6.6 Hulladékok folyadékfázisú kezelése anaerob és aerob módszerekkel

Tárgyszavak: aerob; anaerob; depónia; hulladékkezelés; maradék; maradványkezelés.

Hulladékok lerakás előtti kezelése

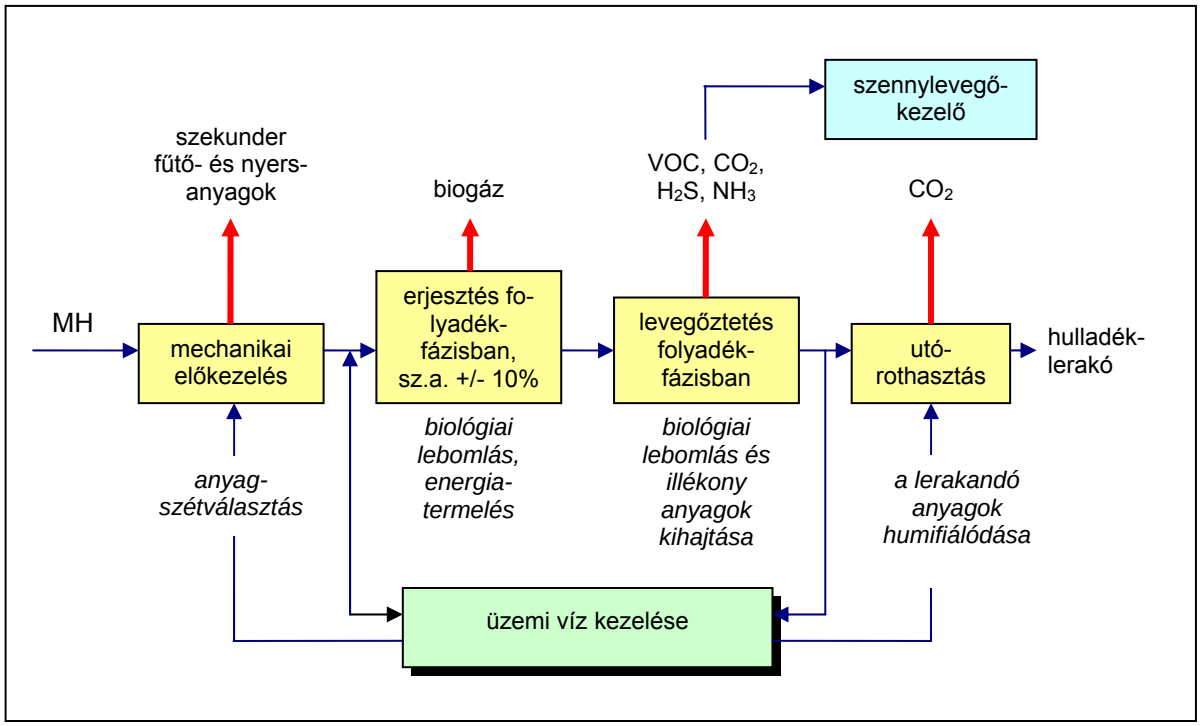
Németországban a külön gyűjtött és értékesíthető frakciók után visszamaradó ún. maradék hulladékot (Restabfall) a települési hulladék környezetkímélő lerakására vonatozó, 2001 óta hatályos szövetségi rendelet követelményeinek megfelelő módon 2005-től csak súly- és térfogatcsökkentő mechanikai-biológiai kezelés után lehet depónián elhelyezni. Ilyen eljárást dolgozott ki a német „farmatic biotech energy ag" cég, és annak vizsgálatával megbízta a Hamburgi Műszaki Egyetemet.

A mechanikailag előkészített maradék hulladékot (**MH**) a nagy fűtőértékű rész leválasztása után kb. 10%-os vizes szuszpenzióban erjesztik, és az így képződő biogáz energetikailag hasznosítható. Az anaerob erjedést a folyadék aerob kezelése követi, amelynek az az előnye, hogy az illékony komponensek, köztük szénhidrogének, metánnal vagy anélkül (volatile organic compounds, VOC, non methane volatile organic compounds, NMVOC), továbbá NH_3, H_2S és a szaganyagok a homogénné kevert szuszpenzióból kihajthatók. Ehhez a művelethez savas gázmosás és regeneratív termikus oxidálás kapcsolódhat. Végül a víztelenített szilárd frakció utórothasztása folyamán lebomlanak a biokémiailag nehezebben hozzáférhető szerves anyagok, és huminsavak képződnek.

A folyadékfázisú anaerob erjesztés, majd a folyadék aerob stabilizálása és az utórothasztás mint hármas hulladékkezelési koncepció (*1. ábra*) a megengedett határértékekig csökkenti a lerakandó MH emissziós potenciálját.

A maradék hulladékok lerakásának jogszabályi feltételei

A 2001. évi német hulladéktörvény a mechanikai és biológiai kezelésen átesett hulladék lerakásának feltételeként a benne levő *összes szerves vegyület* (total organic compunds, TOC) alábbi határértékeit írja elő (maximális értékek):



1. ábra A maradék hulladék (MH) folyadékfázisú anaerob erjesztésből és aerob kezelésből, valamint szilárd fázisú utórothasztásból álló kezelésének vázlata

I.

– súlyarány: $TOC_{szilárd}$ = 18%
– felső fűtőérték: $TOC_{f.fűtőe}$ = 6000 kJ/kg és
– kioldható koncentráció: $TOC_{eluátum}$ = 250 mg/L.

Ellenőrző vizsgálat eredményeként még elfogadható értékek (vagyis a lerakás engedélyezhető):

II.

– $TOC_{szilárd}$ = 21%,
– $TOC_{f.fűtőe}$ = 7000 kJ/kg,
– $TOC_{eluátum}$ = 300 mg/L,

feltéve, hogy az előző 12 hónap vizsgálati eredményeinek

– 80%-a kisebb volt a II.,
– 50%-a az I. csoport eredményeinél.

A hulladékok biológiai vagy kombinált biológiai–fizikai kezelését végző üzemek felállítását, felépítését és működését az immisszióvédelmi törvény végrehajtási utasításaként 2002-ben hatályba lépett rendelet szabályozza (*1. táblázat*).

1. táblázat

A maradék hulladékot biológiai vagy kombinált biológiai–fizikai eljárással kezelő üzemek emissziós határértékei

Paraméter	**Koncentráció a tisztított szennygázban**		
	félórás középérték	**napi középérték**	**havi középérték**
Dinitrogén-oxid, N_2O	–		100 g/Mg
Ammónia, NH_3	30 mg/m^3		–
Por	30 mg/m^3	10 mg/m^3	–
Dioxinok, furánok		0,1 n/m^3	
Szag, szagegység		500 egység/m^3	
Összes szénhidrogének, TOC	40 mg/m^3	20 mg/m^3	55 g/Mg

A rendelet általánosságban előírja a teljes hulladékkezelő üzem betokolását – szennygázelvezetéssel és -tisztítással együtt, de arra is felhatalmazza az illetékes hatóságot, hogy többfokozatú biológiai eljárásnál eltekintsen ettől, amennyiben biztosítva látja káros környezeti hatások megelőzését más hatékony intézkedésekkel.

Kísérleti módszerek

Az előzetes kísérletekben a koncepció folyamatait három összeállításban tanulmányozták:

1. a mechanikailag előkészített MH aerob kezelése 10% szárazanyagot tartalmazó vizes szuszpenzióban (I. MH),
2. összehasonlító vizsgálat a folyadékban való erjesztés + aerob kezelés folyadékban és a folyadékban való erjesztés + intenzív rothasztás között (II. MH),
3. erjesztés folyadékban + kezelés folyadékban + utórothasztás (III. MH)

Az 1. kísérletben meghatározták az előzőleg szárazon, 55 °C-on erjesztett MH oxigénigényét 35 °C-on. A második kísérlet alapanyagát az előzetesen mechanikailag kezelt MH nagy fűtőértékű része szolgáltatta, amelyet 10, 20 és 30 mm szemcsenagyságú frakciókra aprítottak fel. Az 5%-nyi vízen úszó részt erjesztés előtt lefejtették. A 3. kísérlet alapanyaga a kommunális és háztartási jellegű hulladék 3 mm szemcsenagyságúra aprított maradéka volt (*2. táblázat*).

2. táblázat

A kísérleti maradék hulladékok (MH) jellemzői

	1. kísérlet **I. MH**	**2. kísérlet** **II. MH**	**3. kísérlet** **III. MH**
Előkezelés	MH és szennyvíziszap előzetes száraz erjesztése	a nagy fűtőértékű frakció elkülönítése, d<30 mm	aprítás gázos malomban d<35 mm-re, mágneses és szitás szétválasztás
Input	erjesztési maradék	MH, d<10, 20, 30 mm	MH + kisipari hulladék, d< 3 mm
szárazanyag, %	41,0	61,9	64,7
TOC, % (izzítási veszteség)	18,3	23,8	24,5
At_4, mgO_2/g.sz.a	13,5	102	36,6
GB_{21} (NL/kg sz.a)	–	205	165

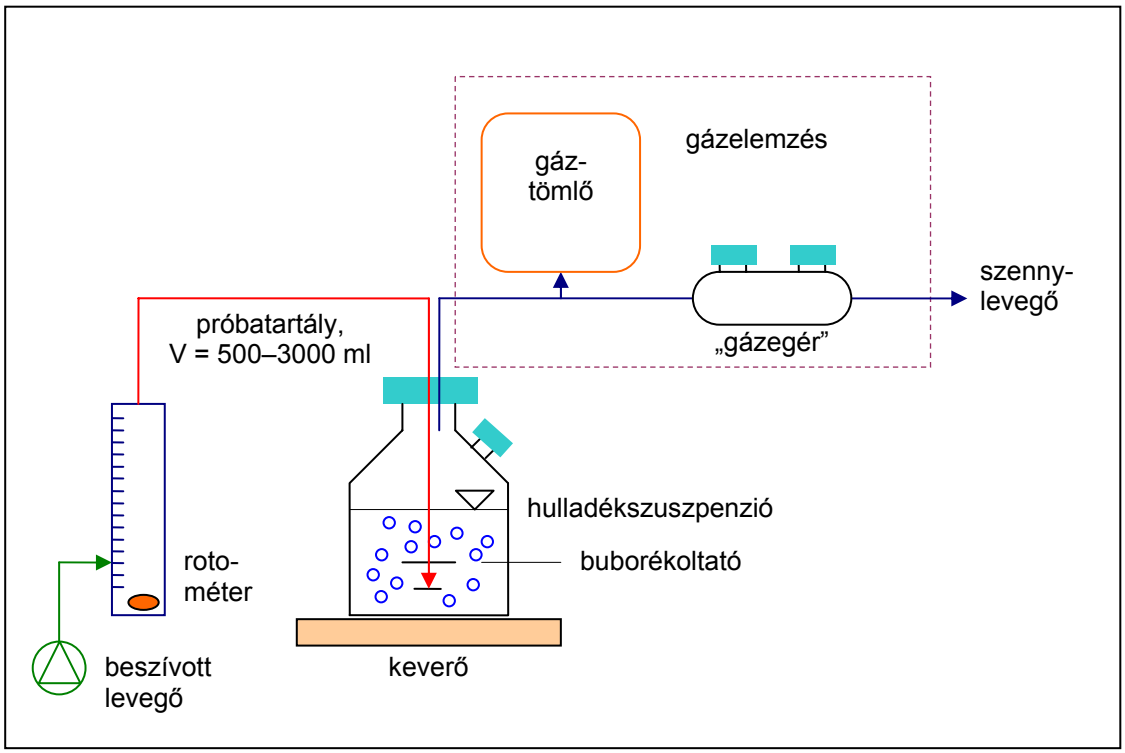
At_4 = légzőaktivitás 4 nap után,
GB_{21} = gázképződési potenciál 21 nap után,
sz.a = szárazanyag,
NL = normál liter.

A kísérletekben az egyes feladatokhoz használt tesztrendszerek a következők voltak:

– a gázfejlődés méréséhez anaerob berendezés 500 ml töltőtérfogattal,
– az oxigénigényhez és az utórothasztás ellenőrzéséhez respirométer,
– speciális berendezés levegőztetéssel kihajtható komponensek és a fajlagos levegőztetés meghatározására,

– a szennylevegő vizsgálatához 10 l-es gáztömlő és „gázégés” (*2. ábra),*
– a 2. kísérlethez ezenkívül nemesacél és üvegreaktort használtak.

A különféle, d<0,25 mm-re aprított MH és gázmintákat az egyes analitikai módszereknek megfelelő előkészítés (különböző fokú szárítás, finomőrlés, centrifugálás szuszpenzióból, szűrés), valamint szabványos mintavétel után elemezték.



2. ábra Levegőztető tesztrendszer

Eredmények

Biogáztermelés

21 napos kezelés után az MH szárazanyagára számítva 165–205 m^3 biogáz fejlődik (*3. táblázat*). A nagy fűtőértékű frakció kiemelése jobb gázhozamot eredményez az alapanyagban a könnyen lebomló szénhidrogének nagyobb aránya folytán. A 3. kísérletben, a biogáz metánkoncentrációja alapján ítélve, az erjedés már két hét után elérte a teljes (3 hetes) biogáztermelő potenciál 92%-át.

Oxigénigény

Az anaerob előkezelésű MH aerob kezeléséhez folyadékfázisban eleinte sok oxigénre (1,8 mgO2/h.g.sz.a) volt szükség; majd egy hét után beállt a kb. 0,2 mg O_2/h.g.sz.a rátájú fogyasztás. A gyakorlatban ajánlatos, hogy a mikroorganizmusok működéséhez rendelkezésre álljon legalább 1 kg O_2/h.kg.sz.a. A szükséglet a hulladék fajtájától, a levegőztető berendezés szerkezetétől és az aerob kezelési foktól is függ.

3. táblázat

A biogázhozamok és -minőségek összehasonlítása

	2. kísérlet		**3. kísérlet**	
Kezelési időtartam	**2 hét**	**3 hét**	**3 hét**	**2–3 hét**
	biogázhozam			
Kimenet FS	98 m^3/Mg	107 m^3/Mg		60–110 m^3/Mg
Kimenet TS	152 m^3/Mg	165 m^3/Mg	205 m^3/Mg	113–160 m^3/Mg
	biogázminőség			
CH_4-tartalom		66%	71%	57–65%

A szennygáz összetétele és aerob kezelés folyamán

A folyadékfázisú aerob kezelés folyamán távozó szennylevegőben az összes illékony (széntartalmú) vegyületet (total volatile organic compounds, TVOT) és az ammóniát (az NH_3-N-et) elemezték. A 2. kísérletben az előbbin 200–450, a 3. kísérletben 100–370 mg C/Nm^3-t találtak. A TVOC maximumát szintén a kísérletek elején mérték, az első napon 50%-os metánaránnyal. A csökkenő TVOC-értéknek megfelelően kell a távozó levegőt kezelni az idézett immisszóvédelmi rendeletben előírt 20, ill. 40 mg/Nm^3-es félórás és napi középérték betartásához.

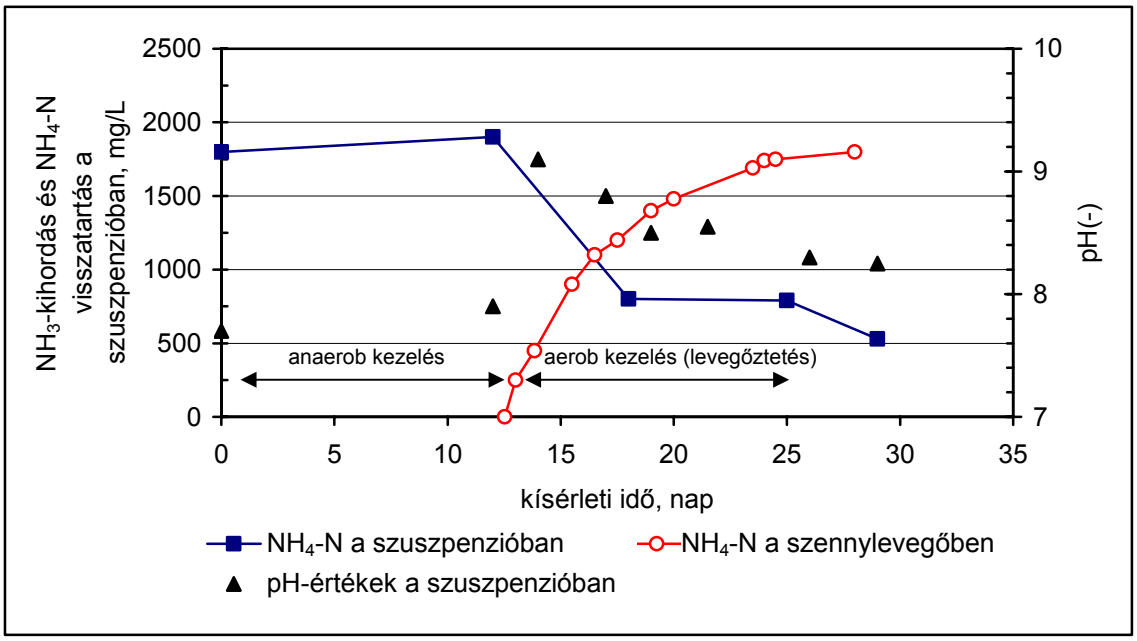
Az emisszióból lefejtett ammónia mennyisége 200 és 650, ill. 600 és 1200 mg/Nm^3 közötti koncentrációnak megfelelően változott, ismét az indulástól erősen csökkenő tendenciával.

A kibocsátott, köbméterenként 500–700 szagegység (3. kísérlet) a nyersgázra megadott irodalmi adatokhoz (5000–40 000) képest igen kevés. Valószínű, hogy a szuszpenzió gátolja az erős szagú vegyületek kiszabadulását, amelyek rothasztáskor könnyebben eltávolíthatók.

Egy 2003-ban megjelent német monográfia a MH kombinált aerob/anaerob szilárd fázisú kezelésére 2000–6000 m^3/Mg levegőszükségletet ad meg, ami folyadékfázisban, optimált módszerrel jelentősen csökkenthető.

Az ammónium-nitrogén mennyiségének csökkenése

A folyadékfázisú aerob kezelés során kibocsátott ammónium-nitrogént (NH4-N) levegőztetéssel nagymértékben lehet csökkenteni. A pH 7,2-ről 9,8-ra történő emelkedése nyomán az ammónium/ammónia-egyensúly az utóbbi javára tolódik el, ennek következtében a kezdeti, 1840 mg/l-os NH_4-koncentráció végül 530 mg/l-re csökken, ezzel párhuzamosan pedig nő az NH_4-emissziós kivitele (*3. ábra*).



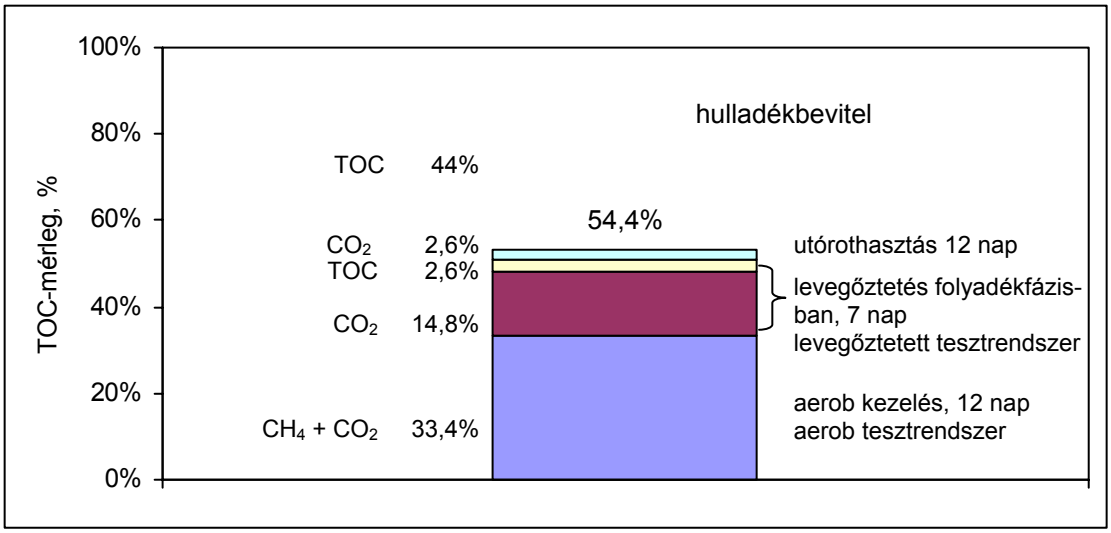
3. ábra Ammóniakihordás a szennylevegővel a folyadékfázisú aerob kezelés során

A szén lebomlása

Az egyes részfolyamatokban végbemenő, az MH C-tartalmára vonatkoztatott szervesanyag-lebontást a szénmérleg jellemzi (*4. ábra*). Az MH-ban – a keletkező biogázmennyiségből (CH_4, CO_2) meghatározva – 12 napi erjedés után 33,4 %(m/m), 22 nap után pedig 36,3 %(m/m), a bevitt MH TOC-értékére számított szén bomlik le. A szilárdanyag TOC-

tartalmának ezen időpontban mért eredménye csak 1%-kal tér el a fenti számított értéktől. Az MH-ban lévő szén egy része erjedés után oldott állapotban van a szuszpenzió folyadékában.

A folyadékfázisú kezeléskor az MH-ban lévő C 14,7%-a CO_2-ként „kilégződik”, kihajtás útján pedig 2,6% szerves szén (TOC) kerül ki a rendszerből.



4. ábra A kezelt hulladék szénmérlege az egyes részkezelések folyamán

Az utórothasztás 25 napja alatt az MH-ban levő szén CO_2-vé alakul át. Az eljárásnak ez az új kombinációja tehát lehetővé tette a kezelendő MH-ben levő szerves szén 53%-ának

- átalakulását metánná és szén-dioxiddá, vagy
- leválasztását TOC formájában.

Ebből a mennyiségből

- 62,5% jut az erjesztésre,
- 32,5% a folyadékfázisú, aerob kezelésre és
- kb. 5% az utórothasztásra.

A kezelt MH értékelése a lerakási kritériumok szerint

A hulladéklerakási rendelet követelményei szerinti értékeléshez a kezelt MH legfontosabb paraméterei közül az eluátumban

- a lezajlott kezelés után mért légzőaktivitás döntően befolyásolja az utórothasztás kialakítását,

– a $TOC_{eluátum}$ a legnehezebben betartható mutató, így meghatározza a kezelés időtartamát, ezzel a hulladékkezelési költségre is hatással van.

A légzőaktivitási vizsgálatok alapján

– 22 napos folyadékfázisú erjesztés és ezt követő 7 napos aerob kezelés után tartható az 5 mgO_2/g sz.a határérték,
– a rövidebb időtartamok (12 napos erjesztés, 6 napos kezelés) után szükség van a víztelenített anyag utórothasztására,

Végeredményben tehát összesen 35 napig tartó kezeléssel megvalósulhat a légzőaktivitás kívánt értéke.

Egy másik törvényes követelmény szerint 20 mgO_2/g sz.a-nál kisebb légzőaktivitásnál a rothasztó berendezést engedélyeztetni kell, ami rendszerint annak betokolásához van kötve. Ez a határérték elérhető 22 napos erjesztéssel és 6 napos levegőztetéssel.

Az eljárásnak itt ismertetett és kipróbált kombinációjával elkerülhető tehát a kezelő egység teljes elzárása lefedéssel, burkolással. A TOC- és ammóniaemissziót szintén be lehet fogni a folyadékfázis zárt aerob kezelése során.

Az eluátum TOC-koncentrációjának 250 mg C/l-es határértékét az új koncepció feltételei mellett 5, ill. 3 hetes utórothasztással szintén teljesíteni lehet. A rothasztási idő esetleg megrövidülhet további optimálással, nincs kizárva a szakaszos üzemmódról folytonos technológiákra való áttérés kedvező hatása sem.

Összeállította: Dr. Boros Tiborné

Heerenklage, J.; Stegman, R.: Anaerobe/aerobe Vorbehandlung von Restabfallen in der Flüssigphase. = Müll und Abfall, 36. k. 5. sz. 2004. p. 215–220.

Im, J. H.; Woo, H. J.; Choi, M. W.: Simultaneous organic and nitrogen removal from municipal landfill leachate using an anaerobic-aerobic system. = Water research, 35. k. 10. sz. 2001. p. 2403–2410.