

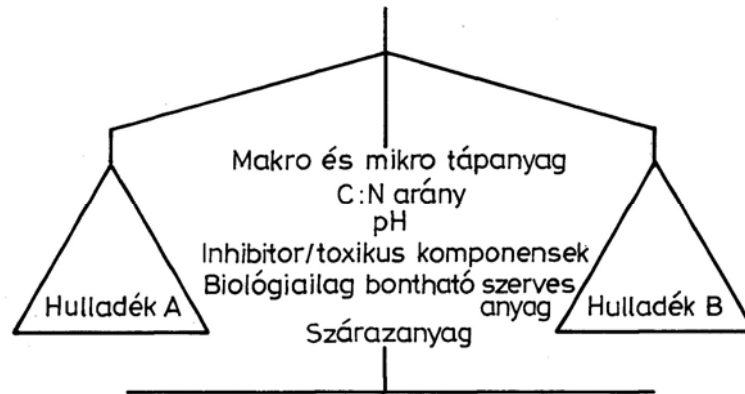
## Különböző eredetű hulladékok közös anaerob kezelése

Oláh József\* – Palkó György\* – Tarjányiné Szikora Szilvia\* – Rása Gábor\*  
(\* – FCSM Zrt.)

### 1. Hulladékok közös rothasztásának elve és célja

A társított vagy ko-subsztrát rothasztás kettő vagy több subsztrátból készült homogén keverék közös rothasztását jelenti: az alap-subsztráthoz (pl. állati trágya, szennyvíziszap) egyéb kiegészítő anyagokat (konyhai hulladék, kerti hulladék stb.) adagolnak és közösen rothasztják. Az alap-subsztrát biztosítja az alapvető tápanyagokat (N, P) és mikroelemeket (Ca, Fe, Mg, Mn, Co stb.). A jó makro és mikro tápanyag ellátás következtében a ko-subsztrát rothasztás sokkal hatékonyabb, mint a mono-subsztrátok rothasztása.

A ko-subsztrát rothasztás elvi anyag mérlegét az 1. ábra szemlélteti. 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 rothasztás folyamat fenntartható, de alap követelmény, hogy az arányt legalább 100:5:1 arány körül tartsuk. Természetesen több subsztrát (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.



1. ábra A ko-subsztrát rothasztás tápanyag mérlegének illusztrációja

Az ideális ko-subsztrát (élelmiszer-ipari és mezőgazdasági hulladék) könnyen beszerezhető és olcsó. Sokszor a biogáz üzemek közvetlen a hulladékot termelő ipari vagy mezőgazdasági egység mellé épülnek. Hátránya, hogy nem lehet megőrsolni hosszú távra a hulladék mennyiségét és minőségét. A ko-subsztrát hatás az esetek jelentős részében úgy jelentkezik, hogy a könnyebben bomtható subsztrátok hatására az „archaikus” (alap-populáció) kultúra szaporodása felgyorsul, majd ezt követően a nehezebben bomtható anyagok lebontása is javul (Buzzini *et al.*, 2010).

### 2. Trágyák anaerob kezelése

A trágyák tartalmazhatnak az anaerob-kezelést gátló anyagokat. Ezek az anyagok lehetnek inhibíciós hatásúak, mint például az antibiotikumok, vagy az ammónium-vegyületek, illetve lehetnek a technológiára káros anyagok, például a szálas növényi hulladékok, amelyek a csövekben dugulást, a keverőknél elakadást vagy például a csirketrágya homoktartalma, amely lerakódásokat okozhat.

Az állatgyógyászatban számos anaerob rothasztást-gátló antibiotikumot és fertőtlenítőszer is használnak (tylosin és a klór-tetraciklin). A vizsgálatok azt igazolják, hogy 300 nap sem volt elegendő a metanogén baktériumkultúrának ahhoz, hogy alkalmazkodjon a magas ammóniakoncentrációhoz (~3000 mgN/L).

A trágyák kísérő jelensége a bűzös szaganyagok megjelenése. A legtöbb kellemetlen szagú komponens nitrogén, illetve kéntartalmú szerves vegyület. Néha azonban a fenolok, indolok és az illékony szerves vegyületek is hozzájárulnak a hatás kialakulásához. Az anaerob rothasztás az egyik legeredményesebben alkalmazható eljárás a trágyák szagtalanítására. A fermentorban a kellemetlen

szagot okozó komponensek kisebb molekulákra bontódnak, ezáltal a folyamat végén az elfolyó iszap kevésbé „bűzös”.

## 2.1. Állati trágyák biogáz potenciálja

A legnagyobb gondot a termelődő hígtrágya jelenti, mivel a hazai nagyüzemi sertés- és szarvasmarha telepek jelentős része hígtrágyás technológiával üzemel. Az állatok által termelt vizeletet és ürüléket a trágya eltávolításához felhasznált öblítővíz is növeli. A hígtrágya szabvány 1:1 hígítási aránnyal számol, a gyakorlatban azonban a vízigény többszörösét is elhasználják. Mindez terheli a helyi vízkivételt, valamint óriási tárolókapacitást igényelne, hiszen a felhasználás szakaszos. A hazai állattartó gazdaságok nagy részére jellemző, hogy a bevezetésre került különböző környezetvédelmi jogszabályok teljesítése – elsősorban gazdasági indokok miatt – gyakran nem megfelelő. *Sallai et al.* (2009) nyomán a különböző állati eredetű trágyák biogáz potenciálját az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat Különböző állati eredetű trágyák biogáz potenciálja (betáplált VS-re vonatk.)

nyersanyag	gázhozam, L/kg VS	közepes gázhozam, L/kg VS
Sertés trágya	340 – 550	445
Szarvasmarha trágya	90 – 310	200
Baromfitrágya.	310 – 620	465
Lótrágya	200 – 300	250
Birka trágya	90 – 310	200
Istálló-trágya	175 – 280	225
Zöldségmaradékok	330 – 360	345
Mezőgazdasági hulladékok	310 – 430	370
Csatornaiszap	310 – 740	525

Az optimális gázkihozattal mezofil hőmérsékleten 20 – 30 nap tartózkodási-ido után lehet elérni. Három hét tartózkodási idővel, mezofil hőmérsékleten közepesnek mondható szervesanyag-terhelés 5 kg/m<sup>3</sup>·d érték körül tartható.

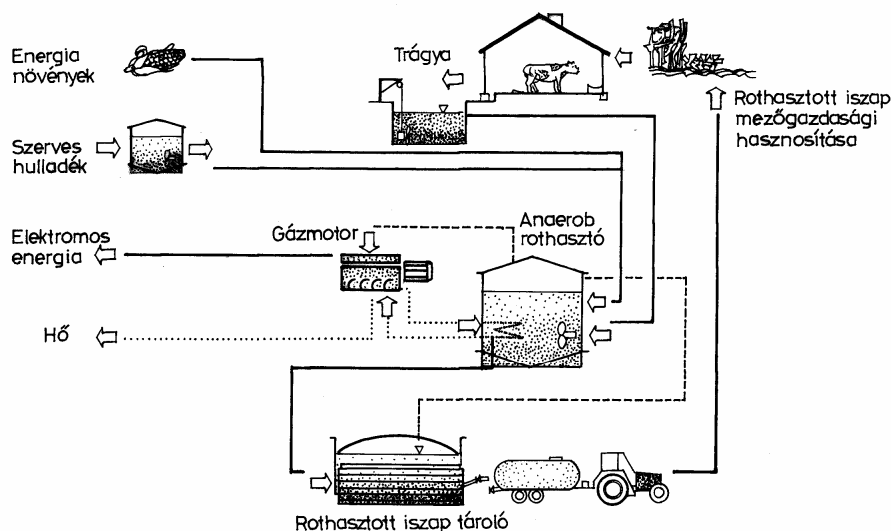
## 2.2. Az állattartó telepek trágyájának rothasztása

A hígtrágya folyamatos szétszórása a mezőgazdasági területeken annak nagy nitrogén tartalma miatt a felszínalatti vizek nitráttal történő elszennyeződését okozta.

Az ammónia (NH<sub>3</sub> + NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) koncentráció bizonyos határ felett a metántermelést gátolja. Az ammónia gátlás a hőmérséklet növekedésével általában nő és növekvő VFA koncentrációkat idéz elő. A termofil rothasztás esetében ez a hatás élesebben jelentkezik, mint a mezofil rothasztásnál (*Zeeman et al.*, 1985).

A hőmérséklet növelése a biogáz hozamra jóval nagyobb hatású, mint a hőmérséklet csökkenése. A hőmérséklet-változás esetében az ecetsav volt az első VFA, amelynek koncentrációja nőtt.

A trágya és az egyéb szervesanyagok anaerob kezelésének összekapcsolását a 2. ábra mutatja. Az ábra egy komplett biogáz telepet mutat be, amelynél a biogázt hő és elektromos áram termelésre használják. A rothasztás után keletkezett iszapot komposztálják, vagy közvetlenül a mezőgazdaságban hasznosítják. Az ábrán bemutatott technológia a mezőgazdasági és egyéb hulladékok anaerob kezelését illetően tipikus megoldásnak tekinthető.



2. ábra Trágya és egyéb szerves hulladékok anaerob kezelésének összekapcsolása

1990 körül több mint 500 biogáz telep működött Európában (Pauss *et al.*, 1991). Ma már 2010.-ben a farmer-gazdálkodáshoz kapcsolódó biogáz telepek száma Európában megközelíti az 5000 darabot. A sertéstrágya rothasztása egyik leggyakoribb feladat. A sertéstrágyát az esetek túlnyomó részében más hulladékokkal közösen rothasztják. Az anaerob rothasztás során a szennyvíziszap nitrogéntartalma átlagosan 23%-kal csökken. A szervesanyag 45 – 65%-os csökkenése főként a fehérje és a zsírszerű anyagok csökkenését jelenti, kisebb mértékben bomlanak le az összetett szénhidrátok, és a cellulóz származékok.

A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy trágyák és a takarmánysiló keverékben a siló arányát 20 – 30%-nál nem szabad magasabbra emelni, mert a rothasztó gyorsan elsavanyodhat. Kísérleti jelleggel 32% élelmiszerhulladék + 68% szarvasmarha trágya keveréket rothasztottak a keveréknél 455 L/kg és a csak marha trágyánál pedig 331 L/kg gázfejlődést mértek. A 30 napig tartó rothasztási kísérletek során a legtöbb biogáz a 100% élelmiszerhulladékot tartalmazó reaktorban keletkezett, legkevesebb pedig a mono szubsztrátként rothasztott trágyánál.

Wu *et al.*, (2010) sertéstrágyát rothasztottak együtt különböző mezőgazdasági hulladékokkal, mint például gabonaszár (friss), búzaszalma, zabszalma. A kísérletek során a megfelelő C/N arány kiválasztását tűzték ki célul. A kísérleteket 8 L-es (ebből 4 L folyadéktérfogat) laboratóriumi méretű, elkevert rendszerű (CSTR) reaktorban végezték el 37°C-on. Minden egyes hulladék esetén 3 különböző C/N arányt vizsgáltak: 16/1; 20/1 és 25/1.

A vizsgálatok azt bizonyították, hogy a mezőgazdasági hulladék anyagok sertéstrágyával együtt rothasztva, jelentősen megnövelik a biogáz-termelést a csupán sertéstrágya rothasztásához képest. A 16/1 C/N arány alkalmazása esetén a kontrollhoz képest a gabonaszár (friss) esetén 6,97-szer, a zabszalma esetén 6,6-szor és a búzaszalma esetén 3,36-szor több biogázt kaptak a szerzők. Ugyanezek az arányok a 20/1 C/N kísérletben 11,36, 8,45, 6,12 voltak. A három mezőgazdasági hulladék közül a gabonaszár (friss) növelte meg legjobban a biogáz-termelést. A szerzők ezt a jelenséget azzal magyarázták, hogy a friss gabonaszárban kevesebb a lignin-tartalom, mint a már száraz szalmában és a lebontás ennek következtében hatékonyabb.

A sertéstrágya és az egyéb trágyák rothasztásánál megállapítható:

- A sertéstrágya önálló rothasztásával a szakirodalom jóformán nem foglalkozik. Mindig valamilyen más hulladékkal együtt közösen rothasztják. A hozzáadott szubsztrát anyag az esetek nagy részében baromfi, juh, ló és marha trágya, keményítő-ipari hulladék, melasz maradék, tejipari hulladék, zsírszerű anyagok, konyhai hulladék. A sertéstrágyát olyan anyagokkal együtt rothasztják, amelyek a mezőgazdasági és élelmiszeripari tevékenységből értelemszerűen adódnak. Ezek az anyagok nagy a széntartalmúak és főleg anaerob úton könnyen bontható szénvegyületeket (szénhidrát, zsír, esetleg fehérje) tartalmaznak.

- A sertés trágya anaerob úton nehezen bontható. Ez magyarázható egyrészt azzal, hogy a sertés trágya híg levében nagy mennyiségű ammónia (4000 – 5000 mg N/L) halmozódik fel, amely gátló hatást fejt ki a rothasztásra. Másrészt a tápszer (kukorica + egyéb abrak takarmányok + kiegészítő anyagok) könnyebben lebontható hányadát (~35 %-a) már az állat lebontotta. A visszamaradó anyag már nehezebben bontható és ez az anyag trágyaként jelentkezik. A sertés takarmány közelítő összetétele: 2,5 % szénhidrát; 65 % keményítő; 15 % fehérje; 4 % zsír; 3% cellulóz és szervesetlen anyagok.
- A sertés trágya önmagában csak akkor rothasztható, ha az anaerob oltó iszap megfelelő minőségű (pld. szennyvíziszap) és a szoktatás (adaptáció) lassú felfutású (tartózkodási idő: 30 – 50 nap). A sertés trágya rothasztó saját anyagával történő beindítása nagyon lassú, mert a nagy ammónia koncentráció a metántermelők elszaporodását gátolja. Tehát a beoltásnak és a lassú adaptációnak meghatározó szerepe van. Ha sikeres a beoltás és az adaptáció, akkor ezt követően a metántermelő baktériumok az állandóan jelenlévő nagyobb ammónia koncentrációt (< 2500 mgN/L) már jobban elviselik.
- Ha a sertés trágya levének zömét a rothasztóra történő rátáplálás előtt polielektrolites kicsapatással eltávolítjuk, akkor az ammónia-terhelés kb. a felére lecsökkenthető. Ezzel együtt a gátló-hatás is csökken, még ekkor is keletkezik a rothasztás folyamán bőven ammónia, de az adalék-anyag nélküli rothasztásnak nagyobb lenne az esélye. A gond az, hogy a híg-sertés trágya hallatlanul stabil kolloid rendszer, amit egyszerű polimer adalékkal nem lehet megbontani. A kolloid rendszer megbontása  $Fe^{3+}$  + anion aktív polimer komplex adagolásával végezhető el. Ez plusz költség, de az ammónia koncentrációt kb. 2000 mgN/L értékre le lehet szorítani. Ilyenkor a sertés trágya rothasztása már önmagában vagy kevesebb adalék szubsztrát anyag jelenlétében is elvégezhető. Ezt bizonyítja az FCSM Zrt. É-Pest szennyvíztisztító telepen végzett kísérletei.
- Egyéb hulladékokkal együtt történő sertés trágya rothasztás eléggé megbízhatóan végbe megy. Ez pusztán csak hozzáadott szubsztrát minőség és mennyiség kérdése. Itt vigyázni kell, mert elképzelhető olyan eset is amikor a lebontási hatásfok növekedése a kiegészítő szubsztrát érdeme. Nyilvánvaló, hogy a közös rothasztásnál javul a sertés trágya lebontása is. A közös szubsztrát rothasztásánál az egyes anyagok lebontását analitikailag nem tudjuk szétválasztani. Közelítőleg az egyes szubsztrátok külön rothasztása ad erre választ.
- A sertés trágya saját rothasztásánál 250 – 300 L/kg betáplált szervesanyag gázhozammal lehet számolni. A mezőgazdasági hulladékok (energia fű, kukorica-szár, esetleg szalma) vagy siló-takarmány beadagolásával ez az érték valószínűleg megduplázható.
- A sertés trágya önálló rothasztására van némi esély, ha részleges almos trágyázást alkalmaznak. Ennek lényege, hogy az állat pihenő és alvóhelyére szalmát helyeznek és az un. trágya-folyósóról a trágyát, mint híg trágyát távolítják el. Ez a fél-almos technológia lehetőséget ad a trágya összeérlelésére (ami hidrolízist és illósav termelést is jelent) és ez által javítható a lebontás vagy lényegesen kevesebb kiegészítő szubsztrátra van szükség.
- Kiegészítő szubsztrátként jól alkalmazható örölt formában beadagolt tritikále, kukorica, cirok, rozs, csicsóka. A felsorolt kiegészítő anyagok értékes takarmányok és a terméstől, piactól függően nagyon drágák lehetnek. Ez sok esetben gátolja a kiegészítő szubsztrátok alkalmazását. A felsorolt a termények könnyen megőrölhetők és egyszerű technikával a rothasztóba beadagolhatók.

### **3. Mezőgazdasági és élelmiszeripari hulladékok rothasztása**

#### **3.1. Egyéb hulladékok biogáz potenciálja**

A nemzet-gazdasági szinten a biogáz-potenciál tekintélyes részét (78%) az energianövények (silókukorica, cirok, gyepnövények) és az élelmiszeripari hulladékok képviselik. Az állati trágyák, szennyvíziszap, állati- és kommunális hulladékok csak 22 %-ot képviselnek. Ez azt mutatja, hogy a

növényi eredetű anyagoknak a biogáz-termelésben a jövőben meghatározó szerepe lesz. A mezőgazdasági és élelmiszer-ipari hulladékok biogáz potenciálját a 2.táblázat mutatja be.

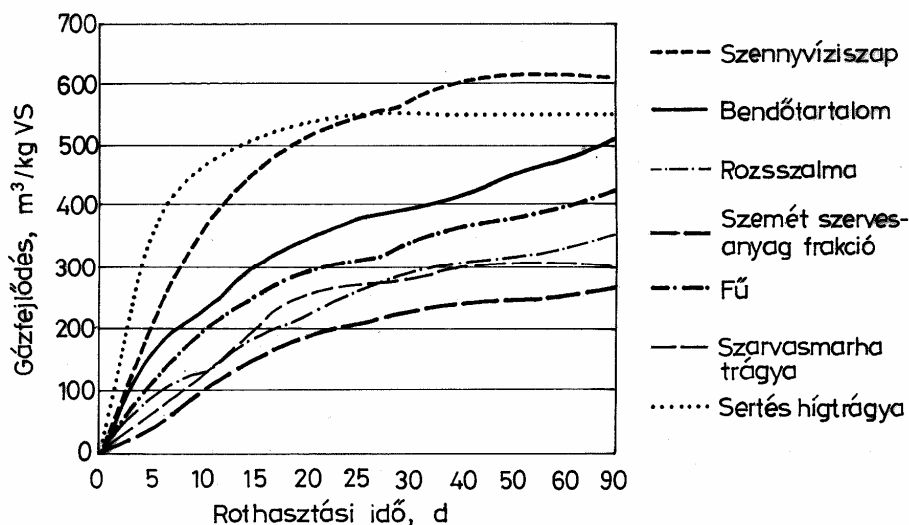
2.táblázat A mezőgazdasági és élelmiszer-ipari hulladékok biogáz potenciálja (betáplált VS-re vonatk.)

Nyersanyag	Gázhozam, L/kg VS	Közepes gázhozam, L/kg VS
Zöldségmaradékok	330 – 360	345
Mezőgazdasági hulladékok	310 – 430	370
Csatornaiszap	310 – 740	525
Búzaszalma	-	190
Húsipari hulladék	-	231
Konzervüzemi hulladék	-	277
Kerti zöldhulladék	500 – 600	-
Piaci zöldség-hulladék	550 – 600	-
Zsírleválasztók	600 – 1000	-
Burgonya cefre	400 – 700	-
Sörgyártás maradéka	500 – 700	-
Gyümölcs törköly	500 – 800	-
Repce maradék	400 – 900	-
Bendő tartalom	400 – 500	-
Éttermi hulladék	800 – 1000	-

Jelmagyarázat: VS – szervesanyag

A ko-fermentáció során a mindenkori szubsztrát komponenstől függ a fajlagos biogáz-termelés. A ko-fermentációnál a reaktortérfogatra vonatkoztatott biogáz hozam felülmúlja a csak egy szubsztrátot hasznosító fermentációs (higtrágya) rendszer gázhozamát.

Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ (2009) adatai alapján néhány hulladékfajta – szennyvíziszap, bendő tartalom, rozs szalma, háztartási szemét szervesanyag frakciója, fű, szarvasmarha trágya, sertés trágya – a betáplált szervesanyagra (VS) vonatkoztatott fajlagos gázfejlődését a rothasztási idő függvényében a 3.ábra mutatja. Jól látható, hogy a háztartási szemét, rozs szalma és a szarvasmarha trágya biogáz hozama 30 – 40 napos rothasztási idő esetében is elég szerény 250 – 300 L/kg VS érték között mozog. A szennyvíziszap és a sertés trágya biogáz fejlesztése viszonylag magas 500 – 600 L/kg VS érték. Hangsúlyozni kell, hogy az egyes szerzők fajlagos gázfejlesztési adatai között nagy eltérések tapasztalhatók.



3. ábra Néhány hulladék betáplált szervesanyagra (VS) vonatkoztatott fajlagos gázfejlődése a rothasztási idő függvényében

### 3.2. Biogáz előállítására leginkább alkalmas növények ismertetése

*Fogarassy* (2008) tanulmányában a szántóföldi energia növények hasznosításával foglalkozik. A biogáz-termelésre leginkább alkalmasak a könnyen bontható, magas szénhidrát tartalmú növények (cukorcirok, siló kukorica, csicsóka).

Az anaerob eljárás főleg a mezőgazdasági termékek előállítása és az állattartás során keletkező szerves melléktermékek kezelésében, feldolgozásában játszik fontos szerepet. A kifejezetten biogáz termelésre termesztett növények nagyon ritkák, de azért némelyikük biogázként hasznosítva is gazdaságosan termesztethető. A biológiai metánképzés segítségével szinte minden növény feldolgozható, míg pl. a nyersanyagok égetése nagyon alacsony nedvesség-tartalomhoz kötött, addig a biogáz termelés természetes nedvességtartalom mellett történik. A biogáz termelésre leginkább alkalmasak a könnyen bontható, magas szénhidráttartalmú növények. Például a kukorica, a kanári köles és a különböző évelő fűfajok silózás utáni metánhozamai közel azonosak voltak. A lignocellulóz tartalmú növények kevésbé alkalmasak biogáz fejlesztésére. Az elfogadható mennyiségű, gazdaságos biogáz termelés legfontosabb feltétele, az egész éven át folyamatos nyersanyagellátás. A mezőgazdasági növénytermelés oldaláról, ez követelmény nehézkesen valósítható meg. A biogáz fejlesztés technológiája ma nagyrészt azért épül a hulladékokra, mert a gyakorlatban a kiindulási szervesanyag mindössze 50 – 60%-ban bontható le, a többi elem visszamarad a szilárd vagy híg rothasztott anyagban. Így a biogáz-fejlesztés tulajdonképpen a hulladékhasznosítás részének tekinthető. A megtermelt biogázt a mezőgazdaság számtalan területén lehet hasznosítani, ami főleg hő- vagy villamos-energia előállításán keresztül valósul meg. Különböző helyiségek (fejőház, istálló, keltető) fűtése, melegvízellátás, terményszárítás, tejhűtés, üvegházak, fóliasátrak fűtése stb. lehetnek a felhasználás területei.

A kukorica és gabona-féléken túlmenően – biogáz-termelésben számításba vehető – számos más energia-növény is. Ezek közül kiemelhetők a hazai nemesítések (cukor cirok, "Szarvasi-1" energiafű, szilfium). A biogáztermelés szempontjából a következő energia-növények érdemelnek említést: Cukorcirok – Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L.); Szudánifű – Sudangrass (*Sorghum vulgare* P.v. *sudanense*); Csicsóka – Topinambur (*Heliantus tuberosum* L.); ÓVARI gigant® szilfium (*Silphium perfoliatum* L.); Petemi (*Sida hermaphrodita*); "Szarvasi-1" energiafű; Angol perje – Perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.); Nádképi csenkesz – Tall Fescue (*Festuca arundinacea* L.); Óriás Keserűfű – Giant Knotweed (*Polygonum sachalinensis* F. Schmidt); Zöld pántlikafű – Reed Canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.).

Kukoricánál összehasonlították a két- és az egy-lépcsős rothasztást. A kukorica siló két-lépcsős rothasztásnál ~60 %-kal több metán képződött, mint az egy-lépcsős rothasztásnál. Ez bizonyítja, hogy a két-lépcsős rothasztás savas feltárása nagyon előnyös a biogáz termelésnél. A biogáz-termelésre alkalmas mezőgazdasági energia növényeknél általában előnyös a két-lépcsős rothasztás. A hidrolízis lépcsőfok optimalizálása nemcsak abból áll, hogy megakadályozzuk a metántermelő folyamatot a reaktorban, hanem biztosítani kell, hogy a savképződés teljes mértékben végbemenjen.

Fél-üzemi kevert reaktorban végzett kísérleteknél (CSTR) trágya és energianövények közös ko-szubsztrát rothasztásnál az összes szárazanyag 40 %-át energianövény tette ki. A szarvasmarhatrágya fű, cukorrépa levél és zabszalma közös rothasztásakor 0,268; 0,229 és 0,213 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> VS (beadagolt szervesanyag) legnagyobb metántermelést érték el. A fenti energianövények 30 % -os adagolása esetében a metántermelés reaktor térfogatra vonatkoztatva 16 – 65 %-kal nőtt a szarvasmarhatrágyához képest. Ez azt bizonyítja, hogy a 40 %-os energia növény adagolás a trágyák esetében sok. Ez az összes metán-potenciálnak 59 – 66%-át tette ki. Egy-lépcsős rendszerben 55 nap tartózkodási idő mellett a fű metántermelő potenciálját csak 20 %-ban lehetett hasznosítani, ugyanakkor két-lépcsős rendszerben 98 %-os hasznosítást lehetett elérni.

Biztatónak tűnik, hogy Magyarországon a szilfium nevű növény nemesítése befejeződött. A szilfium biogáz-termelésre nagyon alkalmas növénynek tűnik. Hiszen a zöld növény jelentős mennyiségű cukrot (13 – 20% sz.a.-ra átszámítva) tartalmaz, emiatt önmagában jól silózható, sőt alkalmas alacsony szénhidrát-tartalmú takarmányok kiegészítésére is. A levél fehérjetartalma eléri a 24 – 27%-ot, a száráé 12 – 14%-ot.

A kísérleti tapasztalat szerint a siló anyagok rothasztásánál egyensúlyi viszonyok esetében is előfordul, hogy a rothasztó pH értéke hirtelen lecsökken (pH: 6,5) és az illósav koncentráció megnő, és az egyensúly felborul. Ilyen esetben a siló adagolást csökkenteni kell, a rendszer puffer kapacitását és a rendszer pH értékét a betáplált trágya visszaállítja.

*Banks és Humphreys* (1998) vizsgálatai szerint a két-lépcsős megoldással a sav és metán-termelő szétválasztásával a hatásfokot jelentősen lehetett növelni, mert a második lépcső a szárazanyag 53 %-át lebontotta. A metán-termelő lépcsőbe nagyobb ammónia-termelő szubsztrát (vágóhíd hulladék) adagolásával az egyensúlyt jól lehet szabályozni. A szerzők szerint a lignocellulóz tartalmú anyagok rothasztásánál a két-lépcsős eljárás alkalmazása indokolt. A hidrolizáló, savas fázis jobb kihasználása és annak beoltása céljából az első lépcső után a részben feltárt hulladékokat visszaforgatják. A hidrolízis javítását szolgálja az aprított cellulóz hulladéknak a savas és metános fázisból visszavezetett folyadék fázissal történő bekeverése is. A szakaszos kísérletek azt mutatták, hogy a két-lépcsős anaerob technológiát az energianövényeknél eredményesen lehet alkalmazni.

### 3.3. Farm-biogáz telep telepítésének feltételei

*Epp et al.* (2008) a kelet európai országok (Szlovénia, Horvátország, Románia, Bulgária, Görögország, Litvánia) számára kiírt projekt (BiG>East: EIE/07/214) keretében a biogáz telepek létesítésének feltételeit értékelték.

Biogáztelep telepítésnél szükséges feltételek:

- A feldolgozandó biomasszának a rendelkezésre kell állni (hagyományos és nem hagyományos hulladékok)
- A kiválasztott helyen vagy annak közelében a keletkezett hő és elektromos energiát hasznosítani kell
- Szervezeti felépítés biztosítása.

Biogáz telepek létesítésének alap példái:

- A.** Csak állati trágyát használnak a rothasztásra. Az állat szám 40 – 80 db. A rothasztó berendezés egyszerű, masszív kivitelű. A trágyát szivattyúzás nélkül közvetlenül a rothasztó tartályba (37 °C) vezetik. A rothasztó keverése nem folyamatos (3 – 8 perc/h). Trágya a rothasztóból a végső tározóba jut. A gázt rozsdamentes csövön a gáztároló ballonba vezetik. A biogázt gázkazánban elégetik és a nyert hőenergiát fűtésre használják. Tipikus telepen például 50 db. állat esetében 63 m<sup>3</sup>/d gáz keletkezik, 60 % metán tartalom 2,6 m<sup>3</sup>/h folyamatos gázképződés mellett 15,6 kW fűtési teljesítmény biztosítható.
- B.** Ipari vagy kommunális hulladékot feldolgozó biogáz telep. A technológia bonyolult és a keletkező szennyvíz tisztítását is meg kell oldani. A telepet 10 000 t/év hulladék mennyiség felett célszerű kialakítani. Ipari hulladék lehet sokféle pld. zsírok, vágóhídi, konyhai és éttermi hulladék.
- C.** Növényi hulladékokra és növényi eredetű terméseket feldolgozó rothasztó. A rothasztásnál 40 – 70 nap tartózkodási-időt alkalmaznak. A biogázt hő és elektromos energia előállítására használják. Hőt és elektromos energiát termelő generátort (CHP-Combined Heat and Power) gyakran alkalmaznak. A leggyakrabban használt energia növények a kukorica, lóhere, energia fű, gabona félék, édes cirok és a szudáni fű. A fenti energia növények kombinációját is alkalmazzák siló készítésre.

Jelenleg a 300 – 700 kW teljesítménnyel üzemelő biogáz-telep tűnik a leginkább költség-hatékonynak. Az éves biomassza szükségletnek legalább 80%-át hosszú távú szállítási szerződés formájában kell rögzíteni. Az 500 kW elektromos teljesítményű biogáz-üzem helyigénye 4000 m<sup>2</sup> és a hulladék tárolására további 5400 m<sup>2</sup> terület szükséges.

### 4. Ligno-cellulóz származékok rothasztásának tapasztalatai

Az FCSM Zrt.-ben rothasztási kísérleteket a kis-vízfolyások területéről származó rosszabb minőségű (gazos) fűfélékkel és energia fűvel végeztük. A mezőgazdaságban nagy mennyiségű cellulóz alapanyagú hulladék képződik. Ezen hulladékok anaerob úton történő részleges hasznosításával a biogáz-hozam növelhető.

A kísérleteket fél-üzemi, termofil anaerob fermentorban ( $V = 3 \text{ m}^3$ ) végeztük. Az első, kontroll időszakban a reaktorba csak az iszapot tápláltuk. A második szakaszban a rothasztásnál a ko-szubsztrát elvet követtük, vagyis nyers és főlös-iszap keverékhez adagoltuk a megdarált fűvet és energiafűvet, majd ezt a keveréket tápláltuk a rothasztóra.

#### 4.1. Lignocellulóz származékok jellemzése

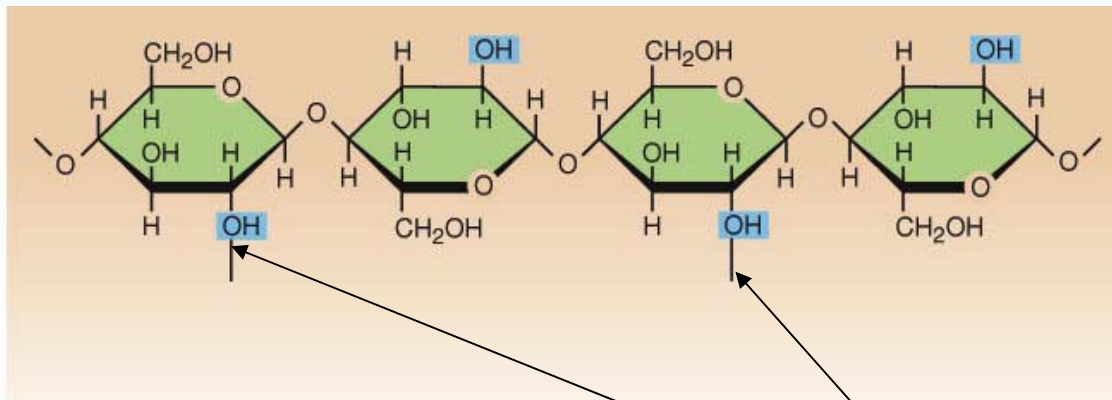
A fa és fűfélék vázanyagát három fő kémiai alkotóelem építi fel: cellulóz, hemicellulóz, lignin, amelyek egy komplex struktúrát alkotnak. A cellulóz rostokat hidrogén és Van der Waals kötések kialakításával hemicellulóz és lignin burok veszi körül.

A cellulóz nem elágazó, lineáris, D-glükóz molekulákból álló polimer. A glükóz molekulákat  $\beta$ -1,4 glükozidos kötések kapcsolják össze. A polimerizációfok változó, 7 000 – 15 000 glükóz egység kapcsolódik össze. Az egyenes láncokat intermolekuláris hidrogén kötések stabilizálják, amelyek a glükóz egységek hidroxil csoportjai között jönnek létre. Kristályos szerkezetben a rétegek között van der Waals reakció is fellép. A cellulóz mechanikailag erős, ezt a tulajdonságát komplex és rendezett szerkezete biztosítja.

A cellulóz vízben oldhatatlan, rendkívül ellenálló poliszacharid. A cellulóz a legnagyobb mennyiségben rendelkezésre álló biopolimer Földünkön. A cellulóz egy lineáris homopolimer (D-glükóz monomerek  $\beta$ -1,4-glükozidos kötésű lánc). A polimerizáltság mértéke igen változó, néhány száz glükóz egységtől 20 000 egységig terjedhet, a polimer hosszúsága körülbelül  $7\mu\text{m}$ . A cellulóz polimerek hidrogén hidakkal, valamint van der Waals kötésekkel kapcsolódva mikrofibrillumokat hoznak létre, amelyek egymással párhuzamosan helyezkednek el. Ezek a szupramolekuláris rostok alkotják a nagy húzószilárdságú kristályos cellulózt, míg a növényi sejtfalban a cellulóz kis hányada a kevésbé rendezett nem-kristályos, ún. amorf formában van jelen. A hidrogén hidakkal kapcsolt struktúra lúgokkal és ásványi savakkal fellazítható, ami a cellulóz szálak duzzadását eredményezi. A cellulóz szerkezetét az 4. ábra szemlélteti, képlete  $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ .

A cellulóz a keményítőtől annyiban különbözik, hogy

- a cellulózt több glükóz-egység építi fel, mint a keményítőt.
- a cellulóz béta-glükózegységekből épül fel-változó térállásban-, míg a keményítő alfa-glükózegységekből áll.
- a cellulóz molekula lánc alakú, a keményítőé pedig spirális (hélix).



A jelölt helyeken hidrogén-kötéssel a cellulóz lánc más cellulóz molekulákhoz kapcsolódik

4. ábra Cellulóz a glükóz polimerje  
( $\beta$ -1,4 glükozidos kötés)

A lignocellulóz származékok anaerob úton bizonyos mértékig bonthatók. A termofil anaerob eljárásnál a celluláz enzim aktivitás lényegesen nagyobb, mint a mezofil rendszerben. Ez a tapasztalat bizonyos reményt ad arra vonatkozóan, hogy a lignocellulóz származékokból termofil körülmények



között gazdaságosan biogáz nyerhető. A cellulóz származékok elő-hidrolízise a rothasztásnál eredményesen alkalmazható.

#### 4.2. A fél-üzemi kísérlet tapasztalatai

A fél-üzemi kísérleti tapasztalatokat az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- A kontroll (csak szennyvíz iszap) fajlagos gázképződése: 0,4 – 0,5 m<sup>3</sup>/kg betáplált szerves iszap.
- A betáplált fű szárazanyagára vonatkoztatott plusz fajlagos gázképződés 0,160 – 0,200 m<sup>3</sup>/kg fű értékek között változott.
- Az energiapfű gázfejlesztése 0,300 – 0,350 m<sup>3</sup>/kg érték között mozgott.
- A kirothasztott iszapban a fű és egyéb szálak struktúráját nem lehet észlelni, kivéve az iszap tetején úszó vastagabb darabokat, amelyek a rothasztás során nem bomlottak le.
- A napi betáplálásnál a fű az iszap szárazanyagának ~ 25 %-át tette ki. A fű iszap arányt nem lehetett emelni a vastagabb szálak zavaró hatása (eltömődés) miatt
- Ha csak tiszta füvet rothasztanánk, akkor a fű iszap arányt 40 – 50 %-ra is lehetne emelni. Energia fű esetében ezt a bekeverési arányt lehet tartani, miután az aprított energiapfű nem tartalmazott inhomogén fás-jellegű anyagokat.
- A kis-vízfolyások partjáról lekaszált füvet száraz állapotban CLASS 850 Jaguár mezőgazdasági szecskázó géppel aprítottuk össze. Az aprítás után 1 mm – 3 cm-es szál darabok képződtek. A darált anyag tartalmazott kb. 10 % mennyiségben vastagabb (~ átmérő 5 mm) kóro és gaz szálakat, amelyek mérete ugyan nem haladta meg 3 cm hosszúságot, de iszaphoz keverés után a felszínre úszott, feltehetően a szárban lévő levegős bél szerkezet miatt. Ezt az anyagot rostálással elválasztani nem tudtuk, miután ugyanilyen méretű fűszálak is vannak a keverékben.
- A vastagabb darabok felúszása a fél-üzemi berendezés üzemeltetésénél nagyon sok kellemetlenséget okozott (dugulás, szétválás, kéreg-képződés). A nagy üzemi berendezésnél az ilyen jellegű anyagok, ha nem is eltömődést, de a felhalmozódás miatt kéreg-képződést okozhatnak. Az iszap leeresztés után ezek az úszó részek a keverés ellenére rothasztóban maradhatnak és felhalmozódnak.
- A lignocellulóz tartalmú anyagok (mezőgazdasági eredetű hulladékok) előkezelése céljából az ipari eredetű celluláz enzimek alkalmazása gazdaságilag nem tűnik biztatónak. Valószínűnek látszik, hogy a két-lépcsős anaerob kezelés természetes savtermelő fázisát célszerű a hidrolízis céljára felhasználni.

### 5. Alkalmazott reaktorok és rothasztó rendszerek

#### 5.1. Mezőgazdasági hulladék anyagok egy- és két-lépcsős rothasztása

Weiland (1993) vizsgálatai arra mutattak rá, hogy a C:N > 15 aránnyal rendelkező maradék anyagok esetében az egy-lépcsős, míg a fehérje-gazdag, < 10 C:N-aránnyal rendelkező maradék anyagok esetében a két-lépcsős rendszer alkalmazása célszerű. Az egy-lépcsős rendszerben, 10 – 20 napos tartózkodási idő alatt különböző hulladékok szerves anyagának 50 – 70 %-a lebontható, ha a szervesanyag 50 %-a oldott fázisban van jelen. A fajlagos biogáz-hozam a betáplált száraz szervesanyagra vonatkoztatva 300 – 500 m<sup>3</sup>/t.

A két-lépcsős rendszer eredményesen fehérje-gazdag vagy cellulóz eredetű hulladékokkal üzemeltethető. A metántermelő fázisban KOI > 10 kg/m<sup>3</sup>·d terhelésnél az egyensúly fenntartható és a zsírsavak nem akkumulálódnának. Az ammónia koncentráció ilyen terhelésnél kb. 5000 mg/L körüli, de a baktérium tenyészetek a két-lépcsős folyamatban a nagy ammónia koncentrációkat jobban elviselik, mint az egy-lépcsős rendszerben. Az ammónia akkumulációja a hidrolízis reaktorban, amelyet a folyadék recirkuláció idéz elő, elősegíti a propionsav keletkezését és meggátolja az ecetsav képződését. Így például a sörfőző üledék hidrolizátuma több propionsavat (> 6000 mg/L) tartalmaz, mint ecetsavat (< 5000 mg/L).

Európában a rothasztó rendszerek 90 %-a egy-lépcsős és „nedves” vagy „száraz” üzemeltetésű (*De Baere*, 2000). Az egy-lépcsős rendszerek létesítése és üzemeltetése olcsóbb, mint a két-lépcsős rothasztóké. Az egy-lépcsős „nedves”, teljes elkeverésű rendszer első lépésében a hidrolízis, a savképződés és az oldatba menetel játszódik le. A második lépésben az acetát, a hidrogén és a széndioxid transzformálódnak metánná. Az egy-lépcsős rothasztó rendszerben mindezen reakciók egyetlen reaktorban, szimultán módon játszódhatnak le. A két-vagy több lépcsős rendszerekben a reakciók

egymást követően legalább két reaktorban játszódnak le. A „nedves”, teljes keverésű rendszerekben a szerves szilárd anyagot vízzel hígítják, keveréssel homogenizálják. A keverék TS tartalma < 10 %.

## 5.2. Egy-lépcsős „száraz” rendszerek

Az egy-lépcsős „száraz” rendszerek alkalmazása az 1980-as években vetődött fel (*Olaszkiewicz et al.*, 1997; *Spendlin et al.*, 1988). A „száraz” rothasztó rendszer gondolata bizonyította, hogy a biogáz termelés megfelelő mértékű abban az esetben is, ha az iszap 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 – 25 % fölé nem célszerű emelni, mert a lebontás határfoka lecsökken. A száraz rendszerekben a lebontódó szennyezőanyag szilárdanyag tartalma 20 – 40 % TS.

A „száraz” rothasztók leismertebb berendezése a KOMPOGAS rendszerű reaktor. A vízszintes elhelyezésű 15 m<sup>3</sup>-es, hengeres rothasztó (*Wellinger et al.*, 1992) hidraulikai keverővel ellátott. A rothasztó hőmérséklete kb. 55 °C. Hidraulikai tartózkodási idő 20 – 40 nap. A KOMPOGAS rothasztó rendszer nagy szárazanyag tartalmú (~30 %) hulladékok rothasztására szolgál.

## 6. Farm-gazdaságok biogáz termelésének európai tapasztalatai

Az európai országok biogáz-termelését dániai, németországi és ausztriai példákön mutatjuk be.

**Dániában** 1980 óta kb. 50 farmon létesült biogáz-telep. A biogáz-üzemek 50 – 500 t/d kapacitás között üzemelnek. A biogázt elektromos és hő energia előállítására használják. A rothasztóba táplált hulladék 80 %-a trágya és 20 %-a kommunális és élelmiszeripari hulladék. A mezőgazdaságban 3,7 PJ energiát állítanak elő rothasztással a hulladékokból. Biogáz-termelésre Dániában következő energia növények jöhetnek szóba: fű- és here-félék, kukorica. Jelenleg a trágyák rothasztásához inkább élelmiszeripari hulladékokat használnak.

A biogáz-termelésre alkalmas energia növények termelésénél alapvető szempont:

- nagy biomassa hozam
- a növény biológiailag jól bontható legyen és nagy legyen a fajlagos biogáz-hozam
- természetnél a növény tápanyag igénye és növény-védelemhez szükséges peszticid igény kicsiny legyen
- a művelési költség kicsiny legyen
- a betakarítás és a tárolás költsége kicsiny legyen

A fenti követelményeknek a Skandináv államokban az alábbi növények felelnek meg: kukorica (*Zea spp.*), répa (*Beta vulgaris*), lóhere (*Trifolium spp.*), tritikále (*X Triticosecale*), pántlikafű (*Phalaris spp.*), elefántfű (*Miscanthus spp.*), búza (*Triticum spp.*), kender (*Cannabisspp.*), csicsóka (*Helianthus tuberosus*).

Az új struktúrában, az élelmiszer-ipari célokra termelt növények melléktermékei mellett, a *főtermékként termesztett energetikai növényekből* származó alapanyagok képezhetik a mezőgazdasági eredetű megújuló energiahordozók bázisát. A mezőgazdasági struktúraváltás legfontosabb kérdései tehát, hogy energetikai hasznosításra a hagyományos termesztésből mekkora területek és milyen módon vonhatók ki, illetve e termőterületeken milyen energianövények termesztése javasolható. Ha az előzőekben említett mezőgazdasági potenciál maximális kihasználását tűzzük ki célul, akkor az élelmiszer-fogyasztást és az export lehetőségeket kielégítő mennyiség, a rendelkezésünkre álló szántóterület 60 – 70%-án megtermelhető. A fennmaradó területeken, ami az összterület 30 – 40%-a is lehet, a főtermékként hasznosított energetikai növénytermesztés tehát gond nélkül megvalósítható lenne.

Dániában a szerves trágya, egyéb mezőgazdasági és az ipar szerves hulladékok, és a háztartási hulladék közös rothasztása nagyon stabil és életképes technológiának bizonyult. Ezen kívül a beszállított szerves hulladékok növelik a gáz-termelést, javul a rothasztó tér kihasználtsága és a befektetett tőke megtérülése. A farmer gazdaságok közösen építenek biogáz-telepeket. A trágya és egyéb hulladékok gazdaságos beszállítási távolsága 10 – 15 km. Rothasztásnál a mezofil (33 – 38 °C) és a termofil (52 – 55 °C) módszert egyaránt alkalmazzák.

A dán gazdálkodók egyre szigorodó környezetvédelmi szabályozással kerültek szembe:

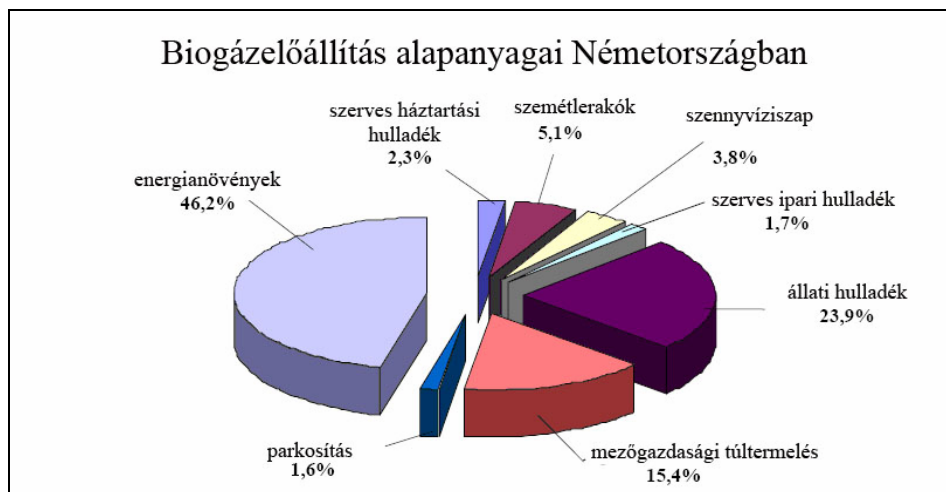
- A trágya kötelező tárolását 6 hónapról 9 hónapra emelték.
- Korlátozzák a trágya által képviselt nitrogén/ha kihelyezési értékeket. Az érvényben lévő szabályozás: sertés trágyánál 1,7 és szarvasmarha trágyánál 2,3 LU egység (1 LU egység 100 kg trágya nitrogén). Ezeket, az értékeket 1,4 és 1,7 LU értékre csökkentették.
- A kihelyezhető maximális nitrogén mennyiségét valamennyi növény esetében előírták.
- A fenti korlátozásokat a rothasztás hatására kialakuló kiegyenlített iszap minőség és mineralizáció lényegesen enyhíti.

**Németországban** a biogáz előállítás a farm-gazdaságokban széles körben elterjedt. A gazdálkodók a rothasztott iszap trágyaként történő felhasználással a kiváltott műtrágya nitrogén után, a táj ökológiai megőrzéséért, a termikusan keletkező energia hasznosításáért is bónuszt kapnak. Az előrejelzések szerint Németországban a biogáz-üzem szám 4780 és a biogáz-telepek villamosenergia-termelése eléri az 1600 MW. A mezőgazdasági üzemeknél lehetőség kínálkozik a hígtrágya (szarvasmarha, sertés, baromfi) és mezőgazdasági hulladékok (siló kukorica, réti fű stb.) közös rothasztására. A biogázt kombinált hő-és a villamos energia formájában (CHP rendszer) hasznosítják.

Németországi biogáz-telepek elektromos teljesítményét illetően 2000 és 2008. évek között a fejlődés gyors volt, hiszen 60 MW-ról 2008.-ra 1400 MW értékre nőtt. A szubsztrát 83 %-át energia-növények és trágya közösen alkotja, 2 %-át csak trágya és 15 %-át energia növények képviselik. Általánosnak mondható, hogy az energia növényeket általában trágyával közösen rothasztják.

Biogáz-termelésben jelenleg leggyakrabban – 90%-os gyakorisággal – a kukorica silót alkalmazzák. Jelentős még a gabona-félék (~ 50 %) és fű siló (38 %) alkalmazása. A fű, kukorica-csutka keverék és a napraforgó alkalmazása nem jelentős. A jövőben a különböző energia növények (szilfium, zöld pántlikafű, csicsóka, cirok-félék) elterjedése és ezzel egy időben ezek rothasztásban történő alkalmazása feltehetőleg felgyorsul.

*Federal Ministry of Economics and Technology* (2009) kiadvány a biogáz termelésre alkalmas energia növények anaerob rothasztását és a termőföld területen előállítható különböző bioenergia formákat (biometán, biomassza, biodiesel) értékeli. Németország biogáz termelésében szerepet játszó fontosabb hulladék anyagok arányát *5.ábra* mutatja. A mezőgazdasághoz kapcsolható energia növények (46,2 %), állati hulladékok és trágyák (23,9 %) és a mezőgazdasági másod termékek (15,4 %) képezik alapvetően a megújuló energia-források jó részét.



5.ábra Németország biogáz termelésében szerepet játszó fontosabb hulladék anyagok aránya

A mezőgazdasági farmokon épített rothasztók az 1000 – 2000 m<sup>3</sup>-es reaktorok gyakorisága 22 %, a 2000 – 3000 m<sup>3</sup>-es reaktorok gyakorisága 26%.

Biogáz termelés növekedését meghatározó tényezők Németországban:

- Elhatározták, hogy 2020-ig a megújuló energiaforrásokból az elektromos energia termelést 30 a hő-hasznosítást pedig 14 %-ra növelik

- A CO<sub>2</sub> kibocsátást 2020-ig 40 %-kal csökkentik
- A külső beszállítóktól függő gáz ellátást csökkenteni kell
- 2030-ig a gáz piacon az ellátást biogázból 10 %-ra szándékoznak növelni
- A megújuló energia ellátás irányelveit a törvénybe foglalták (EEG)

Elektromos energiatermelés növelése a megújuló energiaforrásokból:

- A termelt elektromos energiára 20 éves felvásárlási garanciát biztosítanak
- Prioritást biztosítanak a hosszú távú tervezés és beruházás számára
- Kalkulálható költség az energia felhasználók számára
- Az előállítási díj függ a telep nagyságától és a szubsztrát minőségétől. Az előállított elektromos energia díja tartalmazza az alapidíjat, biomassza, trágya felhasználási, CHP (Combined heat and power) technológiai, tájvédelmi és levegő tisztasági bonuszt. A CHP erőmű hő és elektromos energiát állít elő. Célszerű a két energia fajtát az előállítás helyén a mezőgazdasági kombinátban felhasználni. A nagyobb elektromos teljesítményű (5 – 20 MW) biogáz erőműveknél ez a sokféle támogatási mód lecsökken az alapidíjra és CHP bonuszra.

A biogáz-energia hasznosításának szempontjai Németországban:

- A biogáz előállításnál meghatározó, hogy a biogázt megfelelően tisztítsák, majd járművek meghajtására használják és a városi gáz-hálózatba táplálják.
- 2020-ig a biogáz-telepek számát 10 000 – 12 000 db-ra kell növelni
- Az elkövetkező 4 évben főleg kisebb (<200 kW) és nagyobb (1 MW) biogáz-telepet kell építeni
- A kisebb biogáz-telepeken főleg trágya felhasználásra épüljenek
- A nagyobb biogáz-telepeken keletkező biogázt tisztítani kell, és gázhálózatba kell betáplálni
- Jövőben a biogáz-telepek alap szubsztrátját a különböző energia növények alkotják
- Az új energia növények még ugyan nem versenyképesek a jelenleg alkalmazott kukorica és gabona siló termékekkel, de egyre jelentősebbnek tűnik az energia fű, szudáni fű, cukorcirok, szilfium, csicsóka és a köztes növények
- Az azonos hulladék fajtákat feldolgozó biogáz-telepek száma kisebb, mint a vegyes összetételű hulladékokat feldolgozó telepek száma
- A biogáz-telepeknek elektromos energiát és hőenergiát együtt kell előállítani
- A kisebb biogáz-telepeknek a kisebb települések hő-ellátásában meghatározó szerepe lesz.

A farm gazdaságokban az alábbi reaktor elrendezéseket alkalmazzák:

- Elkevert tartály reaktor rendszer (CSTR). Szilárd és folyékony hulladékok közös rothasztásánál alkalmazzák. Kialakítása viszonylag egyszerű. A rothasztásra beadagolt hulladékok folyékony fázisban vannak.
- Cső reaktor elv vagy kaszkád elv alkalmazása. Reaktorban a kezelendő anyag folyékony fázisban vagy fél-száraz állapotban helyezkedik el.
- Fél-száraz vagy kilúgozással üzemelő reaktor. A fél-száraz állapotban betáplált hulladék rothasztása 15 – 30 % szárazanyag tartalom mellett folyik. A kilúgozás esetében a száraz szubsztráthoz kilúgozás céljából vizet adagolnak, majd a kilúgozó vizet egy különálló tartályban elválasztják és a rothasztóban lévő szilárd anyagra visszatáplálják. A kilúgozó víz visszaforgatása a kilúgozás javítását és a rothasztást segíti elő.

A biogáz-telepek leggyakoribb elektromos teljesítménye (35 % gyakoriság) 250 – 500 kW között változik. Az 1 m<sup>3</sup> biogázból előállított elektromos teljesítmény általában 4 – 6 m<sup>3</sup>/kW értékek között mozog (~ 40 % gyakoriság).

Az üzemi költségek megoszlásában tekintélyes részt képvisel a biogáz-termelésben nagy szerepet játszó energianövények megtermelésének és kezelésének költségei (42 %). Az üzemeltetés 14,7 %, a munkaerő 5,9 % és az amortizációs költség 22,3 %. Németországban ezeket a biogáz-telepeket gyors megtérülésre tervezik. Ez az amortizációs költség magyar szemmel nézve túl nagynek tűnik.

**Ausztriában** farm-gazdaságokban jelenleg mintegy 350 biogáz és ko-fermentációs telep üzemel. *IEA Bioenergy Task 37* (2009) beszámolója szerint *Reidling* (Ausztria) mezőgazdasági biogáz-telepen silózott kukoricát és sertés trágyát kezelnek anaerob úton. A silózás előtt szemes kukoricát

megdarálják és így adják a siló kukoricához. A siló tejsavas erjesztésében a szemes kukorica is részt vesz. A *Reidling* biogáz-telep adatai azt mutatják, hogy a sertés trágya a kukorica silóval együtt jól rothasztható. A fajlagos gázhozam (betáplált száraz szerves anyagra vonatk.)  $0,68 \text{ nm}^3/\text{kg}$ , mely érték jónak mondható.

*Energy Crop Digestion Plant Strem* arról számol be, hogy a Strem biogáz-telepen kizárólag energia növényekből állítanak elő biogázt. A betáplált szubsztrátot kukorica siló, energia-fű siló és lóhere siló alkotja. Strem biogáz-telep adatai azt bizonyítják, hogy energia növények megfelelő kombinációjával eredményesen lehet biogázt előállítani. Természetesen az összeválogatott energia növényeknek az alapvető tápanyagot (szénhidrát, fehérje) tartalmazni kell, mert a nagy cellulóz tartalmú anyagok önmagukban nem alkalmasak rothasztásra. *Reidling* és *Strem* biogáz-telepeken megadott szerves szárazanyag (VSS) lebontási határfok (81,3 és 87,6 %) túlzottan jó értékek tűnik.

## Összefoglalás

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 (konyhai hulladék, kerti hulladék stb.) adagolnak és közösen rothasztják. A ko-szubsztrát rothasztással biztosítani lehet a makro (C:N:P) és mikroelemek (Ca, Fe, Mg, Mn, Co stb.) optimális arányát. A ko-szubsztrát hatás az esetek jelentős részében úgy jelentkezik, hogy a könnyebben bontható szubsztrátok hatására az „archaikus” (alap-populáció) kultúra szaporodása felgyorsul, majd ezt követően a nehezebben bontható anyagok lebontása is javul.

A setés trágya anaerob úton nehezen bontható. A sertés trágyát olyan anyagokkal kell együtt rothasztani, amelyek a mezőgazdasági és élelmiszeripari tevékenységből értelem szerűen adódnak (kukorica és gabona-félék közös siló-termékei, szénhidrát, zsír, esetleg fehérje hulladékok). A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy trágyák és a takarmánysiló keverékben a siló arányát 20 – 30%-nál nem szabad magasabbra emelni, mert a rothasztó gyorsan elsavanyodhat. A közös rothasztásban jelentőséggel bírnak a hazai nemesítésű energia növények (cukor cirok, "Szarvasi-1" energiafű, szilfium) is. A jövőben az élelmiszer-ipar melléktermékei mellett, a *főtermékként termesztett energetikai növényekből* származó alapanyagok képezhetik a mezőgazdasági eredetű, megújuló energiahordozók bázisát.

A kis-vízfolyások területéről származó rosszabb minőségű (gazos) fűfélékkel és energia fűvel az FCSM Zrt.-ben fél-üzemi, termofil rothasztási kísérleteket végeztünk. A betáplált fű szerves-szárazanyagára vonatkoztatott fajlagos gázképződés a fűnél  $0,160 - 0,200 \text{ m}^3/\text{kg}$ , az energiafűnél pedig  $0,300 - 0,350 \text{ m}^3/\text{kg}$  érték között változott. A darált fű kb. 10 % mennyiségben vastagabb (~ átmérő 5 mm) kóro és gaz szálakat tartalmazott, amelyek a rothasztóban felúszást és kéreg képződést okozott. Az energiafű szerkezete homogén volt, nem tartalmazott fás-szerekezetű anyagokat. Valószínűnek tűnik, hogy a két-lépcsős anaerob kezelés természetes hidrolizáló-savtermelő fázisát célszerű a metántermelő fázis előtt hidrolízis céljára használni.

Jelenleg Európában a biogáz-telepek száma meghaladja 5000 db-t. A korszerű biogáz-telepeken a biogázt hő-és a villamos energia formájában (CHP rendszer) hasznosítják.

## Irodalom

*Banks, C.J., Humphreys, P.N.* (1998): The Anaerobic Treatment of a Ligno-Cellulosic Substrate Offering Little Natural pH Buffering Capacity. *Wat. Sci. Tech.* Vol 38, No 4-5, 29-35

*Buzzini, A.P., Sakamoto, I. K., Varesche, M. B., Pires, E. C.* (2010): Evaluation of the anaerobic degradation of black liquor from a Kraft pulp plant with addition of organic co-substrates. *Water Science and Technology*, Volume 60 Number 1, 267-272

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

*Energy Crop Digestion Plant Strem.* University for Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna. Internet:

<http://www.google.hu/search?hl=hu&q=Austria+%2B+Strem&btnG=Keres%C3%A9s&meta=&aq=f&oq=>

*Epp, C., Rutz, D., Köttner, M., Finsterwalder, T.* (2008): Guidelines for Selecting Suitable Sites for Biogas Plants. Project: BiG>East, Deliverable D 6.1, Biogas for Eastern Europa (EIE/07/214)

- IEA Bioenergy Task 37* (2009): Optimised Digestion of Energy Crops and agricultural wastes in a local plant in Reidling, Austria. Internet:  
<http://www.google.hu/search?hl=hu&q=Energy+crop+digestion+in+Austria+&btnG=Keres%C3%A9s&meta=&aq=o&oq>
- Federal Ministry of Economics and Technology* (2009): Technology status and perspectives in the biogas market. Biogas from energy crop and waste in Germany. Internet:  
<http://www.google.hu/search?hl=hu&q=Technology+status+and+perspectives&btnG=Keres%C3%A9s&meta=&aq=null&oq=>
- Fogarassy, Cs.* (2008): Internet (7/3) Energianövények a szántóföldön. Gödöllő, Szent István Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar. Agrár- és Regionális Gazdasági Intézet. Internet:  
[http://www.bitesz.hu/index.php?option=com\\_content&task=view&id=240&Itemid=338](http://www.bitesz.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=240&Itemid=338)
- Kempelen Farkas Digitális Könyvtár* (2009). Internet:  
<http://www.tankonyvtar.hu/biologia/fermentacios-080904-81>) Biogáz alapanyagok
- Oleszkiewicz J.A., Poggi-Veraldo* (1997): High-solids anaerobic digestion of mixed municipal and industrial wastes. *J. Environ. Eng.* 123.
- Sallai, L., Molnár, T., Fodor, D.* (2009): Internet (7/11) Biogáz előállítása során keletkező energia felmérése az SZTE MFK tanüzemében, különös tekintettel a mezőgazdasági és élelmiszeripari eredetű biomasszára. Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar. [http://www.date.hu/acta-agraria/2008-26/Agrar\\_PDF/SallaiL.pdf](http://www.date.hu/acta-agraria/2008-26/Agrar_PDF/SallaiL.pdf)
- Pauss A., Dapaepe D., Nyns E. J.* (1991): Biogas plants in Europe. (Databank on diskettes).
- Spendlin H.H., Stegmann R.* (1988): Anaerobic fermentation of the vegetable, fruit, and yard waste. In: *Proc. 5th Int. Solid Wastes Conf. Copenhagen.* Sept. 11-16. 1988. Academic Press, London.
- Weiland P.* (1993): One and two-steps anaerobic digestion of solid agroindustrial residues. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 23. No.2.
- Wellinger A., Baserga U., Egger K.* (1992): New systems for the digestion of solid wastes. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 25. No. 7.
- Wu X., Yao W., Zhu J., Miller C.* (2010) Biogas and CH<sub>4</sub> productivity by co-digesting of swine manure with three crop residues as an external carbon source, *Bioresource Technology* 101, 4042-4047
- Zeeman G., Wiegant W. M., Koster-Treffler M. E., Lettinga G.* (1985): The influence of the total ammonia concentration on the thermophilic digestion of cow manure. *Agric. Wastes.* 14.