

Települési szilárd hulladékok anaerob kezelése

Oláh József* - Hódi János** - Juhász János***

* - Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. ** - Mélyépterv Komplex Mérnöki RT. – *** - ÉLINVEST Kft.

Bevezetés

A hulladéklerakó telepeken lerakott települési szilárd hulladék tekintélyes mennyiségű 22 – 35 % biológiailag bontható szerves-anyagot tartalmaz. Az egyre nagyobb tömegű lerakott szerves-anyagnak nagy a környezeti és közegészségügyi kockázata. Különösen a rendezetlen lerakóknál a csapadék hatására keletkező csurgalék-vizek szennyezik a környezetet. A hulladéklerakóknál a rothadás hatására keletkezett metán és szén-dioxid emisszió a légkörben üvegházhatást vált ki. Egyre kevesebb a hely, drágább a hulladék elhelyezése, a települések környéke megtelt, messzebb kell vinni, a szállítási és elhelyezési költségek nőnek.

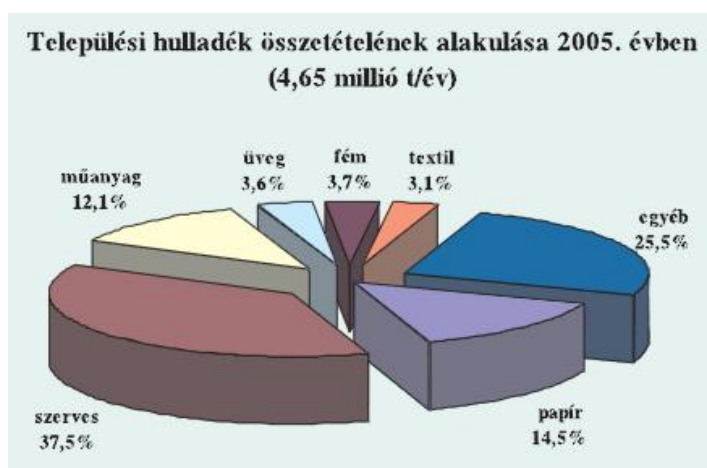
A következőkben azt vizsgáljuk, hogy a szelektíven gyűjtött, vagy osztályozott települési szilárd hulladék szerves-anyagot tartalmazó része hogyan kezelhető anaerob úton, milyen mértékű a hulladék biogáz-kihozatala és a rothasztáshoz milyen reaktorokat használnak. A szilárd hulladék szerves-anyag frakciója komposztálással és rothasztással hasznosítható. Jól ismert kezelési módszer az égetés, amikor a szerves-anyagon túlmenően papír, textil, részben műanyag hulladékok elégetéséből hőenergia nyerhető.

1. A kommunális szilárd hulladék fogalma, összetétele és mennyisége

Települési szilárd hulladék (háztartási hulladék) fogalma alatt az emberek mindennapi élete során a lakásokban, valamint a pihenés, üdülés céljára használt helyiségekben és a lakóházak közös használatú helyiségeiben és területein, valamint az intézményekben keletkező hulladékokat értjük.

A települési szilárd hulladék (TSZH) fogalmába tartozik pl. a salak (beleértve a központi fűtésből keletkezett salakot is), a rongy, a söpredék, hamu, korom, edény, eszköz, ablaküveg, papír, konyhai hulladék (ideértve a műanyag konzervdobozt, üveget), továbbá a kerti és gazdasági hulladék, falomb, nyesedék. Anaerob kezelésnél a háztartásból származó szerves-anyag, a kerti és gazdasági hulladék, falomb, nyesedék jöhet szóba.

Faipari Mérnöki Kar Sopron (*Internet/1*) adatai alapján a hazai települési hulladék átlagos összetételét 2005. évre vonatkozóan az 1.ábra mutatja. A 4,6 millió tonna/év mennyiségnek 0,7 – 1,0 %-a veszélyes hulladéknak minősül.

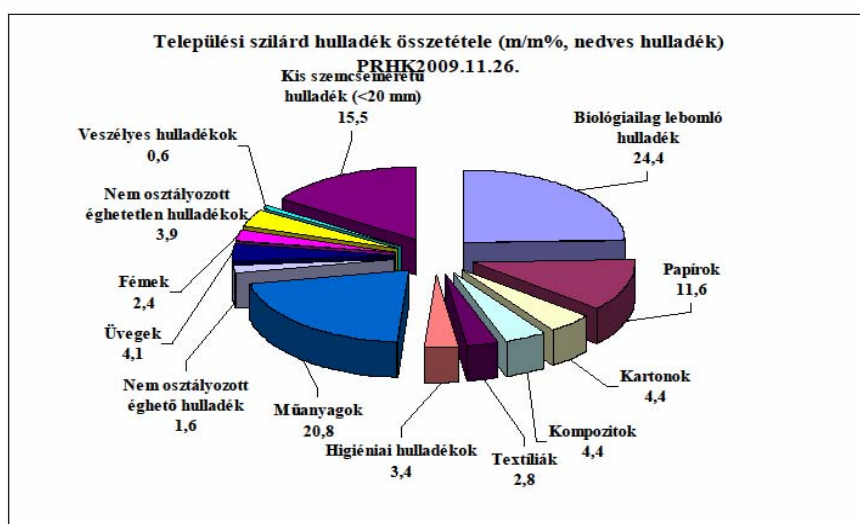


1.ábra A hazai települési hulladék mennyisége és átlagos összetétele

Budapesten gyűjtött és a Pusztázamori lerakóban elhelyezett települési hulladék összetételét a 2.ábra mutatja (*Internet/2*). Az országos átlagként megadott szerves-anyag tartalom 25 – 40% között változik. Az egyes felmérések és értékelések között sokszor nagy eltérések mutatkoznak. *Budapesti Gazdasági Főiskola (Internet/3: 2005)* főlmérése alapján a települési hulladék Budapesti és az országos átlagos összetételét az 1.táblázat tartalmazza.

1. táblázat Települési hulladékok összetétele

Komponens megnevezése	Budapest	Országos átlag
Papír, %	18 – 20	15 – 17
Műanyag, %	12 – 15	5 – 7
Textil, %	5 – 6	3 – 4
Üveg, %	4 – 5	3 – 4
Fém, %	3 – 4	3 – 4
Szerves-anyag (bomló), %	30 – 32	25 – 40
Szervetlen anyag, %	25 – 30	25 – 30



2. ábra Budapesten gyűjtött és a Pusztázamori lerakóban elhelyezett települési hulladék összetétele

Megállapítható, hogy az esetek zömében a települési hulladékok szerves-anyag tartalma eléri 30 – 40 %-ot. A szelektív gyűjtés és osztályozás után a hulladék szerves-anyag frakciója jelentősen megnőhet és elérheti 85 – 90%-ot. A koncentrált szerves-anyag tartalomnak kb. 50 – 55%-a anaerob úton bontható. Ez azt jelenti, hogy a települési hulladék osztályozott szerves-anyaga önmagában is rothasztható, nem szükséges a rothasztásnál kiegészítő (ko-szubsztrát) szerves-anyag adagolása.

2. A települési szilárd hulladék metán-termelési potenciálja

A települési szilárd hulladék (TSZH) összetételét számos tényező (*Owens et al.*, 1993) – a regionális különbségek, a klíma, a gyűjtés gyakorisága, az évszakok, a kulturális viszonyok és a technológiai változások – befolyásolja.

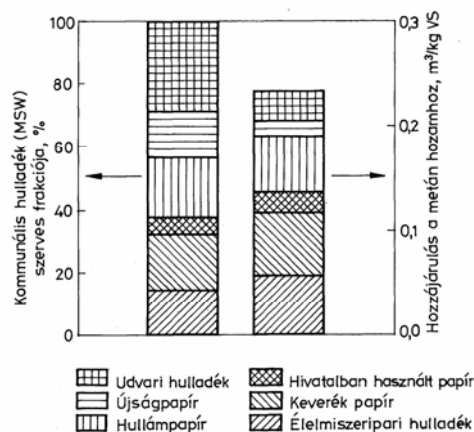
A fajlagos biogáz-termelést mindig a betáplált szerves-anyag (VS) frakcióra vonatkoztatják. A gázhozamot sokszor metánban ($\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t}$ betáplált VS) adják meg, míg más szerzők biogázra vonatkoztatott gázhozammal (Nm^3 biogáz/t betáplált VS) számolnak. A gázhozam metánban történő kifejezése egzaktabb, mert a biogáz metántartalma sokszor változik. A szakirodalomban sok az ellentmondó adat: a betáplált szerves-anyagra vonatkoztatott metán hozam 150 – 210 Nm^3/t VS, a biogázban kifejezett gázhozam 120 – 280 Nm^3/t VS érték között változik.

A települési szilárd hulladék viszonylag kicsiny szerves-anyag tartalma (25 – 40%) és a szerves-anyagként mért frakció összetétele miatt a fajlagos biogáz-hozam viszonylag kicsiny. Ennek ellenére a

világ számos részén a települési hulladék önálló anaerob kezelésére üzemek épülnek. Kisebb mennyiségek (<2000 t/év) esetében mindenképpen egyéb anaerob úton jól bontható hulladékokkal közösen célszerű rothasztani.

A települési szilárd hulladék anaerob rothasztásának szelektív hulladék gyűjtés a feltétele. A papír, műanyag, üveg, fém és a textil frakció szétválogatásával vagyis a szelektív gyűjtéssel a szerves-anyag frakció könnyebben behatárolható. Ennek ellenére a szerves frakció még mindig tartalmaz papírt, kevés fémet, műanyagot és üveget, amelyeket a rothasztás előtt a hulladékból el kell távolítani.

A 3.ábra a szilárd települési hulladék (TSZH) szerves-anyagát alkotó papíryanag komponensek és az élelmiszer hulladék %-os megoszlását és az egyes komponensek CH₄ hozamát szemlélteti. Érdekes, hogy az egyes papírféleségek (hivatali, hullámpapír) metán hozama nagyobb, mint a konyhai hulladék hozama.



3.ábra A szilárd települési hulladékot (TSZH) alkotó papír komponensek és az élelmiszer hulladék %-os megoszlása, illetve az egyes komponensek CH₄ hozama

3. A települési hulladékok rothasztásának módja és alkalmazott reaktor rendszerek

A települési hulladékok rothasztására sokféle technológia megoldás és reaktor rendszer alakult ki (Internet/4). Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a hulladékok rothasztására kialakult rendszereket:

- A szárazanyag tartalom szerint az anaerob kezelés lehet*
 - Neves, folyékony szuszpenziós rendszer. Szárazanyag tartalom 10 – 15 % között változik
 - Száraz rendszer: szárazanyag tartalom 20 – 40% között változik.
- A reaktor táplálása szerint*
 - Szakaszos és folyamatos
- Reaktor elrendezés szerint*
 - Egy-lépcsős rendszer. A hidrolízis, savtermelés és a metán-termelés egy reaktorban megy végbe
 - Több-lépcsős rendszer. Általában két-lépcsős rendszert alkalmaznak, amikor sav- és metántermelés sorba kapcsolt, külön reaktorban megy végbe.
- A települési hulladékok önálló rothasztása*
Az önálló rothasztásánál az alábbi reaktor rendszerek alkalmazása jöhet szóba:
 - Száraz folyamatos rendszer. A szárazanyag tartalmat (20 – 40 %) kevés víz hozzáadásával állítják be. Termofil körülmények mellett folyik a rothasztás
 - Száraz, szakaszos rendszer. A betáplálás előtt a hulladékot aprítani kell és oltóanyaggal elkeverve homogén hulladék-keveréket, kell a rothasztóba betáplálni. A rendszer üzemelése nem a nagy tartózkodási idő miatt nem gazdaságos.
 - Csurgalék-víz kezelő rendszer. A szakaszos rendszerből származó csurgalék-vizet egy új anaerob reaktorban (rendszerint UASB) kezelik a hulladék reaktortól függetlenül.

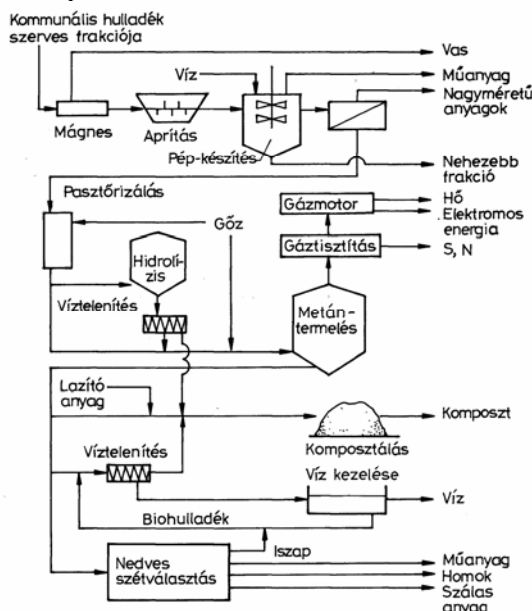
- Nedves, folyamatos, szuszpenziós egy-lépcsős rendszer. Általában 10% szárazanyag tartalommal üzemel
- Nedves, folyamatos, szuszpenziós több-lépcsős rendszer. Általában 10% szárazanyag tartalommal üzemel

e) *A települési és más hulladékok közös rothasztása*

A települési hulladékok más hulladékkal történő (ko-szubsztrát) közös rothasztásánál a fentiekben ismertetett reaktorok bármelyike alkalmazható.

3.1. A települési hulladékok előkezelése

A települési hulladékok szerves frakciójának rothasztása mindenesetben feltételezi a szelektív hulladékgyűjtést. Ez azt jelenti, hogy a papír, műanyag, üveg és fém frakciók jelentős részét a rothasztás előtt már eltávolították. A szelektív hulladékgyűjtés ellenére a rothasztás előtt még mindig szükséges osztályozás, elválasztás és aprítás. A rothasztás előtti előtisztító lépcsők a következők lehetnek: mágneses szeparáló, aprító-szűrő (komminutor), szűrés, őrlés, gravitációs szeparálás (száraz szeparálás), pép-készítés és pasztörizálás (4. ábra; Lissens et al., 2001). A 4. ábra egy nedves, folyékony szuszpenziós rothasztási rendszer technológiáját mutatja. Attól függően, hogy nedves vagy száraz rothasztókról van szó az előkezelés technológia változhat. A rothasztott hulladék utó-kezelésére mechanikai víztelenítést, szétválasztást (szálas anyagok, műanyag, homok leválasztása) és a maradék szerves-anyag stabilizálására a komposztálást alkalmazzák.



4. ábra Kommunális hulladék szerves frakciójának előkezelése, rothasztása és a rothasztott anyagok utó-kezelése

3.2. Egy-lépcsős „nedves”, teljes elkeverésű rendszer

A szerves anyagok biológiai úton metánná történő átalakítása, számos biokémiai transzformáció segítségével valósul meg (Lissens et al., 2001). Európában a rothasztó rendszerek 90 %-a egy-lépcsős „nedves” vagy „száraz” üzemeltetésű (De Baere, 2000). Az egy-lépcsős rothasztók létesítése és üzemeltetése olcsóbb, mint a két-lépcsős rothasztóké.

A „nedves” (szuszpenziós), teljes elkeverésű rendszerekben a szerves szilárd anyagot vízzel hígítják, keveréssel homogenizálják (pépesítik). A keverék TS tartalma <math>< 15\%</math>. A települési hulladékok szerves frakciójának anaerob kezelésére alkalmas, tipikusan egy-lépcsős „nedves” reaktor elrendezését az 5. ábra szemlélteti. Az ilyen rendszer természetesen a szennyvíziszap rothasztására is alkalmas. A hulladék összetételének (eredete és fajtái) jelentős hatása van a biogáz termelésre. A különböző szennyezőanyag frakciók a rothasztókban azonban üzemeltetési nehézséget okozhatnak:

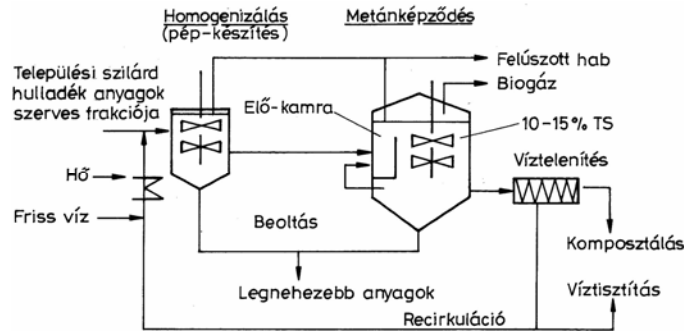
- a nehéz anyagok a rothasztó reaktor fenekére kiülednek, e miatt az alsó keverő propellerek

károsodhatnak.

- a flotálódott rétegek (több méter vastag lehet) a rothasztó tetejére felúszhatnak és gátolják a hatékony keverést, ezért az ilyen habképző, könnyű frakciót időnként el kell távolítani a reaktorból.

A teljes keverésű reaktor hátránya, hogy a rothasztó térben könnyen rövidzár alakulhat ki, ezért a tartózkodási idő rövidebb lesz, mint az átlagos tartózkodási idő. E miatt

- a biogáz-termelés csökken és
- a patogén baktériumok pusztulása pedig kisebb mértékű.

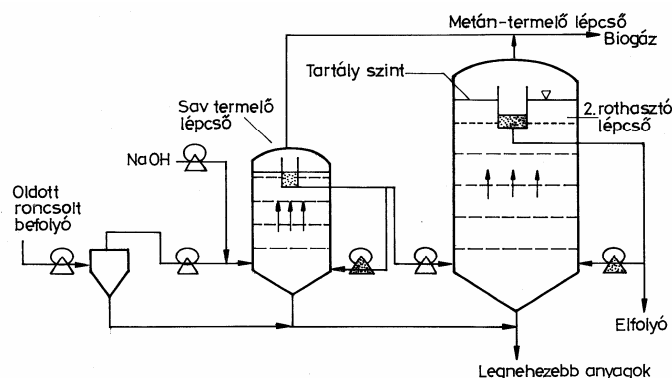


5.ábra A települési hulladék szerves frakciójának rothasztása egy-lépcsős „nedves” reaktortal

3.3. Két-lépcsős, nedves rendszer

A települési szerves szilárd hulladék anyagok anaerob kezelésekor az általános probléma a szubsztrát heterogén volta. A heterogén jelleg miatt az anyag jelentős része esetleg nem alkalmas hidrolízisre és az ezt követő metántermelésre. A települési hulladékok fő frakciója a cellulóz. A cellulóz bontása lassú és a cellulóz hidrolízis serkentése a természetes enzim aktivitáson túlmenően enzim adagolásával érhető el. A hidrolizáló, ipari enzimek nagy üzemi alkalmazása a beszerzési ár miatt kérdéses, ezért nincs reális esélye annak, hogy rothasztás felgyorsítása miatt enzimeket alkalmaznának.

A két- és több-lépcsős rendszerek a biogáz termelés egymást követő biokémiai reakcióit alkalmazzák, oly módon, hogy az egyes lépcsőknél jellemzően adott biokémiai reakciók játszódnak le (pl. sav-termelés). Általában két-lépcsős (sav- és metán-termelő) reaktorokat terveznek, de ezt kiegészítik sok esetben egy előroncsolási (apritás, hőkezelés, hidrolízis) fokozattal. Az előroncsolást követő két-lépcsős rothasztás elvét a 6.ábra mutatja be. Az optimális viszonyokat az egyes lépcsőkben külön-külön kell beállítani. Az esetek jó részében az egyes lépcsők nem biztosítják szükségszerűen az optimális környezeti állapotokat, de a gyakorlatban az automatika és a számítógépes irányítástechnika segítségével a folyamatoknál az üzemi paraméterek beállítása egyre megbízhatóbb. Az első lépcsőben a hidrolízis és a savképződés játszódik le. A második lépcsőben az acetogén (ecetsav-termelő) és a metántermelő folyamatok játszódnak le. A több-lépcsős rendszer előnye, hogy nő a biológiai lebontás határfoka, az olyan szennyezőanyagok (pl. konyhai hulladék) esetében is, melyek az egy-lépcsős rothasztókban instabil folyamatot eredményeznek.



6.ábra Az előroncsolást követő két-lépcsős rothasztás elve

3.4. Települési szilárd- és egyéb hulladékok közös anaerob kezelése

Mono-szubsztrátok anaerob rothasztását minden esetben kerülni kell, mert bármilyen jól bontható szubsztrát esetében egyoldalú tápanyag kínálat léphet fel. Ebben az esetben tápanyag kiegészítést (N; P; nyomelem adagolás) kell végezni, ilyen esetben az üzemelés nehézkes.

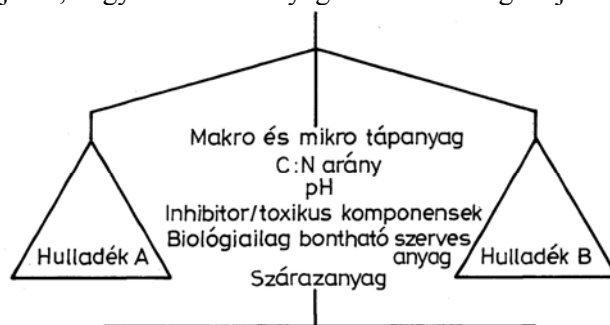
Az anaerob lebontás legjobb hatásfokkal vizes fázisban megy végbe (> 88 % víz). A vizes fázis azért kedvező, mert a hidrolízis termékek vizes fázisban keletkeznek és a kezdeti hidrolízis termékek képezik a metán-fermentáció alapját.

A települési hulladékok szerves frakciójának rothasztásánál célszerű valamilyen kiegészítő szubsztrátot adagolni, hogy megfelelő C:N:P arányt biztosítani lehessen. Erre a célra az egyik legmegfelelőbb anyag a szennyvíziszap. A 7.ábra (Mata-Alvarez, 2003) szemlélteti a települési hulladékok és a szennyvíziszap anaerob ko-fermentációját. A megfelelő makro és mikro tápanyag ellátás biztosítása céljából a térfogat arányok alapján 25 % hulladék eredetű szerves-anyaghoz 75 % folyékony szennyvíziszapot kell adagolni.

A települési hulladék és állati hulladékok közös (ko-szubsztrát hatás) rothasztását a 7.ábra (Mata-Alvarez, 2003) szemlélteti. A C:N arány, puffer kapacitás és biológiailag bonthatóság beállítása szempontjából az állati eredetű-hulladékok (sertés, marha trágya, tej feldolgozó üzem hulladéka) nagyon kedvezően kiegészítik a települési hulladékok szerves-anyag tartalmát. Az állati eredetű hulladékok, mint kiegészítő szubsztrát más hulladék anyagok (szeszipar, konzerv-ipar) anaerob rothasztásánál is eredményesen alkalmazható.

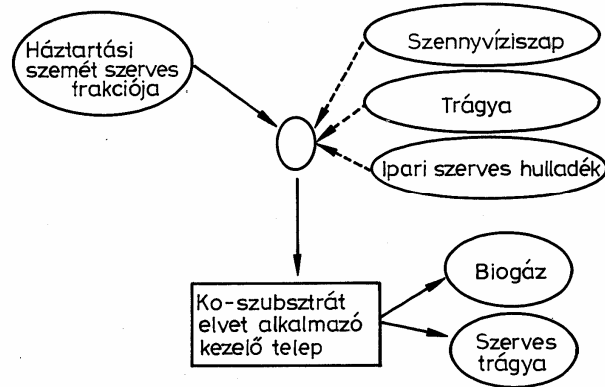
A települési hulladékok szerves-anyag tartalma viszonylag kicsiny és annak biológiai bonthatósága is sok esetben kismértékű. Ez felveti a más hulladék anyagokkal történő közös anaerob kezelés kérdését. A társított vagy ko-szubsztrát rothasztás kettő vagy több szubsztrátból készült homogén keverék közös rothasztását jelenti: az alap-szubsztráthoz (pl. állati trágya, szennyvíziszap) egyéb kiegészítő anyagokat (pl. TSZH, konyhai hulladék, kerti hulladék stb.) adagolnak, és közösen rothasztják. Az alap-szubsztrát biztosítja az alapvető tápanyagokat (N, P) és mikroelemeket (Ca, Fe, Mg, Mn, Co stb.). Megfelelő makro és mikro tápanyag ellátás következtében a ko-szubsztrát rothasztás sokkal hatékonyabb, mint a mono-szubsztrátok rothasztása.

A makro és mikro tápanyagokat olyan arányban kell biztosítani, hogy például az „A” és „B” komponensek közös anaerob lebontása céljából kedvező legyen. A makro tápanyag ellátás szempontjából a legfontosabb a megfelelő C:N:P arány tartása. A C:N:P arány ugyan tág határok között változhat és ennek ellenére a rothasztási folyamat fenntartható, de alap követelmény, hogy az arányt legalább 100:5:1 arány körül tartsuk. Természetesen több szubsztrát (a példánkban A és B komponens) a közös rothasztásnak feltétele az is, hogy az inhibíciót kiváltó anyagok csak olyan koncentrációban legyenek jelen, hogy a keverék anyag lebontását ne gátolják.



7. ábra A ko-szubsztrát rothasztás tápanyag mérlegének illusztrációja

A ko-szubsztrát rothasztás tipikus példája, amikor a TSZH szerves frakcióját a rothasztás céljából szennyvíziszappal, szerves trágyával vagy ipari szerves hulladék anyagokkal kiegészítik (8.ábra, Mata-Alvarez, 2003). A szétválogatást és osztályozást követően a háztartási szemét szerves frakciójához célszerű kiegészítő szubsztrátot adagolni, mert a szerves frakció sokszor nehezen bontható anyagokat (papír, fa-cellulóz) tartalmaz.



8.ábra A települési szilárd hulladékok ko-subsztrát rothasztásának elve

3.4.1. A települési hulladékok és a szennyvíziszap közös rothasztása

Edelmann *et al.* (2000) szilárd szerves hulladékokat szennyvíz iszappal együtt rothasztották. A félüzemi méretű rothasztóba több mint 1 m³/nap hulladékot tápláltak be. Az adatokat 14 hónapon keresztül gyűjtötték, és kiderült, hogy a nyers gyümölcs és zöldség hulladékokat rothasztás előtt célszerű aprítani. Első lépésként a hulladékot felaprították 1 – 2 mm-s darabokra, majd második lépcsőben a felaprított hulladékot a nyersiszappal együtt homogenizálták. A zöldség hulladékok a nyers iszappal együtt nagyon jól rothaszthatók.

Svájcban a mezőgazdasági biogáz telepek gazdaságossági vizsgálata azt mutatta, hogy a jelenlegi energiaárak mellett a hulladékok közös rothasztása mindenképpen gazdaságosabb a telepek számára, mint a szilárd hulladékok kezelését átadni egy másik fél részére. A Frutigen szennyvíztisztító telepen a mezofil rothasztás előtt a nyers- és a főlös-iszap keveréket termofil-aerob úton kezelték. Az első rothasztóban 20 napos tartózkodási idő mellett a szerves-anyag lebontása ment végbe. A második lépcsőben termofil, aerob kezelőből származó iszap utórothasztását végzik. Rothasztásnál a szupermarket láncokból származó ételmaradékot, helyi kórházak konyhai és ételmaradék hulladékait is felhasználták.

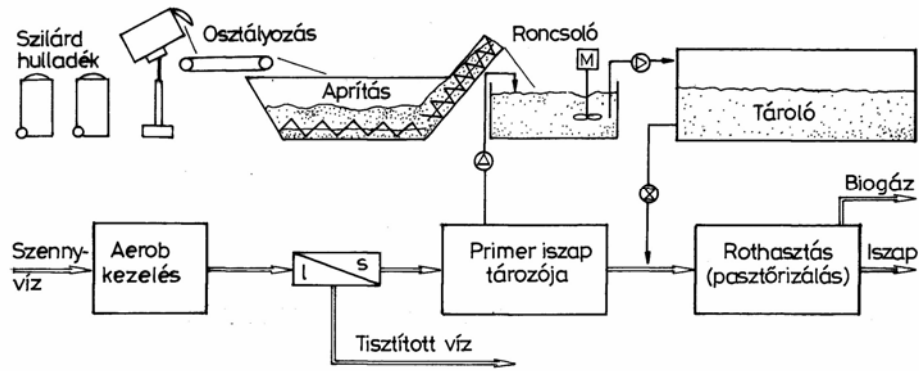
A 9.ábrán a Frutigeni (Svájc) a hulladék előkezelő rendszer és szennyvíz telep meglévő rothasztó rendszerének kapcsolatát mutatja be. Az első periódusban az előkezelés műszaki megbízhatóságát vizsgálták, a második periódusban a rothasztóba vezetett szerves-anyag 17,7 %-át települési hulladék alkotta. A második periódus eredményei azt mutatták, hogy az elsődleges iszaphoz adagolt szerves szilárd hulladék növelte az anaerob rothasztás hatásfokát.

A szerves hulladékokban az enterobaktériumok száma 10³ – 10⁶ -szor kevesebb, mint a nyers iszapban, ezért felmerül a kérdés, hogy érdemes-e pasztörizálni a zöld hulladékokat a rothasztás előtt. A vizsgált telepen két sorba kapcsolt rothasztó van és stabilizálódásra elegendő hosszú tartózkodási idő áll rendelkezésre. Ilyen esetben a pasztörizálás haszna kérdéses.

A nehézfém koncentráció a rothasztott iszapban kisebb értéket mutatott. Ez nem meglepő, mert a szilárd hulladékoknak általában kisebb a nehézfém tartalma (különösen ólom és cink), mint a szennyvíziszapnak és a beadagolt hulladék hígította a kezelt keverék fém koncentrációját.

Az előkezeléshez és a rothasztáshoz az energiaszükséglet a következőképpen alakult: 35 kWh villamos energia és 50 kWh hőenergia szükséges 1 tonna települési hulladék kezeléséhez. A pasztörizálás hőenergia-szükséglete 35 kWh/t. A várható villamos energia többlet 65 kWh, a hőenergia többlet 166 kWh 1 tonna hulladékra vonatkoztatva. Pasztörizálás nélkül a villamos energia többlet 70 kWh-ra, a hőenergia többlet pedig 210 kWh-ra emelkedik.

A közös rothasztási rendszer üzemének legnagyobb nehézsége az, hogy a különböző feleknek (szennyvíztisztító telep üzemeltető, önkormányzatok, államigazgatás, hulladéktermelők és hulladék begyűjtők) tartaniuk kell a kapcsolatot egymással, együtt kell működniük. Sokszor az együttműködés kialakítása nehézkes, ezért a közös rothasztás megvalósítása sem jön létre.



9.ábra Frutigeni (Svájc) hulladék előkezelő rendszer és szennyvíztisztító telep rothasztó rendszerének kapcsolata

3.5. Egy-lépcsős „száraz” rothasztó rendszerek

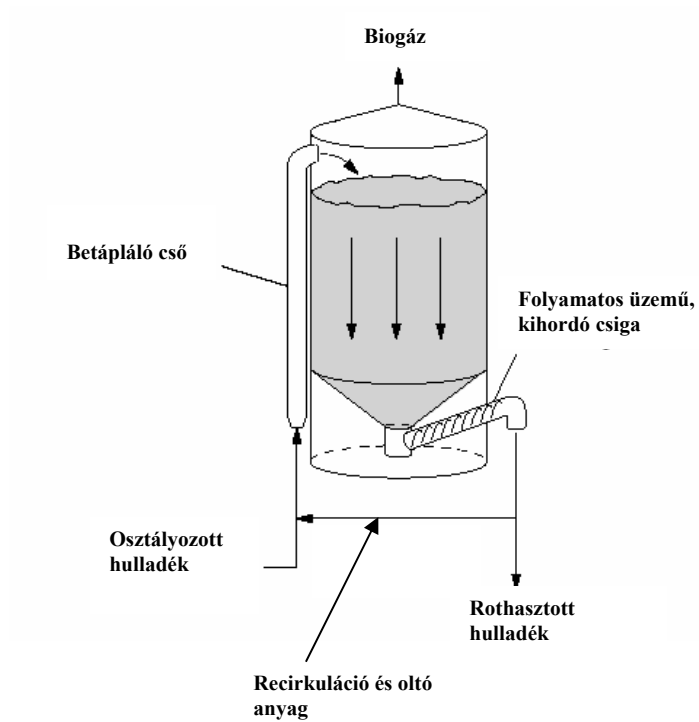
Az 1980-as években vetődött fel a „száraz” rothasztó rendszerek gondolata (*Olaszkiewicz et al., 1997*): bizonyították, hogy a biogáz termelés hatékony abban az esetben is, ha a települési hulladékok szilárd anyagát az eredeti állapotában (tehát hígítás nélkül) juttatják a rothasztóba. Természetesen az anaerob lebontáshoz minden esetben szükség van tekintélyes nedvesség tartalomra (60 – 80 %), még az u.n. száraz rothasztási technológia alkalmazása esetében is. Az angolszász szakirodalomban elterjedt „száraz” rothasztás kifejezés helyett a „fél-száraz” vagy „fél-nedves” elnevezés megfelelőbb, mert általában a szárazanyag tartalmat 20 – 40% fölé nem célszerű emelni, mert a lebontás hatásfoka lecsökken.

A gyakorlatban háromféle „száraz” technológiát alkalmaznak, de újabb és újabb technológiai megoldások válnak ismertté. A gyakorlatban a DRANCO, a VALORGA és a KOMPOGAS típusú „száraz” reaktor típusokat gyakran alkalmazzák (*Lissens et al., 2001*).

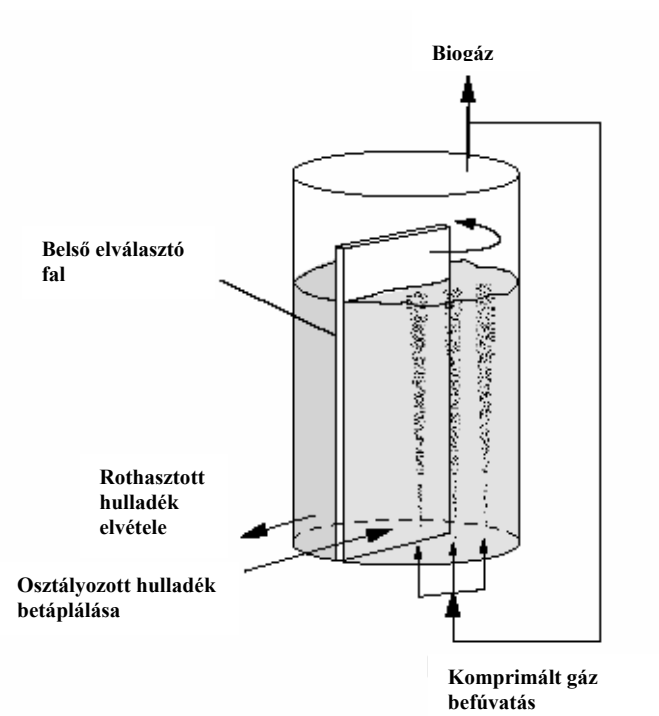
A DRANCO típusú rothasztó elvi vázolata a 10.ábra mutatja. Az osztályozott hulladék a reaktor aljáról származó oltó-anyaggal keveredik, majd a keveréket a hengeres kialakítású reaktorba a tetején táplálják be. A DRANCO reaktorban a 20 – 40 % szárazanyag tartalmú hulladék keveredését a recirkuláció segíti. A betáplált hulladék a henger tetejéről dugószerűen a reaktor alja felé halad. A reaktor aljáról a kirothadt hulladékot egy folyamatos üzemű kihordó csiga távolítja el.

A VALORGA (11.ábra) rendszerben a keverést biogáz injektálás segíti és a reaktor átkeverését végző gáz-injektorok bekapcsolása 15. percnként történik. Ebben a rendszerben a gázzal történő keverés miatt a szárazanyag koncentrációt 15 % fölé nem igen lehet emelni, ezért ez reaktor típus nem tekinthető egyértelműen „száraz” reaktornak. A reaktor átmérőjének 2/3-ában egy válaszfalat építenek be. Betáplálást a gáz befúvás felőli oldalra, a kirothasztott hulladék elvételét a terelőfal másik oldalára helyezik el. A henger fala körül körben és a gázkeverés következtében függőleges irányú elkeveredés is jónak mondható.

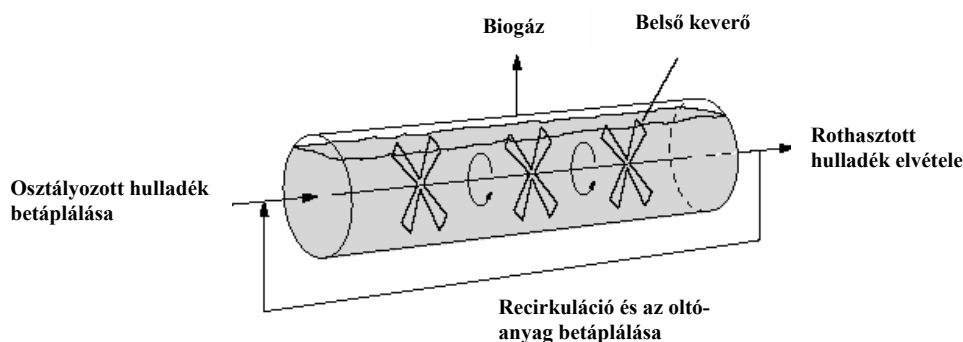
KOMPOGAS reaktor vízszintes elrendezésű és a reaktorban a bekevert anyagot (TS ~ 20 – 30 %) a reaktor hosszában propeller-keverők mozgatják előre. A homogenizálást, a gáztalanítást és a nehezebb anyagoknak az elkeveredését a recirkuláció segíti. KOMPOGAS rendszerű rothasztó vízszintes elrendezésű. A reaktor elvi vázlatát 12. ábra mutatja be.



10. ábra DRANCO típusú rothasztó elvi vázlata



11. ábra VALORGA típusú rothasztó elvi vázlata

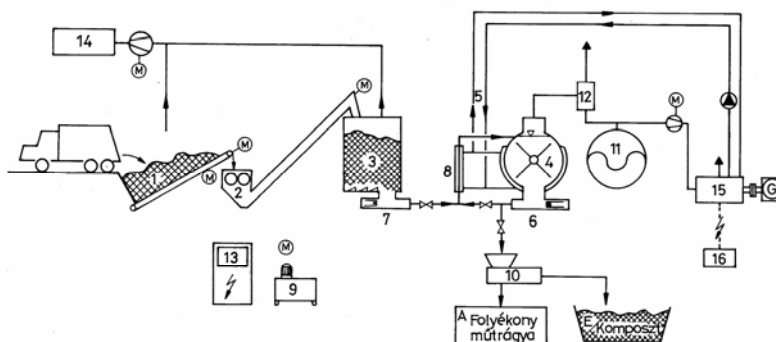


12. ábra KOMPOGAS rendszerű hulladék-rothasztó elvi vázlata

A vízszintes elhelyezésű hengeres rothasztó és az elő-kezelő rendszer kapcsolatát a 13.ábra mutatja (Wellinger *et al.*, 1992). A tápláló rendszer őrlő-berendezéssel rendelkezik (2), hogy az anyagot < 5 cm nagyságúra aprítsa. A friss anyag a (3) tároló tartályból dugattyús adagoló (7) segítségével hőcserélőn át (8) a rothasztóba (4) kerül. Az anyag a rothasztóból a második dugattyús berendezéssel (6) a csavaros szűrőprésbe kerül (10), ahol a rothasztott hulladékot megszűrik és két frakció képződik: szilárd, humusz-szerű 45 – 50 % TS és 20 – 24 TS tartalmú folyadék frakció. A termelt gáz generátort (15) hajt. A rothasztó hőmérséklete kb. 55 °C. Hidraulikai tartózkodási idő 20 – 40 nap. A pH >7,2 volt és Ca(OH)₂ adagolásával szabályozták. A KOMPOGAS rothasztó rendszer nagy szárazanyag tartalmú (~30 %) hulladékok rothasztására szolgál. Figyelembe kell venni, hogy ilyen nagy TS koncentráció esetében az anaerob lebontás nem tökéletes, hiszen a hidrolízis termékek lebontásához vizes fázis szükséges (<12 % TS), ezért KOMPOGAS eljárásnál elsősorban a könnyen lebontható vegyületek (fehérjék, szénhidrátok) hasznosítása jöhet szóba. A legkisebb tartózkodási idő 14 nap és a jobb lebontás miatt termofil viszonyok mellett célszerű üzemeltetni. A KOMPOGAS rothasztó rendszer hatékonysága a 3. táblázat alapján ítéltető meg. Látható, hogy a fajlagos gáz kihozatal a betáplált szerves-anyagra vonatkoztatva elég szerény 370 L/kgVS, viszont a berendezés üzemeltetése egyszerű.

3.táblázat A KOMPOGAS rothasztó rendszer hatékonysága

Friss hulladék	TS	42 %
	VS	76 %
Rothasztott hulladék	TS	27 %
	VS	40 %
Gáztermelés		40 m ³ /d
Fajlagos gáztermelés (reaktor térf. vonatk.)		2,7 m ³ /m ³ ·d
Gázhozam		370 L/kg VS
Metán tartalom		63 %



13.ábra KOMPOGAS rendszerű reaktor és az elő-kezelő rendszer kapcsolata (Jelmagyarázat: 1 – beszállított hulladék; 2 – őrlő-és szállító berendezés; 3 – tároló tartály; 4 – rothasztó; 5 – gáz-elvezetés és hő visszavezetés; 6 és 7 – dugattyús adagolók; 8 – külső hőcserélő; 9 – hulladék fogadó elektromos kiszolgálása; 10 – szűrőprés; 11 – biogáz tároló; 12 – gázelevezetés; 13 – irányító központ; 14 – biofilter; 15 – gázkazán; 16 – elektromos áram előállítás)

3.6. Nagyobb anaerob, kommunális hulladék-kezelő telepek ismertetése

A fentiekben ismertetett rendszerek felhasználásával különböző rothasztási technológiák alakultak ki. Az ismertetésre kerülő technológiák kizárólag önállóan települési hulladékot dolgoznak fel.

EcoTec nedves, egy-lépcsős, folyamatos technológia

Ezzel a technológiával üzemel Bottropban (Németország) 6 500 t/év, Berlinben 37 000t/év és Shilou-ban (Kína) 17 000 t/év kapacitású hulladék feldolgozó telep. A technológia szerint a szelektív gyűjtésből származó hulladék egy zúzó-gépen, majd fém-leválasztón és osztályozó rostán halad át. A rostán kiválasztott éghető anyagokat fluid ágyas kemencében elégetik, majd a biológiailag bontható anyagból az inert anyagokat leválasztják és azt az egy-lépcsős mezofil, anaerob reaktorba táplálják. A kialakított technológiában a mezofil helyett természetesen termofil reaktor is alkalmazható. A rothasztás 35 °C-on, 15 – 20 nap tartózkodási-idő mellett megy végbe. A rothasztóból kikerülő iszapszerű anyagot 70 °C-on 30 perc tartózkodási-idő mellett fertőtlenítik. A fertőtlenítést víztelenítés követi. A víztelenítésből származó szilárdanyagot és az iszapvizet is trágyaként hasznosítják. A képződött biogázt hő és áram termelésre használják (*Internet/4*).

Passavant –Roediger nedves, egy-lépcsős, termofil technológia

A háztartásokból és kereskedelemről szeparáltan gyűjtött bioszemetet előkezelik, amely azt jelenti, hogy száraz állapotban aprítják és homogenizálják. Ezt követően az idegen anyagokat (pl. fémek) eltávolítják. Ezt követi a nedves előkészítés: az aprított anyaghoz vizet adagolnak és szuszpenziós állapotban a nehezebb homokot, követ, üveget és a könnyebb műanyagokat eltávolítják. A megtisztított szerves-anyag tartalmú szuszpenziót a rothasztóba táplálják, ahol termofil körülmények között (55 °C-on) 15 nap tartózkodási-idő mellett rothasztják. A rothasztót 1997. évben helyezték üzembe (*Internet/5, Internet/6*). A rothasztó fontosabb üzemelési paramétereit a 4.táblázat tartalmazza.

4. táblázat Passavant –Roediger anaerob, bioszemet-kezelő berendezésének műszaki adatai (Münster)

Paraméter megnevezése	Érték	Paraméter megnevezése	Érték
1.ütem kiépített kapacitás (t/év)	11 000	Víz-szükséglet (m ³ /t)	kb. 0,6
2.ütem kiépített kapacitás (t/év)	22 000	Hő-szükséglet (kWh/t)	kb. 130
Feldolgozás üteme 1 vagy 2 műszakban (t/h)	7	Elektromos energia szükséglet (kWh/t)	kb. 70
Hulladék szárazanyag tartalma (TS) (%)	30 – 40	Biogáz termelés (Nm ³ /t)	kb.120
Hulladék szerves-anyag tartalma (VS) (%)	65 – 80	A biogáz metán tartalma (%)	55-65
A termelt elektromos energia (kWh/t)	230	Termelt felhasználható hő (kWh/t)	330

BTA/Carl Bro nedves, több-lépcsős, folyamatos technológia

Ezzel a technológiával üzemel Helsingorban (Dánia) 1993. év óta 20 000t/év kapacitással egy anaerob, hulladék feldolgozó telep. A telep évente 3 millió m³ biogázt állít elő. Az osztályozott hulladékot tárolókban fogadják, majd nyitott adagoló tartályba kerül, ezt követi a vizes pépesítő és szétválasztó műtárgy, ahol a műanyag és inert anyagokat leválasztják. A pép-előállítást követően a szerves-anyag tartalmú hulladék egy hidrolizáló berendezésbe jut, ahol 70 °C-on, 1 órán át, NaOH adagolása mellett a hidrolízis végbe megy. A NaOH adagolás a hidrolízis sebességének növelésére szolgál. A hidrolizáló berendezés után fázis szétválasztás történik, amikor az oldott frakciót a szálas anyagoktól elválasztják és a rothasztóba táplálják. A szétválasztásnál visszamaradt szálas anyagot egy berendezésben tovább hidrolizálják és a folyékony frakciót szintén a rothasztóba táplálják. A második hidrolízis során visszamaradt szálas anyagot a rendszerből eltávolítják. A két-lépcsős technológiában rothasztás céljára kizárólag a hidrolízis folyékony frakcióját használják fel. A keletkezett biogázt áram és hőtermelésre használják fel. A két-lépcsős hidrolízis miatt a technológiának jelentős a hőigénye (*Internet/4*).

TBW Biocomp eljárás, nedves, két-lépcsős, folyamatos technológia

Ezzel az eljárással üzemel Regensburgban (Németország) a 13 000 t/év kapacitású hulladék-kezelő. A szelektív gyűjtésből származó hulladékot durva és finomabb frakcióját forgó dobszítán elválasztják. A durvább részt aerob módon komposztálják és a finomabb frakció rothasztásra kerül. A finomabb részből rothasztás előtt mágneses szétválasztással a vas részeket eltávolítják, ezt követően a szerves-anyagot egy bekeverő tartályban a rothasztásból származó iszapvízzel összekeverik. A pép-szerű anyagot adagoló tartályba, majd az első lépcsőt képező anaerob (35 °C) reaktorba jutatják. A mezofil reaktorban az iszap ~ 15 napot tartózkodik és itt a szerves-anyag 60%-a lebomlik. A mezofil rothasztó aljából az iszapot a termofil (55 °C) rothasztóba vezetik. A két rothasztóból származó biogázt áram- és hőtermelésre használják. A termelt biogáz 25%-át a rothasztók és a kiszolgáló épületek fűtésére használják fel. A kirothadt anyagot víztelenítik. A víztelenítésből származó iszapvizet és a szerves-anyag finom frakcióját a pép-előállító, bekeverő tartályába visszatáplálják. Az egyéb rendszerből kivezetett szennyvizet stabilizációs tóban tisztítják. A víztelenítésből származó iszapot a hulladék szétválasztásánál keletkező durvább frakcióval közösen komposztálják (*Internet/4*).

DRANCO folyamatos, száraz egy-lépcsős anaerob eljárás

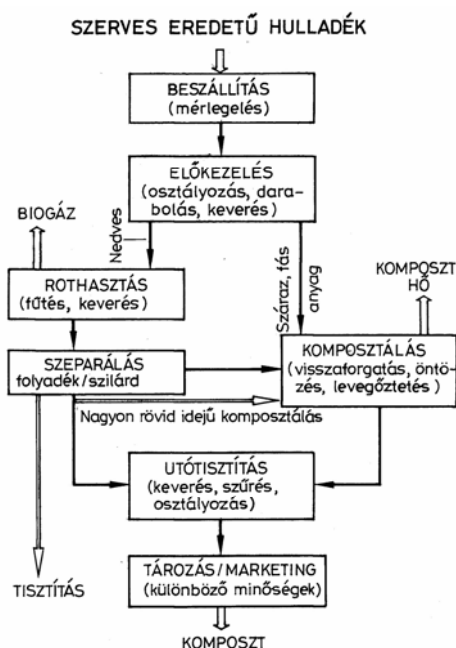
Európában 4 db 11 000 – 35 000 t/év kapacitású telep üzemel. A technológiát Brecht város (Belgium) 12 000 t/év kapacitású telepénél mutatjuk be. Az elő-osztályozott (szelektív gyűjtés) hulladékot a nagyobb hulladék részeket manuálisan eltávolítják, ezt követi az aprító berendezés, rostálás és mágneses leválasztás. Hulladékot a rothasztást követő víztelenítéskor keletkező iszapvízzel keverik és az egy-lépcsős termofil (50 – 58 °C) DRANCO típusú rothasztóba (V = 808 m³) adagolják. A tartózkodási idő 20 nap és a reaktorból a szárazanyag 5 %-át veszik ki naponta. A víztelenítést iszappréssel végzik és a víztelenítésnél 55 % szárazanyag tartalmat érnek el. Az iszap vizet levegőztetett stabilizációs-tóban, vagy a kommunális szennyvízzel együtt biológiai úton tisztítják. A víztelenített maradékot ~ 2 hétig levegőztetéssel stabilizálják. A stabilizált anyagot talaj-javításra használják. A keletkezett gáz 7%-át a rothasztó fűtésére használják (*Internet/4*).

4. A rothasztás és komposztálás összekapcsolása

Számos esetben a rothasztás és a komposztálás egymást kiegészíti és a két folyamat összekapcsolható. Ilyen rendszert mutat be a *14.ábra* (*Edelmann et al., 1993*). A kombinált rendszer előnyei például:

- az egyesített komposztálás és a rothasztás költségei alacsonyabbak, mint a különálló rendszereké, mert a legtöbb elő- és utókezelő berendezés azonos időben alkalmazható mindkét technológiában,
- rothasztásnál biogáz termelődik, amely az egész rendszer energia igényét fedezheti.

Az egyesített rendszer csak bizonyos telep kapacitástól kezdve gazdaságos. A rendszerhez kapcsolható minimális rothasztó kapacitás 3500 t/év-re tehető. A minimális összes rothasztási + komposztálási kapacitást 6000 – 8000 t/év mennyiségre célszerű kiépíteni. Környezeti és makro-ökonómiai okokból (szennyezőanyag összegyűjtés) nem észszerű túl nagy telepeket létesíteni.



14.ábra A rothasztás és a komposztálás folyamatának összekapcsolása

Összefoglalás

Az esetek zömében a települési hulladékok szerves-anyag tartalma eléri 30 – 40 %-ot. A koncentrált szerves-anyag tartalomnak kb. 50 – 55%-a anaerob úton bontható. Ez azt jelenti, hogy a települési hulladék osztályozott szerves-anyaga önmagában is rothasztható, nem szükséges a rothasztásnál kiegészítő (ko-szubsztrát) szerves-anyag adagolása. A betáplált szerves-anyagra vonatkoztatott metán hozam 150 – 210, a biogázban kifejezett gázhozam 120 – 280 Nm³/t VS érték között változik. Más szerves hulladékokhoz képest a települési hulladék szerény biogáz fejlesztési eredményei arra mutatnak, hogy a települési hulladék rothasztásánál egyéb szerves-anyag tartalmú hulladékokat is célszerű adagolni. A ko-szubsztrát rothasztás tipikus példája, amikor a TSHZ szerves frakcióját a rothasztás céljából szennyvíziszappal, szerves trágyával vagy ipari szerves hulladék anyagokkal kiegészítik. A >2000 t/év hulladék mennyiség esetében az önálló, <2000 t/év mennyiség esetében viszont kiegészítő szubsztráttal történő rothasztás ajánlott.

A települési hulladékok szerves frakciójának rothasztása mindenesetben feltételezi a szelektív hulladékgyűjtést. Ez azt jelenti, hogy a gyűjtés során a papír, műanyag, üveg és fém frakciók jelentős részét a rothasztás előtt már eltávolítják. A szelektív hulladékgyűjtés ellenére a rothasztás előtt még mindig szükséges további osztályozás, elválasztás és aprítás.

Egy-lépcsős „nedves” és két-lépcsős (sav- és metántermelő lépcső), nedves anaerob rendszereket egyaránt alkalmazzák a települési hulladékok kezelésre. Egy-lépcsős rendszerben a hidrolízis, savtermelés és a metán-termelés egy reaktorban megy végbe. A két-lépcsős rendszerben a sav- és metántermelés sorba kapcsolt, külön reaktorban megy végbe.

A „száraz” rothasztásnál rothasztóban a szárazanyag tartalmat 15 – 40% érték közé állítják be. Ilyen szárazanyag tartalom mellett a lebontási hatásfok (30 – 40%) ugyan kisebb, mint a nedves (vizes szuszpenziós) rendszerben, de a technológia egyszerű és nem költséges. „Száraz” rothasztásnál a gyakorlatban a DRANCO, a VALORGA és a KOMPOGAS típusú reaktorok terjedtek el.

Számos esetben a rothasztás és a komposztálás egymást kiegészíti és a két folyamat összekapcsolható.

Irodalom

De Baere L. (2000): Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. Wat. Sci. Tech. Vol. 41. No.3.

Edelmann, W., Engeli, H., Gradenecker, M., (2000): Co-digestion of organic solid waste and sludge from sewage treatment. Water Science and Technology Vol. 41, No. 3, 213 – 221

Edelmann W., Engeli H. (1993): Combined digestion and composting of organic industrial and municipal wastes in Switzerland. Wat. Sci. Tech. Vol. 27. No.2.

Internet/1:

Faipari Mérnöki Kar Sopron (2010)

http://www.nyme.hu/uploads/media/HULL_GAZD_F1KNHULLG_II_RESZ_02.pdf

Internet/2:

Hulladéklerakó üzemeltetés. A lerakott tömörített hulladéktest térfogatsúlyának alakulása (Pusztazámori lerakó hulladék összetétele)

<http://www.koztegy.hu/files/suruseg.pdf>

Internet/3:

Budapesti Gazdasági Főiskola (Külkereskedelmi Főiskolai Kar): A csomagolási hulladékgazdálkodás jelene Magyarországon, különös tekintettel Debrecen városában, Budapest, 2005

http://elib.kkf.hu/edip/D_11062.pdf

Internet/4:

Review of Current Status of Anaerobic Digestion Technology for Treatment of Municipal Solid Waste.

November 1998 RISE-AT Regional Information Service Center for South East Asia on Appropriate Technology Institute of Science and Technology Research and Development Chiang Mai University

<http://www.google.hu/search?q=Anaerobic+treatment+of+garbage&hl=hu&ei=U6eYTP3lBc2Sswbl19GDDA&start=30&sa=N>

Internet/5:

<http://www.stadtwerke-muenster.de/ueber-uns/erzeugungsanlagen/bioabfallvergaerungsanlage.html>

Aus Bio wird Watt

Internet/6:

http://www.passavant-roediger.de/page/de/page_ID/372

Bioabfallvergärungsanlage Münster

Lissens G., Vanderivere P., De Baere L., Biey E.M., Verstraete W. (2001): Solid waste digestors: process performance and practice for municipal solid waste digestion. Water Science and Technology. Vol. 44. No. 8.

Mata-Alvarez, J. (2003): Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. IWA Publishing, 69 - 83

Oleszkiewicz J.A., Poggi-Veraldo (1997): High-solids anaerobic digestion of mixed municipal and industrial wastes. J. Environ. Eng. 123.

Owens J. M., Chynoweth D.P. (1993): Biochemical methane potential of municipal solid-waste (MSW) components. Wat. Sci. Tech. Vol. 27. No.2.

Wellinger A., Baserga U., Egger K. (1992): New systems for the digestion of solid wastes. Wat. Sci. Tech. Vol. 25. No. 7.