

A szennyvizek szerves anyagai és szervesetlen növényi tápanyagai újrahasznosításának lehetőségei.

Kárpáti Árpád

Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék
karpatia@almos.vein.hu

Bevezetés

A lakossági szennyvizek sokféle növényi és állati eredetű, de az ember által részben átalakított szerves anyagot tartalmaznak. Mellettük mintegy 5-8-szor kisebb koncentrációban vannak azokban a növényi élet számára elengedhetetlen ammónium, valamint foszfát. A növények makro-tápanyagai közül a kálium ugyanakkor az előzőekhez képest a szükségesnél lényegesen kisebb arányban van csak a szennyvízben.

A szennyvizek szerves anyagainak egy részét (cukrok, fehérjék, zsírok) az anaerob mikroorganizmusok metánná és széndioxiddá tudják alakítani, ami azok energiatartalmának az ismételt hasznosítására elvileg lehetőséget ad. A kis koncentrációjuk miatt azonban a gyakorlatban a közvetlen út a hideg vízben igen lassú átalakulási sebesség miatt nem gazdaságos. Az aerob mikroorganizmusok velük szemben a szerves anyagot a környezeti hőmérsékleten is (10-25 °C) mintegy 50 %-ban széndioxiddá alakítják, s az oxidációnál nyert energiával a további hányadból saját sejtanyagot építenek ki. A szerves anyag oxidációja persze tovább mélyülhet, hiszen a sejtek "éheztesével" (relatív szerves anyag ellátottságuk), elhalásával az élő sejtállomány csaknem teljesen felemészthető. Az iszapba ilyenkor már csak a bonthatatlan részek és sejtmaradványok kerülnek. A gyakorlatban éppen az eredeti formájú, vagy alig átalakított lebegő szerves anyag, valamint az intenzíven szaporodó, energiadús biomasszaként szeparálható oldott részek anaerob átalakításával (mezofil iszaprohasztás) nyerhető ki fajlagosan a legtöbb energia a szennyvíz szerves anyagaiból.

Fontos azonban kiemelni, hogy a cellulóz és lignin az említett aerob átalakítás során változatlan marad, s az anaerob átalakítás is csak a cellulóz minimális hányadát tudja metanizálni. A döntően a papírral a szennyvízbe kerülő lignin ezzel szemben mindegyik folyamatban bonthatatlan. Ennek megfelelően az utóbbiak energiatartalma is csak a maradék iszap elégetésével hasznosítható. Az iszapégetés azonban csak hatásos víztelenítést követően lehet energetikailag nyereséges. Füstgázai ugyanakkor további veszélyt jelenthetnek a környezetre. Az iszapégetés ezért csakis szigorúan ellenőrizhető, központi égetőművekben engedélyezhető. A komposztálás során ezzel szemben a cellulóz és lignin a gombák, sugárgombák révén lebomlik, majd talán elsődlegesen kémiai folyamatok, polikondenzáció útján biológiailag stabil huminsavakká, humusszá alakul (Kárpáti, 2002). Ez utóbbiak a talajmátrix azon szerves komponensei, melyek a talajszerkezet és ioncserélő kapacitás (ammónium és egyéb tápanyag-pufferoló képesség) tekintetében különösen előnyösek. A humusz lebomlási sebessége a talajban olyan lassú, hogy a ciklusidejét, vagy átlagos tartózkodási idejét a talajban 300-3000 évre becsülik. Ebből láthatóan igen fontos természeti tartalékunk, melyet azonban az intenzív növénytermesztés (üvegházás öntöző kultúrák) akár nélkülözni is képes.

A nitrogén és foszfor tápanyagok eltávolítása a szennyvízből a szerves anyagéval részben ugyan kapcsolódik (biomassza N és P tartalma, illetőleg denitrifikáció), döntően azonban az

ammónium nitráttá, a foszfátnak pedig oldhatatlan foszfáttá történő átalakításán alapul. Az első még továbbra is újrahasznosítható növényi tápanyag lenne, de a denitrifikáció révén elemi nitrogénné alakulva már annak az újrahasznosíthatósága is elvész. Valójában csak az iszapból az anaerob rothasztás során ammónia (eredeti TKN tartalom 16-20 %-a), valamint az iszapban maradó, ennél is kisebb hányad az, ami ténylegesen újrahasznosítható. Sajnos a mai gyakorlatban még csak az utóbbi egy része kerülhet vissza a növénytermesztésbe. Az iszapvíz még túl híg (0,5-1,5 g/l) a gazdaságos kihelyezhetőséghez. Ez csak a hígtrágyák mintegy ötször ilyen töménységénél gyakorlat. Ott is inkább a hulladéktól való megszabadulás kényszere a megújuló tápanyag visszaforgatásának a valódi oka.

Bár a lakossági és állattartási tápanyag és emésztési hulladékok növényi tápanyagainak újrahasznosítása az emberiség évezredek gyakorlata, a mai modern életvitelnél a szennyező anyagok igen nagy mértékű hígítása látszólag csaknem teljesen kizárni látszik annak a lehetőségét. Ami a legegyszerűbb, az iszapmaradék komposztálása (humifikálás) is egyre inkább háttérbe szorul a modern műtrágya felhasználás következtében. A komposztelhelyezés tekintetében a hagyományos növénytermesztésben hasonlóan a hígtrágya példájához hosszabb távon valószínűleg a kényszerűség hatása fog érvényesülni. Sokkal kedvezőbb lehet ugyanakkor a komposzt kertészeti hasznosításánál a gazdaságosságosság. Ez azonban csak a komposztálás szigorú ellenőrzésével, minőségbiztosításával érvényesíthető.

Megújuló tápanyag és energia újrahasznosítási lehetőség a szennyvizeknél

A kérdéses hulladékok, szennyvizek részben a lakosság részére történő tápanyag alapanyagok előállítására, részben azok feldolgozása, illetőleg a termékek fogyasztása eredményeként keletkeznek.

A növényi alapanyag termelésének a melléktermékei, hulladékai a növényi maradványok, melyek rendszerint maguk is újrafelhasználásra kerülnek, etetésre, almózásra, vagy közvetlen energia előállításra, tüzelésre, fűtésre. Egy részük az állattartás hulladékvonalán trágya formájában jelentkezik. Más részük közvetlenül a termőhelyen kerül vissza a talajba annak a művelése kapcsán, s jelent ismételt hasznosuló energiát, szerves tápanyagot a talaj mikroorganizmusainak, életközösségének. A szalma és fűrészpor, a kívánatosnál nagyobb nedvesség és nitrogéntartalmú szerves hulladékok komposztálásának segédanyagaként (többször szerves szénforrás), biológiailag stabilizált formában, humuszként is visszakerülhet a talajba (Kárpáti, 2002).

A növénytermesztés szilárd hulladékainak az energetikai hasznosításával rendszerint semmilyen gond nincs, hiszen azok szárított formában bármikor elégethetők, s minimális hamu maradványuk nagy kálium tartalmú talajtápanyag. Ugyanez igaz az egyre nagyobb mértékben termesztett energianövények égetésére is. A hamumaradék a szennyezettségétől függően a jövőben keverőkomponense lesz mind a természetes talajjavítóknak (komposzt, stb.), mind a műtrágyáknak. Gondot okoz ugyanakkor a trágyaként jelentkező részük, ami már az állattartás vonalán jelentkezik. Részben álag, részben összetétele miatt. A trágyában a szalma mellett a fehérje és zsírtartalmú termékek állati hasznosítás utáni maradéka is benne van. A cukrok teljesen hiányoznak belőle, a rostos részeket alkotó cellulóz azonban többnyire változatlanul oda kerül. A fehérjék eredeti nitrogén tartalmának a döntő része (csaknem teljes mennyisége) is oda jut (vizelet, széklet). Ennek a vegyesnek tekinthető hulladékformának a termőtalajba történő elhelyezése évezredek gyakorlata. A klasszikus állati trágyákkal (ló, marha) a talajvizek károsítására előzetes stabilizálásuk és kis nitrogéntartalmuk miatt nem

igen kerülhetett sor, hiszen a terméket előbb kiégették, mintsem a talajvizet károsíthatták volna.

A trágya közvetlen égetése a fenti komponensei miatt lehetetlen. Bár bizonyos speciális állati trágyákat néhány országban szárítva tüzelésre is használják, ez a lehetőség inkább a kivétel. A megfelelően biztonságos trágyaégetés a szennyvíziszap égetésénél is bonyolultabb berendezéssigényt és ellenőrzést jelentene. Ugyanakkor napjainkban az állattartás intenzifikálása eredményeként helyenként igen nagy trágyamennyiségek keletkeznek. Többsége sertés, marha, csirke, pulykatrágya, melyeknek az összetétele, állaga is nagyon eltérő. Hasznosításukra egyértelműen a mezőgazdaság, a növénytermesztés ad lehetőséget.

Megjelent az elmúlt évtizedekben a trágyának a hígtrágya változata is, amelyet azonban a tárolási, újrafelhasználási költség csökkentése érdekében napjainkban igyekeznek minimalizálni. A sertéshizlalásnál azonban ez nem egyszerű feladat. A hígtrágya ugyanakkor különleges folyékony hulladék, melynek több mg/l oldott szerves anyag, valamint ammóniumtartalma van. A hígtrágya fő gondja, hogy a vizelettel döntően abba kerülő rész az elfogyasztott nitrogénnek mintegy 80, és foszfátnak 50 százalékát koncentrálna. Ezért ilyen tömény. Hiába lehetséges a sertéstrágyánál a megfelelő fázis-szeperáció, attól még a folyadékrész problémái mit sem csökkennek. Az a nitrogénterhelés döntő részét olyan koncentrációban tartalmazza, ami a növényzet kiégetését, s egyben a talajok veszélyes túladagolását, s azzal együtt a talajvíz szennyezését is okozhatja. A hígtrágya a növényzetre csak hígítva kerülhet, különben csak a vegetációs időszakon kívül helyezhető ki. Az utóbbi egyébként a szilárd trágyára is érvényes.

A mezőgazdasági termékek feldolgozásának hulladékai igen sokfélék. Ez abból adódik, hogy közvetlen emberi fogyasztásra történő előkészítésük is sokféle. A feldolgozási veszteség egy része szilárd formában visszatartható, újrafelhasználható, de nagyobb része rendszerint a szennyvízbe kerül. Az egyes iparágakban a nyersanyag függvényében más-más cukor, keményítő, fehérje és zsírhányad kerül a technológiák elfolyó vizeibe. Fizikai előtisztítással a zsír számottevő része (például a húsiparban) visszatartható, annak a hasznosítására azonban nem igen jelentkezik igény. Ezt a zsírt nagy energiatartalma miatt ugyanakkor igen jól lehetne hasznosítani mind a biogáz előállításnál, mind a komposztálásnál. A foszfolipidekből maradó foszfátszennyezés sem jelent ezeknél problémát.

Más a helyzet az említett iparágak a szennyvízből fizikai úton eltávolíthatatlan, emulgeált fehérje anyagaival. A fehérjék nagyobb hányada csak fizikai-kémiai (vegyszeres) kezeléssel szeparálható a vízből. A szénhidrátok az oldhatatlan cellulózt kivéve ilyenkor is a vízben maradnak. Ezért a tömény cukros, keményítős vizek jelentik a kisebb gondot, hiszen a zsírokhoz hasonlóan, sőt azokénál még nagyobb sebességgel metanizálhatók. A cellulóz azonban csak igen kis mértékben bontható anaerob úton (Kárpáti, 2002).

A fehérjék biogázosításakor azonban az ammónium és kénhidrogén döntően a vízbe kerül. Tenziójuknak megfelelően (pH-tól függően) kisebb részük a gázfázisban is jelentkezik. Éppen az utóbbi miatt lehet szükség esetenként a biogáz kéntelenítése. Ez napjainkra in-situ is lehetséges, de általánosan alkalmazott a szulfid vas-sókkal történő kicsapata is, a metanizációra gyakorolt toxicitás csökkentésére. Az utóbbi megoldás azonban további iszapszennyezést eredményez a szilárd maradékban. A folyadék rész elhelyezése nagy ammónium koncentrációja, terhelése miatt gond, amiért is Európa ilyen maradékokkal súlyosan terhelt térségeiben a trágyarothasztás iszapvizének az ammónium tartalmát további szennyvíztisztítással lényegesen csökkenteni kell (Piccinini, 2003).

A döntően városokba települt élelmiszerüzemek azonban ma még a higiénés követelmények miatt adott távolságon belül (például az üzemben) szilárd hulladékaik, vagy iszapmaradékaik anaerob rothasztóját nem építhetik ki. A feladatot ezért bárkinek átengednék, legyen az trágya-biogáz üzem, kommunális tisztító iszaprothasztója, vagy célorientált biometanizáló külső vállalkozó is. A nitrifikáció / denitrifikáció meglehetősen drága. Az ammónia anaerob rothasztók iszapvizéből szeparáltan történő eltávolítását ugyanakkor a gyakorlat még nem alkalmazza, sem a trágya, sem a lakossági szennyvíziszap rothasztásánál. Az előzőt hazánkban azért, mert az egyetlen nyírbátori üzem kivételével nem is működik még ilyen telep, az utóbbi azért, mert az elsődleges aerob tisztítósoraik még úgy-ahogy alkalmasak a megfelelő nitrogéneltávolításra, vagy legalább is nem, vagy nem jelentősen büntetik őket a túlszennyezésért.

Az élelmiszer-feldolgozó iparok (hús, tej, gyümölcs, és egyéb konzerv, üdítő, bor, sör, keményítő, stb.) szennyezőanyagainak egy részét, a fizikai, vagy fizikai-kémiai előtisztítás után is a szennyvízben maradó hányadát, hazánkban általánosan a lakossági szennyvíztisztítóknak kell eltávolítani a szennyvízből. Ilyen tekintetben ezért az élelmiszeripar és a lakosság szennyvíztisztítása szinte minden országban szervesen összekapcsolódik. Nálunk az említett iparágak szennyvíz előtisztításánál keletkező szennyvíziszap biometanizációját is szükségszerűen a lakossági szennyvíztelepek anaerob rothasztói biztosíthatják. A kicsapó-szerekkel bevitt fémszennyezés azonban ezeknél iszapszennyezést jelent, elhelyezési problémákat generál (nehézfém tartalom). A vegyes iszapmaradékoknak a mezőgazdasági elhelyezése ma már mindenütt fokozottabban korlátozott.

A legfőbb gond valamennyi rothasztásnál szükségszerűen a fehérjéből (szennyvíziszap fehérjéből is) a rothasztóban keletkező ammónium. Ez a kommunális tisztítók iszapjainak rothasztásánál az iszap elősűrítésétől függően 0,5-1,5 g/l koncentrációban lesz az iszapvizben. Ipari fehérjehulladék együttes metanizációjakor az a többszörösére is nőhet. Ez ugyan ritkán okoz ammónium toxicitást a rothasztókban (kellő adaptáció), az iszapvíz visszaforgatásával azonban a kommunális telep elsődleges biológiai sorának (anaerob és/vagy anoxikus és oxikus) a nitrogénterhelését annyira megnövelheti, hogy az előírt nitrogéneltávolítást már nem tudja biztosítani (túlzott N:C arány).

A húsfeldolgozás hulladékának a közegészségi okokból történő sterilizálása, feldolgozása ugyanakkor további hulladék, szennyezés-forrás. Az ennél keletkező szilárd, valamint tömény folyékony hulladékok ammónium problémája is egyedülállóan különleges. Higiénés okokból minden fejlettebb országban szükségszerűen működik ez az állati-fehérje feldolgozó (ATEV) iparág. A húsiipari feldolgozás során az állati alapanyagoknak átlagosan valamivel több, mint egyharmada hulladékként jelentkezik (Ziskó, 2003). Ezt az anyagmennyiséget fertőzésveszélye, fehérje és zsírtartalmának bomlandósága miatt csakis központilag irányított, kellően ellenőrzött begyűjtéssel és feldolgozással lehet biztonsággal "kármentesíteni". A korábbi évtizedekben a 130 °C hőmérsékleten történő sterilizálás, majd a zsír- és víztelenítést követően a fehérje tartalmú szilárd anyag szárítása, olyan terméket biztosított, ami értékesíthető fehérje tartalmú állati tápanyag-kiegészítő volt. Ez a termék a BSE kór miatt ma csak kutyák és macskák tápanyagainak a gyártásához jöhet számításba. Ez azt is jelenti, hogy az adott iparágban az állati trágyákénál jóval nagyobb nitrogéntartalmú, bár fajlagosan valamivel kisebb tömegű szilárd hulladék keletkezik, aminek az elhelyezése, hasznosítása megoldatlan. Szerencsére az állati hulladékok zsírterméke végső esetben energetikailag akár közvetlenül is hasznosítható (ipari tüzelés).

Az állati hulladék feldolgozásánál a főzés, majd szárítás során jelentős mennyiségű ammónia, illetőleg szerves-amin kerül a gőz kondenzációjakor vizes fázisba. Még nagyobb az ilyen ammóniás víz hozama a korszerű, nedves feldolgozásnál, amikor a fizikai szeparációt követően a fehérje tartalmú vizes fázist a szárítást megelőzően bepárlással elősűrítik. Az ilyen kondenzvizek mintegy 2-3 g/l koncentrációban tartalmazzák az ammóniumot. Ezek összetételükben hasonlóak a hígtrágyákhoz. Szeparált elhelyezésük, hasznosításuk azonban a fennálló jogszabályok miatt, a feldolgozó üzem veszélyes jellege okán (a 130 °C-os előkezelés és gőz-sterilizáció ellenére) nem engedélyezett. Ma csakis a szennyvíztisztítás, vagy a komposztálás vonalára kerülhetnek, ami ott okoz rendkívüli komplikációkat. Ez a helyzet minél előbbi generális szennyvíztisztítási technológiaváltást követel az ATEV szennyvizeinek a tisztításánál.

A lakossági fogyasztás hulladékai a harmadik szennyezőanyag típus. Ezeknek a közcatornába kerülő része a korábbiaknál jóval hígabb lesz, hiszen a személyes kiválasztási maradékok maximálisan 2-3 liternyi mennyisége abban 80-150 literre hígul (modern ivóvízellátás, vízgazdálkodás). Ez a lakossági szennyvízben 90-140 mg/l ammónium koncentrációt eredményez. A hígulás meghatározó oka a többi, nagy mennyiségű személyes használatú víz elhelyezésének a kényszere. Erre azonban csakis megfelelő szennyvízgyűjtés és tisztítás után kerülhet sor, s akkor is nagy kérdés, hogy az hova (befogadó) lehetséges. Felvetődik ennek kapcsán, hogy a szennyvíztisztítási technika fejlődésének kihasználásával, közvetlen környezetünk öntözővíz igényének a növekedését nem lenne-e célszerű kevésbé központosított megoldásokkal kompenzálni.

A lehetőségek mindig az adott környezet talajadottságain, vízigényén, valamint a modern berendezések üzemi és higiénés biztonságán múlnak. Jelenleg talán az egyetlen korlátozó tényező a keletkező iszap stabilizálásának, helyi hasznosításának a látszólag nem eléggé biztonságos lehetősége. Talán a központosított iszapfeldolgozás megszervezése, vagy a lokális, természetes növényzettel támogatott biológiai iszapstabilizálás lehet megfelelő megoldás a biztonság javítására. Az növényzetes szennyvíztisztítást Ausztriában egyébként 100 lakosegyenérték terhelés alatt (ritkán lakott térségek) a szennyvíz tisztítására a legkedvezőbb megoldásnak vélik.

A központosított szennyvíztisztítás szilárd maradékának (szennyvíziszap) az elhelyezése a környezetszennyezés további lehetséges forrása. Az napjainkban eléggé ellenőrizetlenül hulladéklerakókba, esetleg további feldolgozás után a mezőgazdasági területekre kerül. Ezek mindegyike nagyon érzékeny mind a nitrogén-, mind a foszfor-szennyezésre, vagy terhelésre. Elvileg a növényzet nitrogén és foszfor igénye szerint szabad csak adagolni ezeket a tápanyagokat.

Az ammónium-maradék újrahasznosításának lehetősége, korlátozó tényezők

Az előzőekből is láthatóan napjaink meghatározó problémája, hogy a nagyobb ammónium tartalmú hulladékok újrahasznosítását a szükséges (gazdaságosan hasznosítható) területek hiánya, a lakossági szennyvizek ammónium tartalmáét pedig annak a kis ammónium koncentrációja limitálja. Kivétel talán a házi szennyvíztisztítók esete a tanyásias térségekben, ahol az öntözhető földterület korlátlanul áll rendelkezésre (Kárpáti, 2001). Itt is korlátozó lehet azonban a geológiai adottság, a talajminőség, talajvízszint és egyéb körülmények.

A talaj túlterhelése egyébként valamennyi szennyvíztípus esetében a nitrogén és foszfor tekintetében jelentkezik, a víz és szerves anyag mennyiség ahhoz képest mindig növelhető lenne. A trágyák mezőgazdasági hasznosításának ezen túl csak az lehet a problémája, ha gazdaságosan elérhető közelségben nincs alkalmas mezőgazdasági terület ammónium tartalmuk megkívánt dózisban történő kihelyezéséhez. Mivel a megoldást a vizek nagyobb távolságra történő szállításának a költsége korlátozza, a folyadékok olcsó koncentrálása (például a membrán-szeparáció - RO) is változtathat a jövőben valamelyest a helyzetet. Napjainkban a műtrágyák termőföldre történő szállítása és kiszórása még sokkal olcsóbb, gazdaságosabb, mint a folyékony trágyáké, koncentrált ammónium tartalmú folyadékoké.

A nagy ammónium koncentrációjú vizek ezen túl a növényekre semmiképpen nem öntözhető közvetlenül, csak a vegetációs időszakot követően a talajra. Ez utóbbi növénykárosító hatás egyébként a többi nagyobb ammónium tartalmú szennyvíz, és a hígtrágya kihelyezésénél is fennáll. Ez persze megfelelő térfogatú és biztonságú (talajszigetelés) tározó kiépítését igényli, a folyamatos, egyenletes hulladékkeletkezés miatt. Ez további jelentős költség. A folyadékeltávolítás egyébként csőrendszerrel a legolcsóbb, de az is költség, s ezért a kihelyezés távolságát hasonlóan korlátozza. A trágyarögzítés folyamatos üzem, melynél a keletkező folyékony maradék időszakos tározásának az igénye is ugyanúgy jelentkezik ezért, mint a hígtrágyáknál.

A talajvíz szennyezésére tehát mindenképpen az ammónium a legveszélyesebb, hiszen mind ammónia, mind nitrát formájában történő talajvízbe történő szivárgása egyaránt káros. Könnyen belátható ezért, hogy a trágyák és szennyvíziszapok napjainkban különösen támogatott bioenergia termelésére történő hasznosításának egyik oka az energiatermelésen túl az ammóniaterhelés csökkentése is (Piccinini, 2003). A szerves anyag részleges elgázosítása lehetőséget teremt az ammónium vizes fázisból történő későbbi eltávolítására. Éppen ezért a biogáz gyártás folyékony, ammóniás maradékai ammóniumtartalmának a szállíthatóságot biztosító koncentrálása, vagy elemi nitrogénné történő olcsó átalakítása lesz a közeljövő meghatározó fejlesztési feladata. Az előbbi látszik jelenleg nehezebbnek, annak ellenére, hogy a membránok fejlesztése is ugrásszerű.

A kémiai lehetőségeit illetően az ammónia kicsapatása ($MgNH_4PO_4$ - MAP, vagy struvit) nem tűnik biztatónak, hiszen ilyen nagy mennyiségű, drága magnézium talajban történő elhelyezésére semmi szükség. A nagyobb (néhány g/l) ammónium tartalmú szennyvizekből az ammóniumot sztrippeléssel is el lehet távolítani. Az ilyen szennyvizekből lúgos pH-nál a molekuláris ammónia viszonylag könnyen kidesztillálható, sztrippelhető, majd ismételt elnyelehető, s ezzel koncentrált formába hozható. Az elnyeletés különböző vegyszerek vizes oldataival is lehetséges. Elképzelhető $(NH_4)CO_2$, NH_4OH , NH_4NO_3 , $(NH_4)_2SO_4$ formában is.

A koncentrált nitrogén tartalmú növényi tápanyag oldatok nagyobb távolságra is szállíthatók lehetnek. Ilyenkor a széles körben felhasználásra kerülő műtrágyák nitrogén tartalmának a helyettesítésére hasznosíthatók. Gondosan ügyelni kell azonban az ammónia- és/vagy nitrát-nitrogén és a többi meghatározó növényi tápanyag megfelelő koncentrációjára, arányára az öntözővízben, valamint a kijuttatott tápanyagmennyiségek dózisára is. A vegetációs időszakon kívül természetesen nagyobb koncentrációban történő kihelyezés is lehetséges, a dózisa azonban olyankor is ügyelni kell. A túltrágyázás a talajvíz szennyezésének a veszélyével jár. Az ilyen tápanyag visszaforgatás hiányossága azonban az optimális tápanyagellátás nehéz biztosíthatósága. A káliumot, a homokos talajok esetében külső forrásból kell biztosítani, ami egyidejű műtrágyázást is jelent. A fahamu beoldása ugyan

megoldás lehetne, de ez további technológia és ellenőrzés igény, amit a felhasználói környezet nehezen tud biztosítani. És talán éppen itt válik egyértelművé a műtrágyázás célszerűsége, mert annál a tápanyagigénynek megfelelően könnyebb ma még a kezelőszer kompozíciót beállítani. A komposzt esetében éppen ezért a káliumpótlást ma már kezdik a fahamu bekeverésével is biztosítani.

Az ammónium fizikai, vagy kémiai úton ma még gazdaságosan elválaszthatatlan mindegyik fenti koncentráció tartományban. Pedig az ilyen kinyerése, majd koncentrált folyadékként, vagy szilárd termékként történő újra elosztása, s az intenzív növénytermesztés nitrogén igényének a vele történő biztosítása lenne ideális. Helyette napjaink gyakorlata mind a húsipari, mind az ATEV üzemek esetében a vegyes, netán vegyszeres szilárd fehérjés hulladékok komposztálással történő „bérfeldolgoztatása”. Ez a megoldás a szalmával történő nagymértékű hígítás esetén jónak tűnik, bár a vegyszerhulladék változatlanul a termékben marad. A helyes komposztálásnak ugyanakkor a fertőtlenítő hatása számottevő, jó esetben megfelelő a fertőzésveszély elhárítására (Kárpáti, 2002).

A szennyvíztisztítás vonalán a fentiek miatt az elmúlt évtizedek során hatásos technológiák kerültek kifejlesztésre a szennyvízből történő nitrogén-, és foszforeltávolítás fokozására. Az egyik legújabb, ígéretes eredmény az iszapvízből történő szeparált nitrogéneltávolítás (SHARON-Anammox) (Kárpáti, 2003; van Dongen et al., 2001). Sajnos ezzel az ammónium a lényegesen hígabb lakossági szennyvizekből azonban nem távolítható el a megkívánt koncentrációig. A nitrogén-mentesítésre javasolt új SHARON-Anammox megoldás maradékában az ammónium-, és nitrát-tartalom ugyanakkor olyan kicsi, hogy a folyadék a talajokra akár folyamatosan is kihelyezhető. Ha teljes nitrogéneltávolítás lenne ezen túl valahol a cél, tehát nem a mezőgazdasági elhelyezés, hanem az élővízbe vezetés, ilyen nitrogén-mentesítést egy további, minimális kapacitású hagyományos aerob utótisztítással biztosítani lehet. További kérdés azonban a tisztított víz sterilítése, ami mind a mezőgazdasági öntözés, mind a felszíni befogadókba történő bevezetés esetén kritérium. Ez az ilyen tisztítást követően akár hideg sterilizálással (UV fertőtlenítés) is biztosítható.

Nitrogéneltávolítás fokozása a rothasztó iszapvizének szeparált kezelésével

Biológiai lehetőségek

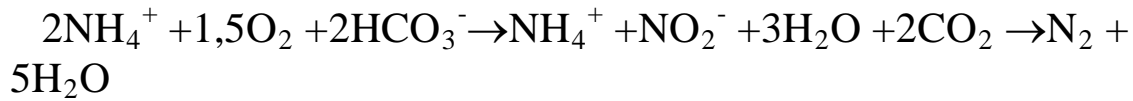
Napjainkban az $\text{NH}_4\text{-N}$, illetőleg redukált, vagy oxidált nitrogéntartalom csökkentésére az általános gyakorlatban még csak a hagyományos nitrogéneltávolítást, a nitrifikációt / denitrifikációt alkalmazzák. A lakossági szennyvíztisztítók ennek megfelelően a szennyvizek ammónium tartalmának a döntő részét, 70-80 %-át, így alakítják elemi nitrogénné az alábbi összegző reakcióegyenlet szerint:



A nitrátból nitrogénjének a szerves szén felhasználásával történő redukciónak ilyenkor heterotrof biomassza végzi komoly fajlagos iszaphozammal. A maradék nitrogén tápanyag inkább nitrát formájában marad a tisztított vízben, mintsem ammóniaként.

A már említettek szerint a kommunális szennyvíztisztításnál csak az anaerob rothasztó iszapvize ammóniumtartalmának, ami a telep teljes nitrogénterhelésének csak mintegy 15-20 % -a (amely a szerves anyag eltávolítása során a keletkező iszapba kerül), lehet megoldás a

már hivatkozott SHARON-Anammox megoldás (Kárpáti, 2003; van Dongen, et al., 2001) a következő összefüggés szerint:



Mindegyik átalakítási lépcsőt autotrof mikroorganizmusok végzik. Láthatóan mindkét folyamathoz elvileg megegyező mennyiségű oxigén kell. Az utóbbihoz azonban nem kell szerves anyag (4,3 kg KOI /kg N), továbbá az iszapprodukcója is minimális. Ez a folyamat éppen azért kedvezőbb. A tisztán autotrof rendszerben a speciális, gyorsan szaporodó autotrof mikroorganizmusok válhatnak dominánssá. A heterotrof denitrifikációnál szükséges szerves anyag igény megtakarítható, ami a metanizációnál jelenthet az utóbbinak megfelelő energiahozam növekedést. Ez a folyamat azonban csak nagyobb ammónia koncentráció (>300 - 400 mg/l) esetén stabilis. Ezért a tisztán autotrof megoldás a szilárd trágya, a hígtrágya, valamint az egyéb koncentrált ammóniás vizek nitrogéntartalmának a nitrogénné alakítására lehet csak alkalmas, természetesen a szerves anyagok előzetes eltávolítását követően.

Az ilyen ammónium (nitrogén) eltávolítás azonban a kisüzemi trágyarothasztásénál lényegesen pontosabb, bonyolultabb folyamat-szabályozást is igényel. A komoly nitrogén kihelyezési problémák (iszapvíz elhelyezési igény) azonban úgyszólván egyértelműen a nagy kapacitású trágyarothasztóknál jelentkeznek, ahol az ilyen szabályozás kellően biztosítható. Az említett technológia a lakossági szennyvíztisztításban megfelelőnek bizonyult (van Dongen et al., 2001), trágyarothasztók szennyvizeinek a nitrogén-mentesítésére azonban eddig még próbálták ki. Igen nagy valószínűséggel a megoldás ott is megfelelhet.

Ugyanez a technológia az ATEV üzemek kondenzvizeire még kedvezőbb távlati lehetőséget ígér. Ezeknél az ammónium tartalom még nagyobb, s a hagyományos denitrifikációhoz rendelkezésre álló tápanyag hiánya is fokozottabb. Saját területük a kondenzvíz öntözésére nincs, az ipari üzem ugyanakkor nagyobb biztonsággal üzemeltethet ilyen megoldást, mint egy állattartó telep.

Fizikai-kémiai módszerek

A sztrippeléssel összekötött egyéb kémiai lehetőségek (abszorpció $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, NH_4OH , NH_4NO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ formájában) az eddigi gyakorlat során nem bizonyultak rentábilisnak (Kajan, 2003). Ez azonban akár meg is változhat a műtrágyák árának a változásával a jövőben.

Az ammónia sztrippelése, majd közvetlen égetése látszik még a koncentrált ammóniumos folyadékoknál technikai lehetőségnek, de azt a szennyvíztisztítás gyakorlatában is igazolni kell. Az ammónia égetése a növényi hulladékokból történő szerves szén hasznosítás analógiája. Egy ilyen ammónia-hasznosító egység egy hagyományosnak tekinthető desztillációs, illetőleg azt követő ammóniumégető kazán és termikus energiahasznosító (kazán/hőcserélő) egység. A sztrippeléssel a 3-4 g/l ammónium koncentrációjú folyadékból mintegy 90 %-os ammónia eltávolítás biztosítható. A sztrippelés lúgos közegből közvetlen gőzbevezetéssel történhet. A sztrippelés a jelenlegi üzemi kiépítésnél 25-30 mm átmérőjű és hosszúságú, teflonnal bevont Raschig gyűrűkkel töltött, 6-8 méter magasságú, 60-80 cm átmérőjű kolonnán történik, de valószínűleg saválló acél Raschig betéttel is biztosítható. A

különleges bevonatú töltet minimalizálja a bomló ammónium vegyületek korrozív hatását (Uppor, A., 2003).

Az eddigi tapasztalatok szerint a csak szabad ammóniumot tartalmazó szennyvizet mintegy 10-es pH-nál célszerű desztillálni, míg a szerves nitrogén tartalmúakat 10,5-11 pH között lehet megbontani. Ilyen igény a szerves aminokat tartalmazó, korábban említett kondenzvizek esetében is jelentkezik. A kémhatás beállítása mindenféleképpen nátriumhidroxiddal előnyös a tölteten történő lerakódások elkerülésére. A kalcium könnyen kiválik az ilyen vizekből. A kiválások jelentkezése egyébként a hígtrágyák, vagy nagy ammónium tartalmú rothasztási iszapvizek esetleges sztrippelése esetén még valószínűbb. A nátronlúg (NaOH) nem különösebben drága, ugyanakkor nem a legkedvezőbb a víz további mezőgazdasági elhelyezésénél. Kálium-hidroxiddal történő helyettesítése előnyös lenne, de a költségeket számottevően növeli. Az égetés az ammónia nitrogénné történő parciális oxidációját jelenti, egyedi égető berendezésben. Ez komoly berendezés és szabályozásigényt jelent. A metánnal együtt, gázmotorban történő égetés nem jöhet szóba.

A biogázosítás szilárd maradékainak az elhelyezési problémái

A trágyák, netán élelmiszeripari, fehérje és/vagy kicsapószer tartalmú iszapok szerves széntartalma energetikai hasznosításának további problémája, az ammónium iszapvízbe kerülésén túl, hogy míg a trágya mezőgazdasági elhelyezése, hasznosítása, bizonyított veszélytelensége révén régóta engedélyezett, a vegyes rothasztás maradékáról mindezek nem mondhatók el. A hatóságok szakemberei az ilyen iszapok mezőgazdasági talajokra történő kihelyezését rendszerint csak a veszélyes hulladékokra előírt minősítés elvégzését követően engedélyezik. Nem okoz azonban ez különösebb gondot, ha az alapanyag összetételét a biogáz termelésénél kellően ellenőrizni lehet, ami persze a rothasztási technológia, illetőleg annak üzemeltetése tekintetében is meghatározó kérdés.

Fontos, hogy az iszapok ne tartalmazzanak határérték felett nehézfém szennyezést. Ezt az előtisztításnál használt vegyszerek minőségével lehet ellenőrizni. A cinktartalom ettől függetlenül kritikus lehet az állati hulladékok nagy cinktartalma miatt. Hollandiában a cink mellett a réztartalom is reménytelenül teszi a trágyarothasztás maradékának a mezőgazdasági hasznosítását. A réz köztudottan a holland sertéshizlalás neuralgikus pontja. Ólom esetenként nagy ólom tartalmú méshidráttal kerülhet jelentős koncentrációban az iszapmaradékba, illetőleg ilyenkor az ólommal esetleg még kevés kadmium is bekerülhet abba. Az utóbbiak azonban igen ritkán, csak nagyon rossz mészforrás esetén jelentkezhetnek.

Az alapanyag oldaláról ilyen szennyezés veszély a vegyszereken túl inkább a szilárd lakossági hulladékok biológiailag bontható részének a biogáz termelésre történő hasznosításából jelentkezhet. Ezzel a nyersanyaggal a vegyes rothasztásánál olyan, az állati trágyában elő nem forduló szintetikus szerves szennyezők is kerülhetnek a maradékba, amelyek a hasznosítást teljesen lehetetlenné teszik. Természetesen ez nem csak az ilyen vegyes biogáz termelés, de a hasonló, vegyes komposztálás termékére is érvényes.

Összefoglalás

Az élelmiszertermeléssel, feldolgozással és fogyasztással kapcsolatos szilárd és folyékony hulladékok jelentős energia és tápanyagforrás. Ezeket azonban csak megfelelően ellenőrzött technológiákkal szabad hasznosítani. Mindenképpen gondot jelenthet az ammóniumnak a

növények öntözésére kedvezőtlenül kicsi, vagy nagy koncentrációja. Az utóbbi esetben a maradékokat (szilárd és folyékonyt egyaránt) a vegetációs cikluson kívüli időszakban szabad csak kihelyezni a talajra, vagy talajba. A biogáz-termelés szilárd maradékának a mezőgazdasági hasznosítása a trágyáktól eltérő, sokféle egyéb alapanyaggal vegyesen történő rothasztás esetén további komplikációt jelent, hiszen ilyenkor nehéz az alapanyag minőség-ellenőrzése, amiért a káros szennyeződés veszélye is fokozottan fennáll.

Irodalomjegyzék

- Kajan, M. (2003) Biogas in Czech Republic. Biogas from biomass – Experience from Europe – Potentials for Hungary. AD-Nett Seminar in Sopron, Hungary, June 26-27. pp. 16.
- Kárpáti, Á. (2003) SHARON - Anammox eljárások - várható hatásuk a szennyvíztisztításban. VII. Országos Vízi - Közmű Konferencia, Sopron, 2003. június 12-13. (CD)
- Kárpáti, Á. (2001): A szennyvíztisztítás környezetbarát lehetőségei ritkábban lakott térségekben. Vízügyi Közlemények, LXXXIII (2) 237-249.
- Kárpáti, Á. (2002) Komposztálás. Szennyvíziszap rothasztás és komposztálás, Kárpáti, Á., Ismeretgyűjtemény, No. 6, Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, 19-96.
- Piccinini, S. (2003) Anaerobic digestion in Italy: Contribution to renewable energy production and emission reduction. Biogas from biomass – Experience from Europe – Potentials for Hungary. AD-Nett Seminar in Sopron, Hungary, June 26-27. pp. 10.
- Upor, A. (2003) Személyes adatszolgáltatás.
- van Dongen, U., Jetten, M. S. M., van Loosdrecht, M. C. M. (2001) The SHARON - Anammox process for treatment of ammonium rich wastewater. Wat. Sci. Tech. 44 (1) 153-160.
- Ziskó, G. (2003) Kérdések és válaszok az állati eredetű melléktermékekről. A Directorate-General for Health and Consumer Protection (SANCO) 2002 nov. 3.-i brüsszeli szemináriumának beszámolója, Húsipar, 2003 (1) 41-43.