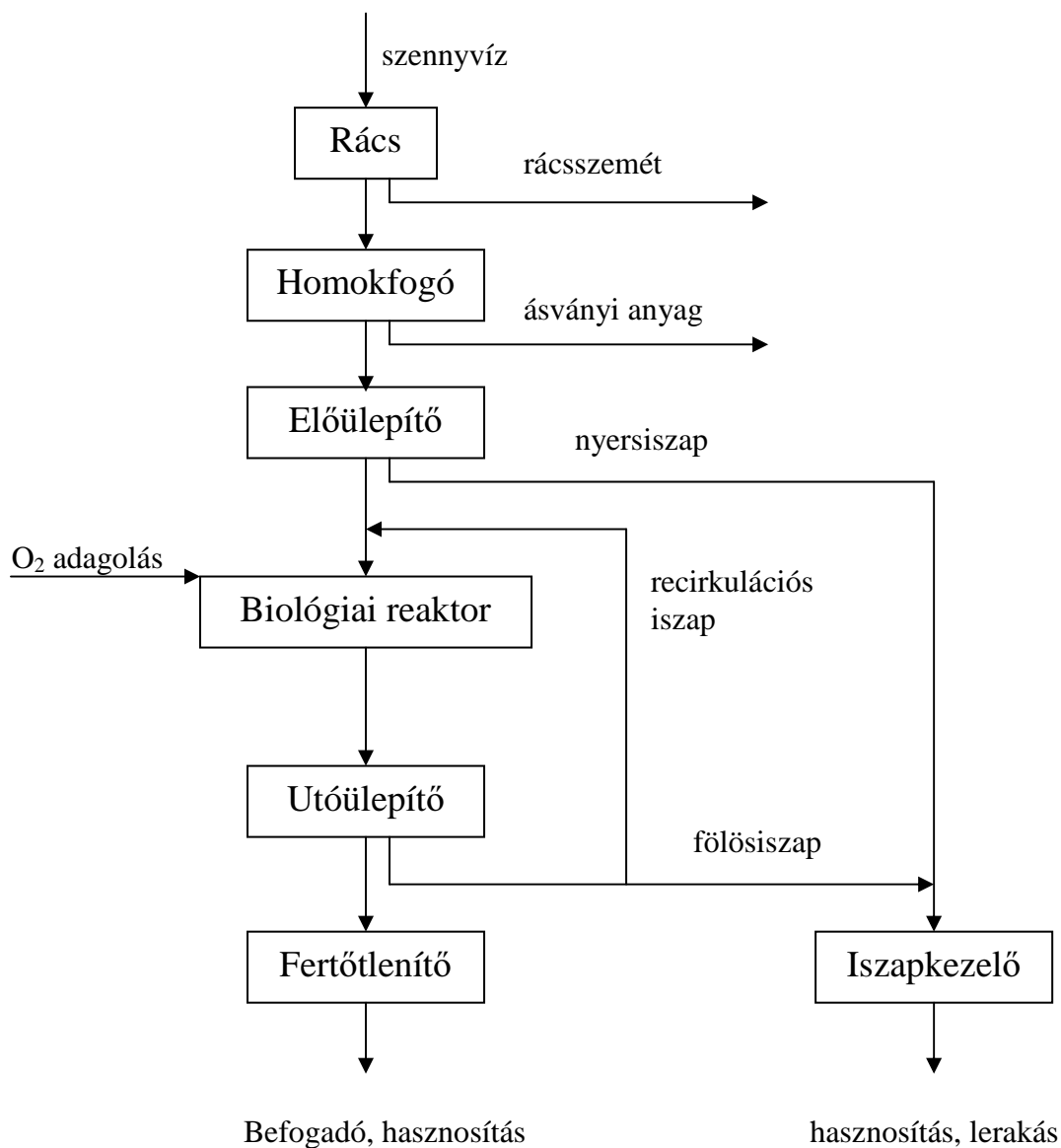
A szennyvizek tisztítása a szennyvíz mennyiségétől (LE), szennyezettség mértékétől, (szennyezőanyag típus, koncentráció), a befogadó tulajdonságaitól függ, azaz az említett paraméterek befolyásolják a betervezhető technológiákat, technológiai lépcsőket. Ezek közül a gazdaságosságot is figyelembe véve kell az alkalmazható tisztítási technológiát kiválasztani.

A klasszikus kommunális szennyvíztisztítási technológia sémáját mutatja a 3. ábra, amely sok esetben bővíthet a tápanyag-eltávolítással (kémiai, biológiai), illetve egyszerűsödhet a tisztítás hatásfokigényének megfelelően (pl. egy kis település szennyvizének tisztítási igénye esetében).

Magyarország településeinek közel egyharmada rendelkezik közműves szennyvízelvezetéssel (csatornázással). A lakossági ellátottság természetesen ennél jóval nagyobb, hiszen elsősorban a városok, nagyobb lakónépséggű települések csatornázottak. A csatornázás és szennyvíztisztítás jellemző mutatóit az Európai Unió tagországainak átlagával is összehasonlítva a 3. táblázat szemlélteti (a lakások százalékában).

Magyarországon a települési szennyvizek közcsatornán történő elvezetése az 1990-es évek elejére jelentősen elmaradt a fejlett európai országokétól. Az ellátottság a bekötött lakások tekintetében alig haladta meg a 40 %-ot, az elvezetett szennyvizeknek pedig több mint a fele gyakorlatilag tisztítás nélkül került a befogadóba.

A 4. diagram Magyarország szennyvízelvezetési és tisztítási helyzetéről ad átfogó képet, az Európai Unióba történő belépéskor.

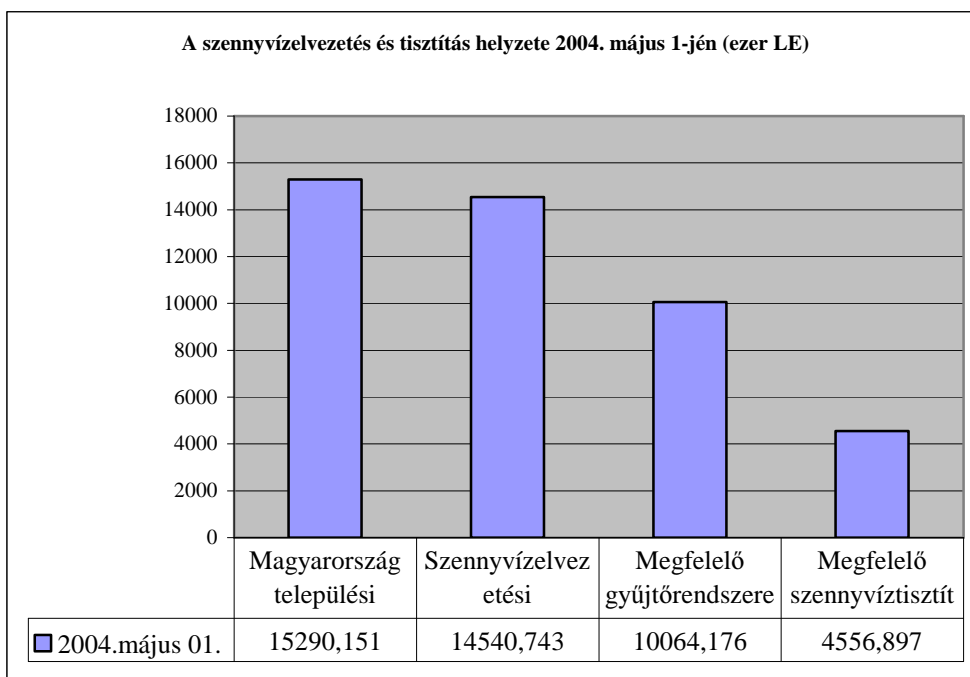


3. ábra
A kommunális szennyvíz tisztításának klasszikus törzsfája

3. táblázat
A csatornázás és szennyvíztisztítás adatai az EU tagországainak átlagához viszonyítva /3/

	összes lakásból csatornázott	csatornázottból szennyvíztisztításban részesül	összes lakásból szennyvíztisztításban részesül	Megjegyzés
Magyarország	*52%	66%	34%	1376. sz. statisztika
EU átlag	90%	80%	72%	becslés
Magyarország/ EU átlag	58%	82%	47%	számítás

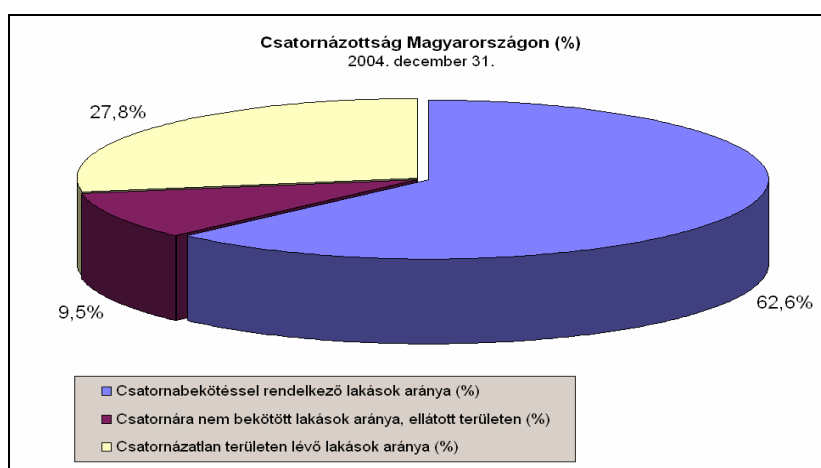
*További 11% mintegy 450 000 lakás számára biztosított a bekötési lehetőség.



4. ábra

A szennyvízelvezetés és tisztítás helyzete 2004. május 1-én (ezer LE) /4/

Az alábbi, 5. ábra Magyarország különböző település típusainak szennyvízgyűjtő hálózattal való ellátottságát mutatja be 2004. december 31-én. Magyarországon a szennyvíztisztításban az elmaradás még a csatornázottságnál is nagyobb. Ennek oka egyrészt, hogy a csatornán összegyűjtött szennyvizek, mintegy harmada még mindig tisztítatlanul illetve csak mechanikai tisztítást követően kerül a befogadóba (azaz a szennyvíztisztítás hiányzik), másrészt, hogy a csatornázott településeinken kiépített biológiai szennyvíztisztító telepek sem működnek minden esetben megfelelően.

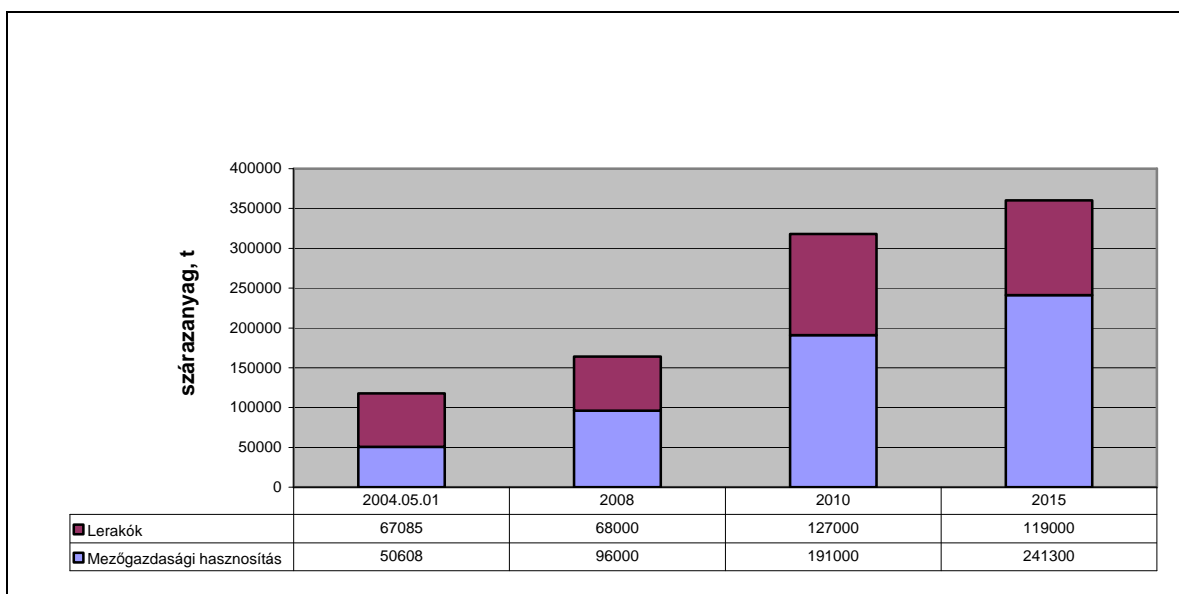


5. ábra

Magyarország csatornázottsága (%) 2004. december 31. /4/

A szennyvizek megfelelő tisztításának mellékterméke a szennyvíziszap. Ha a csatornába vezetett szennyvizek jogszabályoknak megfelelő minőségűek és a mai kor követelményeinek megfelelő tisztítás-technológiákat alkalmaznak, az iszap mezőgazdasági szempontból értékes szerves tápanyag, amelyet célszerűen vissza kell forgatni a termőtalajba.

A szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól az 50/2001. (IV.3.) Korm. rendelet rendelkezik. A mezőgazdasági felhasználás alternatívájaként számolni kell a jövőben az iszapok erdészeti, városgazdálkodási (kertészeti), illetve energiaültetvényeken való hasznosításával is. (Megjegyzendő, hogy a Korm. rendelet tiltja a szennyvíziszapok erdőben történő elhelyezését). Jelenleg Magyarországon a szennyvíz-iszapot nagyobb részt lerakókon helyezik el (6.ábra).



6. ábra

A szennyvíziszap elhelyezés és hasznosítási adatai (2004. május 1. állapot). /4/

Az adatokból jól látható a megoldandó feladat, amelyre a gazdaságosabb módszereket folyamatosan kutatni kell.

3. A SZENNYVÍZCSATORNÁZÁS ÉS TISZTÍTÁS HELYZETE BORSOD-ABAÚJ ZEMPLÉN MEGYÉBEN

Borsod megyében a közműves ivóvízellátás 99,7%-os, mely megfelel az uniós átlagnak. A csatornázottság aránya nem éri el az 50%-ot. A problémát fokozza, hogy a megye 357 települése közül több mint 200 fekszik sérülékeny környezetű, több mint 100 pedig fokozottan érzékeny üzemelő vízbázis területén. A kedvezőtlen helyzetet súlyosbítja az aprófalvas települések magas száma (83%).

A 2005-es adatok alapján a szennyvíztisztító telepre kapcsolt települések száma 49%, amennyiben a bekötött települések lakos számát vesszük figyelembe, a szennyvíztisztítóval rendelkező lakosok száma a megyénkben 68%.

A megye 357 települése közül 177 rendelkezik szennyvízcsatorna rendszerrel. Az üzemelő szennyvíztisztító telepek száma 49, amelyből biológiai tápanyag eltávolítással rendelkezik 29 telep. A telepek összkapacitása 220 000 m³. Elsősorban a kisebb lélekszámú települések szennyvíztisztításában van jelentős lemaradás.

4. A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS EU-NORMÁI

Az Európai Parlament és a Tanács 2000-ben elfogadta „A vízügyi politika területén a közösségi cselekvés kereteinek meghatározásáról” szóló 2000/60/EK Irányelve (Víz Keretirányelv). Célja, hogy vízgyűjtőszinten megvalósuljon a jó vízminőségi és elegendő vízmennyiségi állapot, a jó vízminőségi állapot meghatározásával vízminőségi célállapotot fogalmaz meg, vízgyűjtő-gazdálkodási tervet irányoz elő, amelyben meghatározza az összes érintett feladatát a szennyezések csökkentésére.

Magyarországon valamennyi település vezetékes ivóvízzel ellátott, az ivóvíz bekötéssel rendelkező lakások aránya 93,1 %, ugyanakkor a szennyvíz csatornázottság aránya nem éri el a 60 %-ot. A közműháló erősen nyitott.

A 91/271/EGK Irányelv a tagországok számára előírja, hogy a felszíni és felszín alatti vizek védelme érdekében a településeken keletkező szennyvizek ártalommentes elhelyezéséről gondoskodni kell. Minden 2000 lakos-egyenértéknél (LE) nagyobb szennyezőanyag-kibocsátású agglomerációban a szennyvizeket össze kell gyűjteni és azokat biológiai tisztítás után szabad élővízbe vezetni. A gazdaságosan nem csatornázható településeken (településrészek) egyedi, környezetbarát szennyvízelhelyezésről kell gondoskodni. Az irányelv a tagországok részére szennyvízelvezetési és -tisztítási fejlesztéseikről nemzeti megvalósítási program készítését és az Európai Bizottság részére történő benyújtását írja elő.

Az irányelv hazai jogrendbe illesztésével összefüggő feladatokról a 2168/2000. (VII. 11.) kormányhatározat rendelkezik. A Kormány 25/2002. (II.27.) rendelettel jóváhagyta a Nemzeti Települési Szennyvíz-elvezetési és -tisztítási Megvalósítási Programot („A” program), a 174/2003. (X. 28.) Korm. rendelettel pedig a közműves szennyvízelvezető és -tisztító művel gazdaságosan el nem látható területekre vonatkozóan az „Egyedi Szennyvízkezelés Nemzeti Megvalósítási Program”-ot. A program közel 700 db 2000 LE feletti szennyvízelvezetési agglomerációt (1700 település) és több mint 800 vízbázis-védelmi szempontból érzékeny területen fekvő, 2000 LE alatti települést foglal magába, ahol 2015. december 31-ig meg kell oldani a közműves szennyvízelvezetést és a teljes biológiai tisztítást.

7. JAVASLAT A KISTELEPÜLÉSEK SZENNYVÍZELVEZETÉSÉRE TISZTÍTÁSÁRA

Magyarországon a települések háromnegyede 2000 LE alatti kistelepülés, ahol az eddigi szennyvízelvezetési gyakorlat (5-10 település csatornahálózatra való felfűzése, a szennyvíznek több tíz kilométeres, költséges utaztatása, közben a szennyvízben az oldott szennyező anyag tartalom növekedése, bűzhatás) nem folytatható, kivéve ahol ezt a vízbázis-védelmi vagy más szempontok indokolják. Kívánatos, hogy az eddig szinte kizárólagosan elterjedt szennyvízelvezetési és

tisztítási megoldások mellett alkalmazásra kerüljenek a szakirodalomból jól ismert alternatív megoldást kínáló, költség- és környezetkímélő természet-közeli szennyvíztisztítási megoldások, ill. a nem csatornázható településeken a korszerű egyedi szennyvízkezelési kislétesítményekkel történő szennyvíz ártalmatlanítási módszerek.

6.1. Egyedi szennyvízkezelés

A közcatornával gazdaságosan el nem látható területek – települések és településrészek - egyedi szennyvízkezelésre lehatárolt területeken, olyan egyedi szennyvízkezelési létesítmények alkalmazása, amelyek 1-25 lakos-egyenértéknek (főnek) megfelelő települési szennyvíz tisztítását és végső elhelyezését, ill. átmeneti gyűjtését szolgálják. Ennek három technológiai- és műszaki szempontból jól elkülöníthető megoldási lehetősége van:

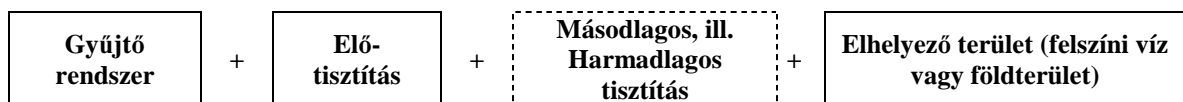
- korszerű egyedi szennyvíz-elhelyezés (un. kislétesítményekkel),
- szennyvíztisztító kisberendezések alkalmazása, valamint
- zárt tárolóban való gyűjtés és szállítás.

6.1.1. Természet-közeli szennyvíztisztítás

Szükséges a csatornázás, ha:

- a település „különösen érzékeny” felszín alatti vízminőségi területen helyezkedik el,
- városias beépítettség a jellemző,
- a telkek mérete kicsi,
- a földtani közeg (a talaj vagy az altalaj) alkalmatlan az egyedi helyi szennyvízelhelyezésre.

A mesterséges rendszerekben a természetes fizikai-, kémiai- és biológiai folyamatok térben és időben koncentráltan mennek végbe, az ehhez szükséges feltételeket (pl. megfelelő mennyiségű oxigén) mesterséges eszközökkel (műtárgyakkal és gépekkel), illetve folyamatos beavatkozással kell biztosítani (6. ábra).



6. ábra

A közcatornás szennyvíz-elhelyező rendszer elemei:

A mesterséges biológiai tisztító rendszer fő jellemzői:

- a folyamatok jól szabályozhatók, a nagyobb terhelés ingadozásokkal szemben a rendszer rugalmatlan;
- folyamatos, szakképzett üzemeltetői ellenőrzést igényel;
- kis helyigénye mellett energiaigényes, amely a kezelés költségeit jelentősen emeli.

A természetes szennyvíztisztító rendszerek fő jellemzői:

- kezelői beavatkozást alig igényelnek;
- a körülmények változását rugalmasan viselik el,
- helyigényük viszonylag nagy.

A kistelepüléseken alkalmazható szennyvízkezelések jellemzői a 4. táblázatban találhatóak.

4. táblázat
Szennyvízkezelési megoldások csatornázott kistelepüléseken

Szennyvíz eredete	Szennyvíz összegyűjtésének módja	Szennyvíztisztítás	Szennyvízelhelyezés, különböző mértékű természetes tisztítással
Lakóházak Közüintézmények Kereskedelmi létesítmények	Hagyományos gravitációs csatornák Nyomott csatornák	Előtisztítás Nagyobb oldómedence Kétszintes (Imhoff) ülepítő Másodlagos tisztítás Mesterséges tisztítás: Eleveniszapos rendszerek Csepegtetőtestek Természetes tisztítás: Fakultatív és oxidációs tavak Épített wetlandek	Talajfelszín alatti abszorpciós rendszerek (pl. faültetvényes) Felszíni vizekbe történő kibocsátás Épített wetlandek Öntözés Újbóli felhasználás Fentiek kombinációi

A települések méretének, az így a kezelendő szennyvíz mennyiségének csökkenésével a természetes rendszerek alkalmazásának előnyei megnőnek. Fontos kiemelni azokat a speciális helyzeteket, amikor a szennyvíz keletkezése szélsőségesen tág határok között ingadozik (vendéglátóipari szálláshelyek, üdülők, hétvégi házak), vagy időszakosan teljesen szünetelhet, mivel ezekben az esetekben a mesterséges biológiai rendszerek működésének feltételei teljes mértékben hiányoznak.

Minden természet-közeli szennyvíztisztítási eljárás alapja, hogy a tisztítandó szennyvíz szennyezőanyag tartalma a talaj-víz-levegő-növényzet által alkotott ökoszisztémában, mikro- és makro szervezetek (elsősorban baktériumok) élettevékenysége következtében, a levegő és a napfény hatására ásványosodik (mineralizálódik), külső energia hozzáadása nélkül. A tisztított szennyvíz befogadója a talaj (közvetve talajvíz) vagy felszíni víz.

A természet-közeli szennyvíztisztítási eljárások alkalmazhatóak:

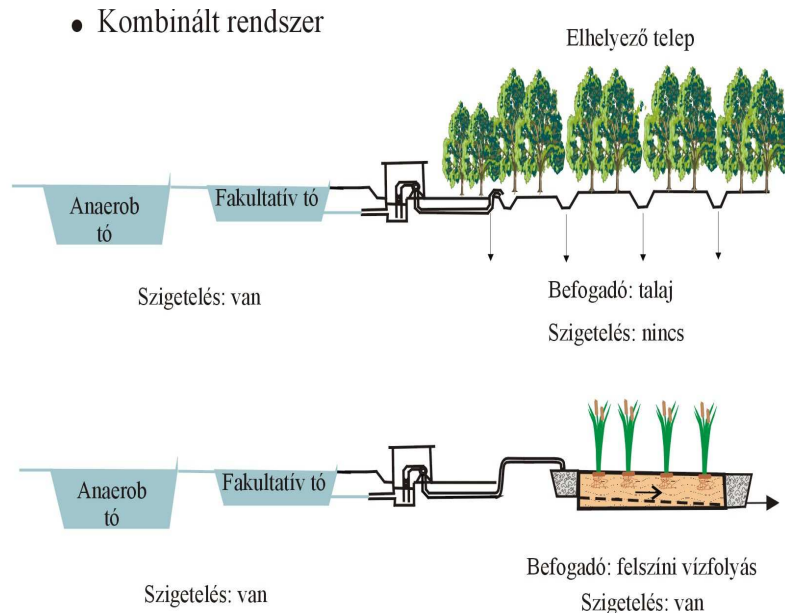
- a./ fő tisztítási módszerként (általában több lépcsőben) vagy
- b./ utótisztítására.

Minden esetben biztosítani kell legalább a megfelelő szintű mechanikai előkezelést.

A természetközeli eljárások előnyei:

- tájba illeszkedő, ökológiai szempontból is hasznos megoldások,
- beruházási költségük alacsony (30-60 %-a a hagyományosnak),
- egyszerűek, kevés a gép-, energia- és személyzet igényük,
- működtetésükhöz nem szükséges magas szintű szaktudás,
- fenntartási költségük alacsony (a hagyományosnak 10-30 %-a),

- minimális mennyiségű szennyvíziszap keletkezik.
- A természet-közeli szennyvíztisztítási eljárások fő típusai:
- faültetvényes (gyors beszivárogtató),
 - épített vízínövényes (épített wetland)
 - tavas (lagúnás),
 - az ezek kombinációiból álló rendszerek (7. ábra).



7. ábra

Természet-közeli szennyvíztisztítási lehetőségek /6/

A természetközeli eljárások hátrányai:

- viszonylag nagy a területigényük,
- érzékeny területeken nem, vagy csak korlátozottan alkalmazhatóak,
- belvizes, és magas talajvízállású területeken korlátozottan alkalmazható,
- gazdaságos mérettartománya 100-300 LE (max: 600 LE),
- érzékenyek az időjárási viszonyok változásaira,
- vegetációs időszakon kívül tisztítási hatásfoka csökken.

Az alkalmazás környezetvédelmi korlátai:

- fokozottan érzékeny felszín alatti vízvédelmi területeken nem alkalmazhatóak,
- nem okozhatja a felszín alatti víz és a földtani közeg állapotának romlását,
- nem eredményezhet kedvezőtlenebb állapotot, mint amelyet a „B” szennyezettségi határérték, vagy az „Ab” bizonyított háttér-koncentráció, ill. az „E” egyedi szennyezettségi határérték.

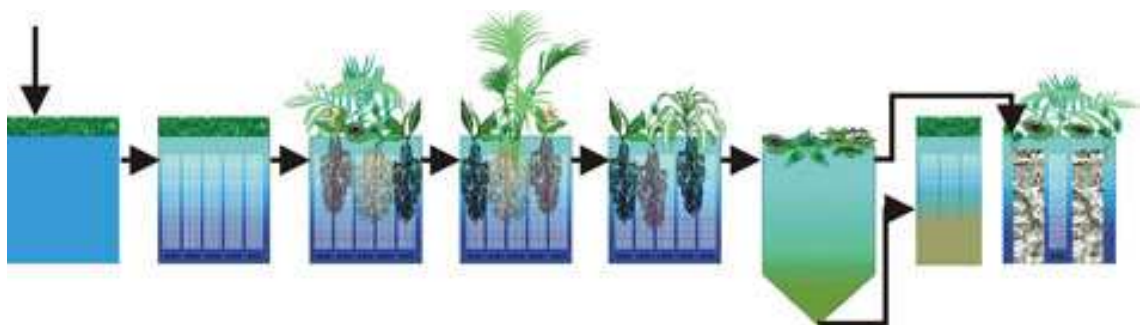
A tavas, valamint az épített vízínövényes tisztításnál felszíni befogadó esetén a kibocsátási feltételeket a felszíni vízvédelmi jogszabályok írják elő:

- 600 LE felett gazdasági számításokkal kell igazolni, hogy a természet-közeli eljárás az adott helyen gazdaságosabb a művi tisztításnál,

- természet-közeli szennyvíztisztító a 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet alapján az 1-es vízminőség-védelmi területi kategóriában (Balaton és vízgyűjtője) nem telepíthető, a 2-es vízminőségi kategóriában (egyéb védett területek befogadói), valamint a nitrát-érzékeny területeken csak a hatóság egyedi engedélye alapján alkalmazható,
- természet-közeli szennyvíztisztítás esetében a megadott technológiai határértékek csupán nyári (május 1. és november. 15. közötti) időszakra vonatkoznak, az ezen kívüli időszakban nincs rendeleti határérték. Téli időszakra - a hatóság előírhatja a keletkező szennyvizek tározóban történő gyűjtését, illetve megtilthatja a befogadóba való vezetését. 10 000 LE alatti kibocsátásokra kötelező érvénnyel nincs rendeleti előírás a tápanyag (N, P) eltávolításra.

6.1.2. Az Élőgép szennyvíztisztítási rendszer

Az élőgép egy adott területre vonatkozó szennyvíztisztítási módszer, egy olyan eljárás, amely 2-3000 élő organizmus - részben növények - által bontja le a szerves szennyező anyagokat. A technológia alacsony költségvetésű, hatékony és esztétikus módszer, a legszigorúbb környezetvédelmi előírásoknak is megfelel. A technológia alapvetően az eleveniszapos eljárásoknál alkalmazott szokásos levegőztetett reaktorokból és az azokra telepített, mintegy 2-3000 fajból álló ökoszisztémára épül fel. A szennyvíz összetételétől és a tisztítási igényétől függően a technológiai sor anaerob előtisztítóval, anoxikus zónával, illetve utőtisztítóként fluidágyas ökoreaktorral egészül ki (8. ábra). A tisztításban a baktériumok mellett a zooplanktonok, algák, különböző növények, sőt kagylók, csigák és halak is részt vesznek. Miközben a szennyvíz átfolyik a különböző tartályokon (a hagyományos technológiai lépcsőket megvalósító reaktorokon), megtörténik a szennyezőanyagok maximális biológiai lebontására. A tisztításban résztvevő változatos ökoszisztémák nagyon stabil és ellenálló rendszert képeznek, így nem érzékeny a szennyvízterhelés ingadozására. Az Élőgép nagyon magas tisztítási hatásfokot biztosít a szervesanyag, a lebegőanyag és a nitrogén eltávolításában, és rendkívül jó hatásfokkal tudja csökkenteni a Coliform sejtek számát.



8. ábra

Az élőgép szennyvíztisztítási technológia vázlatja /15/

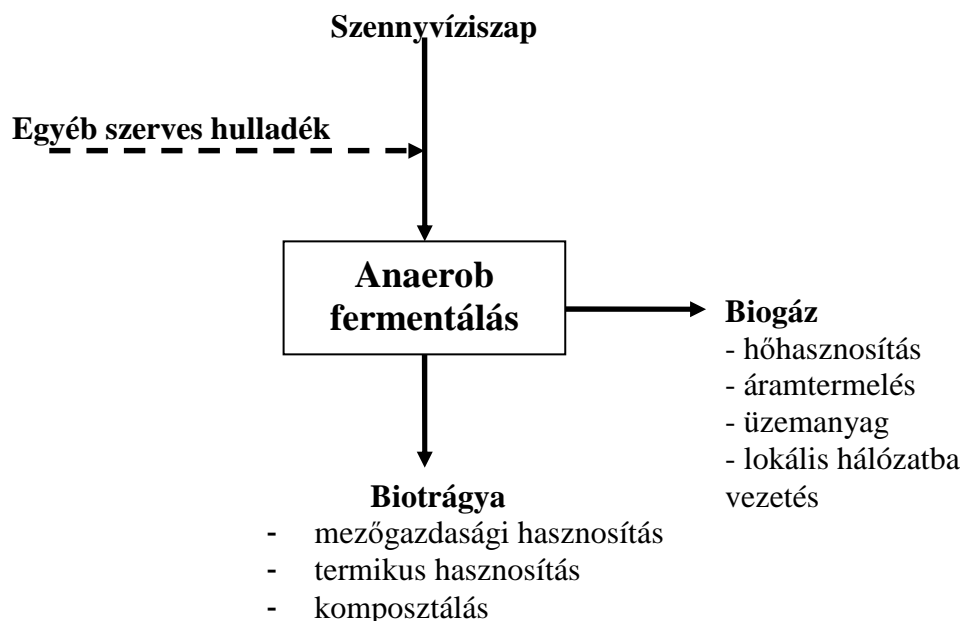
7. JAVASLATOK A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS KÖZBEN KELETKEZETT SZENNYVÍZISZAP KEZELÉSÉRE

A szennyvíziszap nagyobb részt víz, a szennyvízben eredetileg megtalálható szennyezőanyagok, tápanyagok, az oldott szerves anyagok biológiai lebontását végző mikroorganizmusok halmaza, szuszpenziója, melynek tulajdonsága, mennyisége a tisztított szennyvíz jellemzőitől, az alkalmazott tisztítási technológiától, határfokától, a tisztításhoz felhasznált segédanyagok típusától, mennyiségétől függ. Összességében elmondható, hogy a fertőző jellegű kezeletlen iszap értékes tápanyagokkal, illetve energia tartalommal rendelkezik. A szennyvíziszap kezelését ennek megfelelően egy jól megválasztott felhasználási lehetőség kell, hogy meghatározza. Ma és még hosszú ideig Magyarországon, ahogy az a 5. ábrából is jól látható, a deponiába történő lerakás valamint a mezőgazdasági hasznosítás a jellemző. A szervesanyagok deponálását a jövőben fokozatosan csökkenteni, minimalizálni kell. Ennek megfelelően a tényleges hasznosítás kell, hogy minél nagyobb mértékben előtérbe kerüljön. Németországban az iszap elhelyezés, ártalmatlanítás jövőjét a nagyobb mértékben (kb. 52%) a mezőgazdasági hasznosításban, 30%-ban a energiatartalmának hasznosításában látják, és 18%-ban újabb lehetőségeket kutatnak, amellet, hogy vizsgálják a keletkező iszap mennyiségének csökkentési lehetőségeit is.

Az iszap térfogat minimalizálásának több útja van:

- A szennyvíztisztítási paraméterek megváltoztatása (iszapkor, iszapterhelés, oldott oxigén tartalom), melyek következtében csökken a fölősiszap termelődés, az iszap morfológiai átalakulása játszódik le.
- Szennyvíziszap kezelés, amely a biológiai lebontás anyagcsere aktivitását javítja, illetve az iszap struktúráját alakítja át.

A szennyvíziszap mezőgazdasági és energetikai hasznosítása egymást nem zárja ki. Lehetséges megoldás az iszap rothasztása, a hasznosítható biogáz kinyerése, illetve a maradó iszap tápanyagtartalma trágyaként való hasznosítása (9. ábra). Európai Unió elvárásoknak megfelelően az elkövetkező években Magyarországnak is növelnie kell az energia felhasználásában a megújuló energiák részarányát. Ez jelenleg 3,6% melyet 2010-ig 6%-ra, és a megújulóból termelt villamos áram 1% körüli, melyet 3,6%-ra kell növelnünk a vállalás szerint. Erre egy kézenfekvő lehetőség a kommunális szennyvíz iszap hasznosítása. Mindezeket szem előtt tartva a hagyományos előkezelések (fizikai, kémiai biológiai) mellett olyan új eljárásokra is szükség van, amelyek az iszaphasznosítás hatékonyságát növelik. Ilyen lehet a szennyvíziszap mechanikai és biológiai kezelés együttes alkalmazása. A biológiai kezelés aerob és anaerob típusú lehet.



9. ábra

A szennyvíziszap rothasztás anyagárama /18/

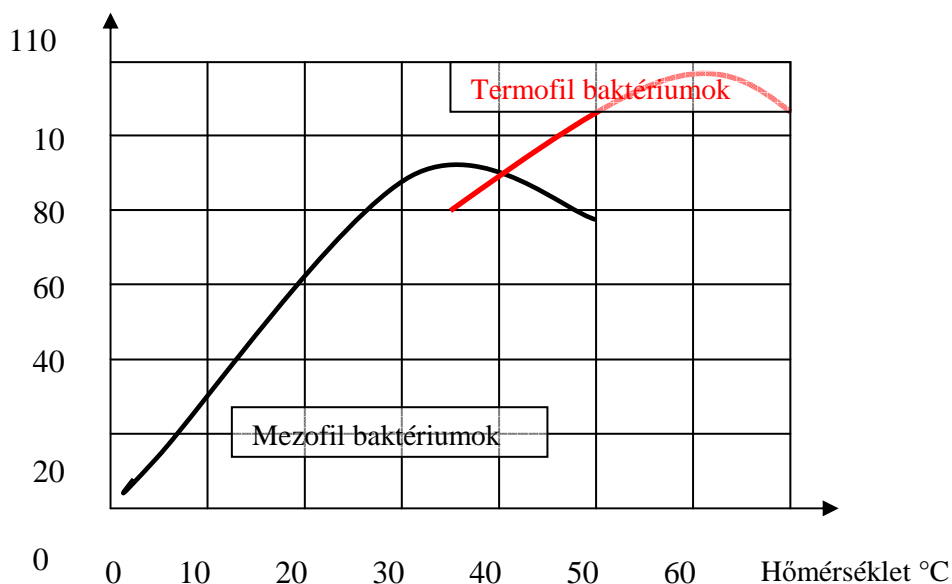
Az aerob kezelés, stabilizálás az aerob szennyvíztisztításhoz hasonló. Alkalmazása elsősorban kis illetve közepes kapacitású telepeken ajánlott. Az iszapot egy megfelelő műtárgyban hosszú tartózkodási idővel (20-24 nap) levegőztetik. A folyamat alatt a szervesanyagok elásványosodnak, lebomlanak, melynek terméke CO_2 , víz, N_2 , P és S . A szerves anyag tartalom kb. 30-35%-al csökken. A hátránya, hogy a kórokozók egy része nem pusztul el (elsősorban a mezofil kezelésnél), így az iszapelhelyezés közegészségügyi szempontból jelentős akadályba ütközik.

Az anaerob technológia iszap kezelésére tökéletesen alkalmas a rothasztás (fermentálás). A szennyvíziszapban lévő szervesanyagok nagy része protein, lipid és szénhidrát. Ezekből az anaerob körülmények között metán, CO_2 , NH_3 , H_2S (un. biogáz) keletkezhet az iszap stabilizálódása mellett. A stabilizálódott szennyvíziszap, kiválóan alkalmas mezőgazdasági területek talajjavítására, fás szárú energiaültetvények tápanyag-pótlására is. (A szennyvíziszap anaerob lebomlása természetes úton is bekövetkezik. A spontán képződő metán erősen üvegházhatású kb. 30-szor üvegházhatásúbb gáz, mint az oly sokat emlegetett szén-dioxid.)

A rothasztás különböző hőmérsékleti tartományban végezhető. A legalacsonyabb hőmérsékletű tartomány a pszichrofil ($15\text{ }^\circ\text{C}$ -ig). A természetben leggyakrabban előforduló metántermelés is ebbe a tartományba tartozik (gleccserek üledékeiben, mocsarakban). A metántermelődés ilyen körülmények között nagyon lassú folyamat, ezért gazdaságtalan. A mezofil tartományban ($35\text{ }^\circ\text{C}$) a stabilizálódás gyorsabb folyamat, kb. 25-30 nap az átfutási idő. Ezt a tartományt használják a leggyakrabban. A folyamat termelékeny, kis energia ráfordítást igényel. Az egyik legnagyobb előnye, hogy stabil és könnyen kezelhető. A leggyorsabb lebontási időt produkálja a termofil eljárás. Üzemi hőmérséklete $55\text{-}60\text{ }^\circ\text{C}$, az átfutási idő pedig 15 nap körül mozog. A leghatékonyabb eljárás, de jelentős többletenergiát igényel

a fermentor fűtése. A gyakorlatban az utóbbi két technológiát alkalmazzák. Ezekben az esetekben a biogáz képződés változását a hőmérséklet függvényében a 10. ábra mutatja be. A rothasztás következtében lényegesen csökken az iszapban a patogén baktériumok száma (a betegségokozó baktériumok, féregpeték, férgek részben elpusztulnak, illetve súlyos károsodást szenvednek), a kellemetlen szaghatás (illékony zsírsavak lebomlanak), javul az iszap vízteleníthetősége.

Relatív gázhozam %



10. ábra

A relatív gázhozam alakulása az iszaprothasztási hőmérséklet függvényében /19/

Az anaerob fermentáció során a 9. ábrában vázolt anyagáramnak megfelelően egyrészt *biogáz* képződik, melyet eltűzelve csak annyi CO₂ jut a légkörbe, amennyit a növények a fotoszintézis során megkötöttek, a folyamat nem okoz többlet CO₂ kibocsátást. A maradék anyag, tápanyagban gazdag, zavaró szagoktól mentes *biotrágya*, tápanyag tartalma a növények számára könnyedén felvehető.

A *biogázok* összetett anyagok, gázkeverékek, melyek részben hasonlítanak a földgázhoz. Bizonyos átalakítások (szűrés, tisztítás, víztelenítés) után, azzal megegyező tulajdonságokkal bírnak.

5. táblázat:

A földgáz és a biogáz összehasonlítása /19/

		Földgáz	Biogáz
CH ₄ (metán)	[%]	91	55-70
CO ₂ (szén-dioxid)	[%]	0,61	30-45
H ₂ S (kénhidrogén)	ppm	~1	~500
Sűrűség	kg/nm ³	0,809	1,16
Wobbe index	MJ/nm ³	54,8	27,3
Energia tartalom	MJ/nm ³	39,2	23,3
	kWh/nm ³	10,89	6,5
Lobbanáspont	[°C]	2040	1911

A képződő gáz minősége nagyban függ a kiindulási anyagoktól és az előállítás technológiájától. Általánosságban elmondható, hogy körülbelül 50-70% metánt, 30-50% szén-dioxidot és nyomokban egyéb összetevőket (kén-hidrogéneket, nitrogént) tartalmaz.

Az eljárások függvényében a biogázok energiatartalma is változhat, de általánosságban elmondható, hogy körülbelül 22-24 MJ/m³ energiatartalommal rendelkeznek. A földgáz energiatartalma 34 MJ/m³.

A biogáz, mint energiahordozó többféle képen hasznosítható:

- Termikus hasznosítás, melynek során a képződő gázt egyszerűen lefáklázzák. Ez az egyik legkevésbé hatékony módszer.
- Mechanikus hasznosítás, ahol a gázt megfelelő előkezelés után (a megengedhető H₂S koncentráció legfeljebb 50 ppm) egy motorban, turbinában elégetik és az energiát mechanikus energiává alakítják.
- Komplex hasznosítás, mely az egyik legjobb hatásfokú. Ebben az eljárásban a képződő gázt egy kogenerációs motorban égetik el. Ez azt jelenti, hogy a mechanikus energia mellett, amit rendszerint árammá alakítanak egy generátor segítségével, még a képződő hőt (kb. kétszer annyi hőenergia képződik, mint amennyi villamos energia) is hasznosítják. A modern kogenerációs gázmotorok közel 90%-os hatásfokkal üzemelnek.
- A legújabb hasznosítási irányzat a biogázok árammá alakítása, kémiai elven működő üzemanyagcellán keresztül. Több sikeres kísérleti megvalósítás létezik az autókban történő üzemelésről, illetve kis erőművi alkalmazásról. Előnyös az alkalmazás olyan területeken, ahol a gázvezeték hálózat ki van építve és a folyamatos áramellátás nélkülözhetetlen. Ilyenek a kórházak, repülőterek irányító központjai, bankok. Jelenleg Európában egy 220 kW-os üzemanyagcellás energiafejlesztő a kölni szennyvíztisztító telepen és egy Madrid melletti szilárd hulladéklerakóban működik.
- Komprimálás tisztítás (CO₂- és S-mentesítés) és víztelenítés után ugyanúgy, mint a földgázt. Ezek után a biogáz egyenértékű a földgázzal, mind minőségben, mind energiatartalomban.
- Előkezelés, tisztítás után a gázhálózatba való betáplálásra alkalmas.

A rothasztás másik termékeként keletkező anyaga a rothasztott iszap, amely összetételénél fogva kiváló trágya anyag. Ugyanis a rothasztás közben az ásványi tápanyagok nem szenvednek kárt, csak a szervesen kötött szén gázosodik ki. A kötött nitrogén átalakul félig kötött ammónia nitrogénné mely már hasznosítható a mikroorganizmusok számára, valamint növekedést serkentő anyagokat (szkatol- és indolszármazékokat, C-vitamin, karotin, triptofán, trydonit) és fenol vegyületeket tartalmaz. Felhasználása különböző előkezelések után az alábbiak lehetnek:

- Szerves trágyaként, a talaj humusztartalmának növelésére alkalmas komposztálással vagy a nélkül,
- Porózus talajszerkezet kialakítására alkalmas,
- Szárítva, szemcsézve, keverve virágföldként, humusz granulátumként felhasználható,
- Égetéssel ártalmatlanítható (a rothasztott iszap fűtőértéke 13.400 kJ/kg szárazanyag tartalom),

- Egyéb, pl. gilisztatenyésztés, gombatermelés, téglalapanyagába adalékanyagként keverve, stb. hasznosítható.

A nagy mennyiségű szennyvíziszap kezelésnél nagyon fontos a térfogat csökkentése, amely iszapstruktúra változtatást igényel. A struktúra változtatás az iszap morfológiájának technikai megváltoztatása, mely az iszapflokkok dezagglomerációjával érhető el. Ez történhet különböző fázisokban:

- csekély energia fázisú behatás: az iszappelyhek széttörése, a pelyhek által bezárt víz szabadabbá válik;
- alacsony energia fázisú beavatkozás: a pelyhek szétesése aktív szabad felületek keletkezéséhez vezet, mely kedvező hatással van a további iszapkezelésre.
- A mikroorganizmusok sejtjeinek feltárása, roncsolódása, amely a sejtanyagok szabadabbá válását idézi elő. A szükséges energia nagysága a mikroorganizmusok tulajdonságaitól függ.
- Az eljárás direkt, indirekt módon végezhető. A alkalmazható eljárások:
 - Termikus eljárások (gőz-hidrolízis, nagy-nyomású hidrolízis),
 - Kémiai eljárás (nedves oxidáció, ozonizálás),
 - Biológiai eljárás (aerob stabilizálás, rothasztás, enzimes kezelés)
 - Mechanikai kezelés (keverő malmos aprítás, nagy nyomású homogenizátor alkalmazása, Lysat centrifuga alkalmazása, ütköző malmos aprítás, nagy teljesítményű pulzációs technika alkalmazása, ultrahangos vagy fúvókás kavitációs eljárások).

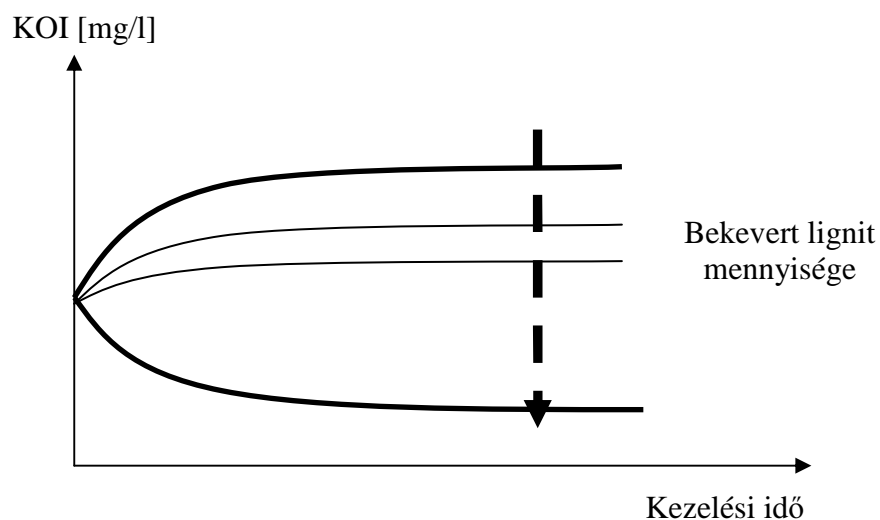
Tanszékünk tagja egy hattagú konzorciumnak, amely az iszapkezelés mechanikai stabilizálásával foglalkozik. A kutatási téma száma: GVOP-3.1.1-2004-05-0271/3.0. A kutatás témáját adó új eljárás elméleti alapja a következő: a vizet tartalmazó bio-hulladék (szennyvíziszap, hígtrágya) mechanikai ütköztetéssel párosuló, nagy turbulenciájú áramoltatása közel kavitációs körülmények között. Az ilyen áramoltatás során a vízben oldott levegő gázfázisba diffundál át, miközben a szilárd hulladékrezecskék szemcsemérete gyorsan és jelentősen csökken. E két jelenség együttesen eredményezi a komponensek érintkezési felületének jelentős növekedését. Ezek eredményeképpen az anyagátbocsátás intenzitása megnő, a kinetikája felgyorsul. Ez vezet a nem stabilizált biomassza gyors stabilizálódásához. A szemcseméret-degradációt nemcsak az adalékanyag szilárd részecskéi szenvedik el, hanem az élő mikroorganizmusok is. A nagy mechanikai igénybevétel és kedvezőtlen nyomás-változás hatására a sejtfal megsérül, a sejt-roncsolás bekövetkezik. A patogén mikroorganizmusok populációja több nagyságrenddel csökkenthető, vagyis a gyors stabilizálódás mellett a biohulladékok *higiénizációja* is végbemegy. A higiénizációban a szilárd adalékanyag felületén végbemenő vízben oldott és illó szerves vegyületek *adszorpciója* is fontos szerepet játszik. Amennyiben az adalékanyag a nagy adszorpciós képességgel, valamint a számottevő fűtőértékkel rendelkező szén (lignit), akkor a mechanikai kezelés terméke jelentős fűtőértéke alapján *környezetbarát és megújuló bio-tüzelőanyag*nak tekinthető. A stabilizációval *talajjavító termék* is előállítható e célra alkalmas adalékanyag megválasztásával.

A szennyvíziszap kezelésre a Miskolci Szennyvíztisztító Telepen került sor. A minta szuszpenziókat különböző elemzéseknek (aprózódás, szűrt KOI_k, BOI₅, pH,

szárazanyag tartalom, szűrhetőség, száríthatóság, fekál E. coli, fekál enterococcus) vetettük alá, majd néhány kísérletnél keletkező kezelt iszappal rothasztási kísérleteket végeztünk.

A megfelelő adalékanyag (lignit-, szénpor stb.) bekeverés, kavitron fordulatszám, kezelési idő hatására a kezelt szennyvíziszap átalakul. Kísérleteink alapján az alábbi következtetéseket állapíthatjuk meg:

- Az iszapban levő eredeti szilárdanyag és adalék anyag morfológiailag megváltozik, aprózódik, feltáródik, szemcseméretük a 90 μ m alatti frakcióban dúsul, jelentősen növelve a szilárdanyag fajlagos felületét. Ugyanakkor a szemcseeloszlás megváltozása (szűkebb szemcseeloszlási tartomány) kedvezően hat az iszap szűrhetőségére is.
- A kavitronban történő aprózódáskor az iszapban található mikroorganizmusok egyrésze elpusztul, illetve jelentősen sérül. Következésképpen az iszap stabilitás kedvező alakulása.
- A szilárdfázis aprózódása, a mikroorganizmusok feltáródása növeli ugyan az iszapvíz KOI értékét, melyet a hozzáadott, jó adszorpciós tulajdonsággal bíró, aprózódott, nagy fajlagos felületű adalékanyag (lignit, szén) adszorpció révén jelentősen csökkent. Ennek következménye az iszap kellemetlen szaghatásának jelentős csökkenése is (11. ábra).



11. ábra

A KOI alakulása a bekevert lignit mennyiségétől függően. /18/

- 4. A kezelt iszap hasznosítása több féleképpen lehetséges. Száradás vagy szárítás után komposztálva vagy a nélkül a mezőgazdaságban biotrágyaként hasznosítható (a kísérletek szerint a tápanyagtartalom a talajvízzel nehezebben távozik, leadása elhúzódó jellegű, így hosszabb időre biztosítja a talaj tápanyag ellátását). Energia tartalma miatt nagyon jó biotüzelőanyag. A szilárdanyag tartalom és a mikroorganizmusok feltáródása következtében a kezelt iszap hatásosan rothasztható. Az oldott szervesanyag tartalom, a szilárd fázis nagyobb fajlagos felülete

következtében jelentősen megnő a biogázkihozatal melynek mértéke 50-300%. Rothasztást követő kezelés után az iszap tovább hasznosítható.

Az új eljárás elsősorban kommunális szennyvíziszap, illetve az állattartó telepeken képződő hígrágya kezelésére alkalmazható. Rendkívüli előnye az, hogy nem igényel semmilyenfajta vegyszert, és nem termel toxikus anyagokat sem.

Ez a típusú iszapkezelés elsősorban nagyobb szennyvíztisztító telepeken javasolható. Kisebb telepek esetén a szakirodalmakból jól ismert módszerek alkalmazása kerülhet előtérbe a telep és környezete adottsága függvényében.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A rendelkezésünkre álló adatok, információk szerint Magyarország és ahhoz hasonlóan a B.-A.-Z megye szennyvíztisztítási helyzete nem kedvező. Hiányos a csatornázottság a csatornára való bekötés, a szennyvízelvezetés, és még kedvezőtlenebb a szennyvíztisztítás helyzete, mértéke, hatásfoka. A problémák közül különös jelentőségű a 2000 LE alatti települések szennyvizének összegyűjtése, kezelése, illetve a nagyobb szennyvíztisztító telepeknél a tisztítás termékeként keletkező szennyvíziszap kezelése, elhelyezése, hasznosítása.

Dolgozatunkban az általános helyzet ismertetése után e két témával foglalkoztunk szakirodalmakra, jogi előírásokra és kísérleti munkára támaszkodva. Ezek alapján javaslatunk a következőkben foglalható össze:

A megye területén található kis települések elmaradásainak megoldására az egyedi illetve természetközeli szennyvíztisztítást javasoljuk a szennyvíztisztítási társulásokkal szemben, mert rövid csatornáknál (gyors levezetés) elmarad a szennyvíz oldott anyagtartalmának jelentős emelkedése, elmarad a szennyvíz rothadásának beindulása (szaghatás elmarad, csatorna mechanikai igénybevétele csökken). Következménye a hatásosabb tisztítás. A természetközeli tisztítási eljárások biztosítani tudják a szükséges tisztítási mértéket.

A nagy szennyvíztisztító telepeken szükséges szennyvíziszap kezelésre számos megoldás áll rendelkezésre, amelyek közül a feltételeknek, adottságoknak megfelelően választhatunk. A dolgozatunkban egy újabb megoldást javaslunk, melynek lényege a hasznosítás előtti szennyvíziszap aprítás (adalékanyaggal vagy a nélkül). E folyamat során az iszap stabilizálódik, mezőgazdaságban (tápanyagtartalma miatt) hasznosítható közvetlenül, vagy komposztálás után, illetve az iszap anaerob kezelése során képződő biogázokat energetikai hasznosításra lehet fordítani.

Felhasznált irodalom:

1. Öllős G. : Szennyvíztisztító telepek üzemeltetése I.-II.
2. MaSzeSz, Hírcsatorna. A Magyar Szennyvíztechnikai Szövetség Lapja, 2005 május-június
3. Halász Eszter: Borsod-Abaúj-Zemplén megye vízgazdálkodása. ME Miskolc 2005. Beszámoló
4. Tájékoztató. Magyarország településeinek szennyvízelvezetési és –tisztítási helyzetéről, a Települési szennyvízkezelésről szóló 91/271/EGK irányelv Nemzeti Megvalósítási Programjáról. KvVM Budapest 2006.
5. Korszerű környezet- és költségkímélő, egyedi, házi szennyvíz-elhelyezési kislétesítmények (Bemutató album, KvVM Bp. 2002.)
6. Mezei Antal: Természet-közeli szennyvíztisztítási technológiák áttekintése (Bp. BMGE Vízi-közmű és Környezettechnológiai Tanszék 2003)
7. Segédlet a korszerű egyedi szennyvízkezelés és a természet-közeli szennyvíztisztításhoz (Bp. KvVM 2005)
8. 220/2004. VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének egyes szabályairól
9. 10/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről
10. 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről
11. 30/2004 (XII.30) KvVM rendelet a felszín alatti vizek vizsgálatának egyes szabályairól
12. 25/2002. (II. 27.) Korm. rendelet a Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési- és tisztítási Megvalósítási programról
13. 174/ 2003.(X.28.) Korm. rendelet az Egyedi Szennyvízkezelési Nemzeti Programról
14. EU szennyvíztisztításról szóló 91/271/EGK irányelve
15. Körte-Organika prospektus
16. Útmutató. A települési szennyvíziszap telepi előkezeléséhez, KvVM. Budapest, 2002.
17. Útmutató a települési iszapkezelési koncepció kidolgozásához. KvVm, Budapest 2006
18. Szennyvíziszap és hígtrágya büztelenítése, stabilizálása. GVOP projekt részjelentés 2005-2006. Miskolci Egyetem, Eljárástechnikai Tanszék.
19. Szennyvíziszapok újszerű, a fenntartható fejlődést szolgáló hasznosítási lehetőségeinek feltárása. KvVM megbízásából összeállította a Juhász és Társa Mérnöki Szolgáltató és Tanácsadó Bt. Budapest, 2004,