



Biogáz előállítása szilárd burgonyahulladékból és cukorrépalevélből

A szilárd burgonyahulladék és a cukorrépalevél nagy mennyiségben keletkező hulladék számos országban, ezért energetikai felhasználásuk fontos és gazdaságos lehet a hulladék ártalmatlanítása és a termelt biogáz révén. Az összeállítás adagonkénti anaerob (oxigén nélküli) fermentációs kísérleteket ismertet, oltóanyagként szennyvíziszapot használva. A metán kihatárolása 40% hulladék esetén a legnagyobb, a cukorrépalevél hozzáadása növeli a biogáztermelést. A technológia egyszerű, de viszonylag lassú.

Tárgyszavak: biogáz; anaerob emésztés; fermentáció; hulladék.

A biomasszából és a mezőgazdasági eredetű hulladékból energiatermelésre felhasználható metán állítható elő. Európa számos körzetében, így például Dániában és Németországban is, nagy mennyiségű, mezőgazdasági eredetű biomassza keletkezik, amelyet növekvő mennyiségben hasznosítanak biogáz termelésére anaerob (oxigén nélküli) fermentációval. Számottevő erőfeszítéseket tesznek ebben az irányban Svédország déli részén is, ahol a

jelenlegi évi 1,5 TWh mennyiségű biogáztermelést belátható időn belül évi 14 TWh-ra kívánják növelni. A kevésbé fejlett országok energetikájában is, mint amilyen például Zimbabwe Afrikában, a biogáz előállítása egyszerű technológiával szerves hulladékokból fontos szerepet játszhat, mivel ott az Európában hagyományos, fosszilis energiahordozókra alapozott technológiának se hagyománya, se eszközei nincsenek meg.

Az anaerob emésztés alkalmazása a hulladék-kezelésben környezetvédelmi szempontból egyértelműen előnyös, és a káros kibocsátások csökkenése mellett az energia-termelés és a mezőgazdasági területek jobb kihasználása tovább javítja e technológia társadalmi hasznosságát. A szakirodalmi adatok szerint a burgonya 1 kg teljes szárazanyagának (TS) energiataralma 16,4 MJ és az ugyanebből a mennyiségből fejlesztett metáné 15,5 MJ – az energiaátalakítás hatásfoka tehát 95% – abból kiindulva, hogy 1 kg szárazanyagból 410 liter biogáz keletkezik, és e gáz metántartalma 50%, a metán pedig literenként 37,7 kJ energiát tartalmaz. Mivel burgonyából és más hasonló növények hulladékaiból etilalkoholt előállítva (ami manapság gyakoribb) az elérhető energetikai hatásfok csak 60%, az ennél jóval hatékonyabb anaerob emésztés előtérbe állításával kapcsolatos vizsgálat mindenképpen időszerű és indokolt*.

A fentiekből kiindulva a továbbiak különböző szárazanyag-tartalom és oltóanyag/alapanyag arány mellett vizsgálják a burgonya biológiai lebonthatóságát és az ebben rejlő energetikai potenciált, amelyet a metánkihozatal testesít meg. Mivel egyfajta biomassza teljes éven át csak ritkán áll egyenletesen rendelkezésre, a biogázfejlesztő létesítmények folyamatos működtetését így aligha lehetne biztosítani, ezért a kutatók a fent említett célparamétereket burgonyából és cukorrépa-levelekből készített keverékek anaerob emésztésénél is meghatározták.

Anyagok és vizsgálati módszerek

A burgonyát és a cukorrépa-leveleket megfelelően péppé homogenizálva, az együtt kezelt adagokba egy közeli szennyvíztisztítóból hoztak oltóanyagként anaerob módon fermentált szennyvíziszapot, majd az anyagokat kellőképpen összekeverve és 1 mm átlagos szemcse-nagyságúra leszűrve használták fel. A burgonyahulladékból és a cukorrépa-levelekből készített massa és az oltóanyag jellemzőit az *1. táblázat* tartalmazza, a különböző oltóanyag és burgonya arányokat pedig a *2. táblázat* mutatja. Mint látható, a hét kísérlet során az adagok burgonyapép-tartalma a szilárd anyagban 10–80% volt, a megfelelő oltóanyag/alapanyag arány 0,25 és 9,0, a teljes szárazanyag-tartalom pedig 5 és 18% között változott. A reaktorok kezdeti puffer kapacitásának növelése érdekében nátrium-hidrokarbonátot adagoltak (4 g/l) az oldathoz. A kísérleteket 50 napon át folytatták, mindaddig, amíg az utolsó 2 hétben már nem észleltek számottevő gázképződést. A gyakorlat szempontjából fontos tényező az, hogy a kísérletek adagokénti feldolgozást, nem folyamatos technológiát modelleztek, illetve az anyagot nem keverték.

* Mind burgonyahulladék, mind cukorrépa-levele nagy mennyiségben keletkezik Magyarországon is, ezért energetikai felhasználásuk hazánkban is érdekes alternatíva lehet – *a szerk.*

1. táblázat

A kísérletek során használt burgonyahulladék, cukorrépaevél és a szennyvíztisztító telepről származó oltóanyag jellemzői

Jellemzők	Burgonya	Cukorrépaevél	Oltóanyag
pH	5,7	6,8	7,5
Teljes szárazanyag (%)	19	11	1,6
Elbomlott szárazanyag (a teljes szárazanyag %-ában)	95	84	57
Foszfátok összesen (g/l)	1,3	0,3	1,5
Ortofoszfátok (g/l)	0,14	0,2	0,4
Teljes Kjeldahl-nitrogén (a teljes szárazanyag %-ában)	1,5	3,3	0,1
Nitrogén ammóniában (g/l)	0,1	0,2	0,9
Szerves szén (a teljes szárazanyag %-ában)	53	46	
Szén-nitrogén arány (C:N)	35	14	

2. táblázat

A burgonya és az oltóanyag mennyisége illetve aránya az egyes kísérleteknél

A kísérlet sorszáma	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
Oltóanyag (a teljes szárazanyag %-ában)	90	80	70	60	50	30	20
Burgonyahulladék (a teljes szárazanyag %-ában)	10	20	30	40	50	70	80
Szilárdanyag-tartalom összesen (%)	5	6	7	8	9	14	18
Oltóanyag/alapanyag aránya	9,0	4,0	2,3	1,5	1,0	0,4	0,25

3. táblázat

Burgonyahulladékból és cukorrépaevélből készített keverékek együttes erjesztése (az oltóanyag-tartalom minden esetben 60%; minden összetételre a kísérletet kétszer végezték el)

A kísérlet sorszáma	Co1	Co2	Co3	Co4	Co5	Co6	Co7	Co8	Co9	
Burgonya (a teljes szárazanyag %-ában)	1	39	31	28	25	19	17	13	7	0
	2	41	33	28	23	20	15	11	9	0
Cukorrépaevél (a teljes szárazanyag %-ában)	1	0	8	12	15	21	24	29	32	41
	2	0	7	12	17	18	23	27	31	39
Kiindulási C:N arány	1	36	28	26	23	22	21	18	17	14
	2	34	27	24	23	21	18	16	16	14

A burgonyahulladékkal végzett kísérletek során a legnagyobb metánkihozatalt (l/elbomlott szilárd anyag) 40%-os burgonyatartalom mellett észlelték, ezért a burgonyával és cukorrépaevél keverékével folytatott kísérleteknél az oltóanyag arányát változatlanul 60%-on tartották, és a fennmaradó részben változtatták

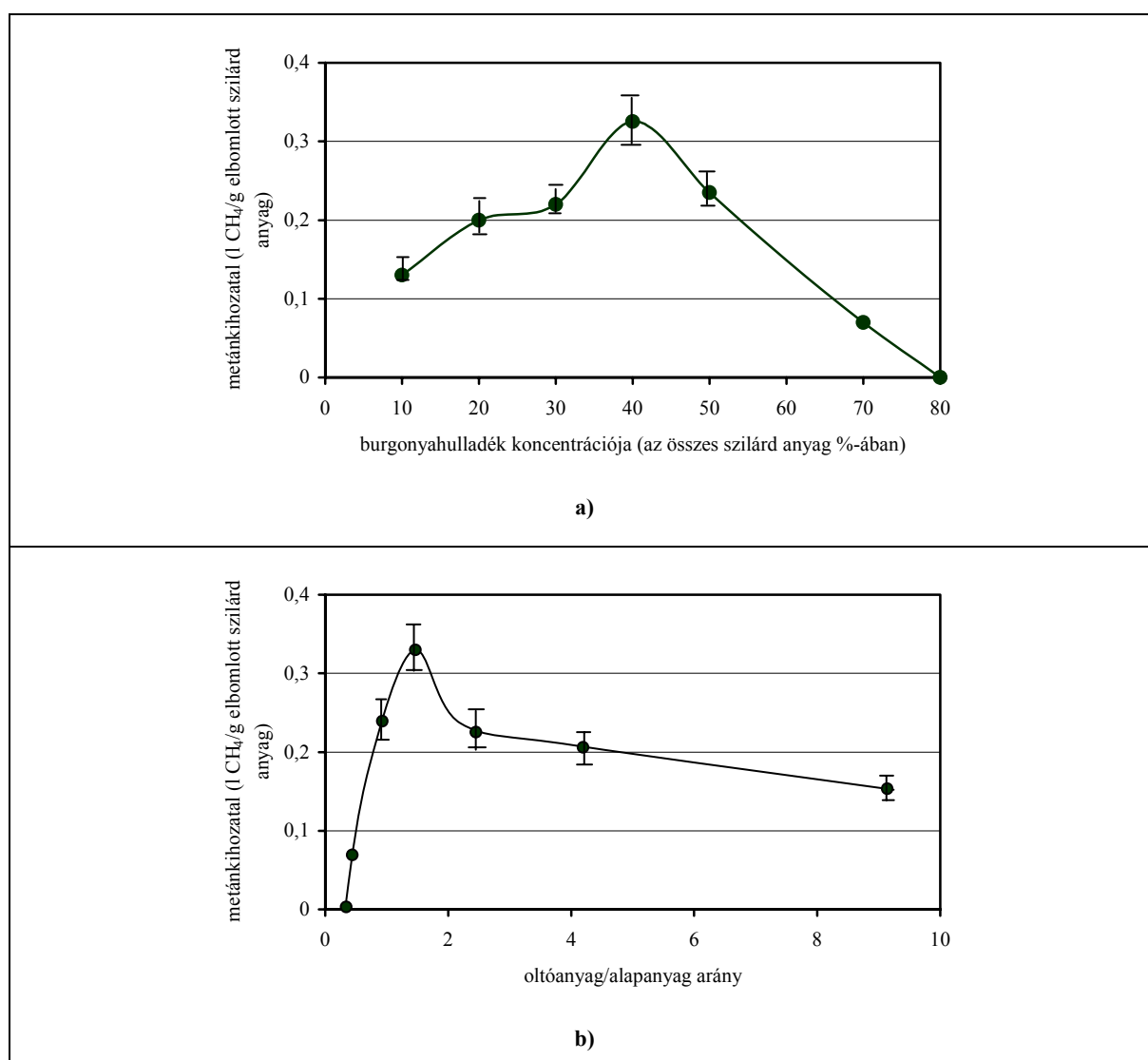
a burgonya arányát a teljes mennyiséghez képest 0 és 40% között (3. táblázat). A biogáz összetételét gázkromatográfval, hélium vivőgáz alkalmazása mellett mérték, míg mennyiségét nedves rendszerű precíziós gázmérővel határozták meg. A teljes szárazanyag, az elbomlott szárazanyag és a Kjeldahl-eljárással

meghatározható nitrogén mennyiségét a szokásos módszerekkel mérték.

Eredmények

A burgonyahulladék anaerob erjesztése során elért metánkihozatalt különböző koncentrációk

mellett az 1. ábra mutatja be. A legnagyobb metánkihozatalt (0,32 l CH₄/g elbomlott szilárd anyag) a 40% burgonyahulladékot tartalmazó kísérleti adagban, azaz 1,5 oltóanyag/alapanyag aránynál mérték. A második legjobb értéket (0,23 l CH₄/g elbomlott szilárd anyag) 50% burgonyahulladék, azaz 1,0 oltóanyag/alapanyag aránynál regisztrálták.



1. ábra Metánkihozatal burgonyahulladék adagonkénti anaerob erjesztésénél különböző burgonyakonzentrációk (a), illetve oltóanyag/alapanyag arány (b) esetén

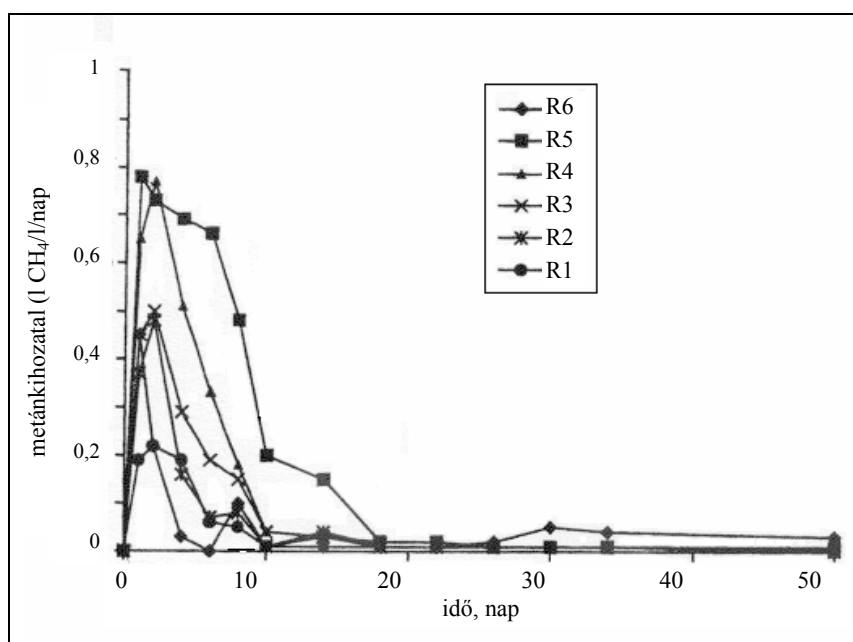
A metán hozamának időbeni változását a 2. ábra szemlélteti. Látható, hogy 2–4 nap elteltével a metánkihozatal hirtelen visszaesik. A biogáz metánkoncentrációját a 3. ábra mutatja be. Az R7-es adagban a metánképződés folyamatát körülbelül 18 napon át valami gátolta, majd a 22. napon napi 5%-os szintre, végül pedig 12%-ra növekedett. Az R6-os adagban a metánképződés a kísérlet végére közel 50%-ra nőtt, az R1-R5-ös adagoknál viszont a kihozatal a burgonyakoncentráció növekedésével, azaz az oltóanyag/alapanyag arány csökkenésével nőtt. A legnagyobb metánkoncentrációt (84%) az R4-es mintában, 10 nap múlva észlelték, az utána következő legnagyobb értéket (83%) az R5-ben, szintén tíznapos erjesztés után mérték.

Burgonyahulladék és cukorrépa-levelel együttes erjesztése során a legnagyobb mennyiségű metán (1,63 l CH₄/g elbomlott szilárd anyag) 24% burgonya, 16% cukorrépa-levelel és 60% oltóanyag jelenlétében fejlődött, míg a legkisebb mennyiség (1,14 l CH₄/g elbomlott szilárd anyag) megfelelően 8, 32 és 60% arány esetén keletkezett – tehát együttes erjesztésnél minden adag jobb metánkihozatalt mutatott, mint egymagában erjesztett burgonya esetén. Értelemszerűen ugyanez a tendencia érvényesült a biogáz teljes metántartalmát tekintve is.

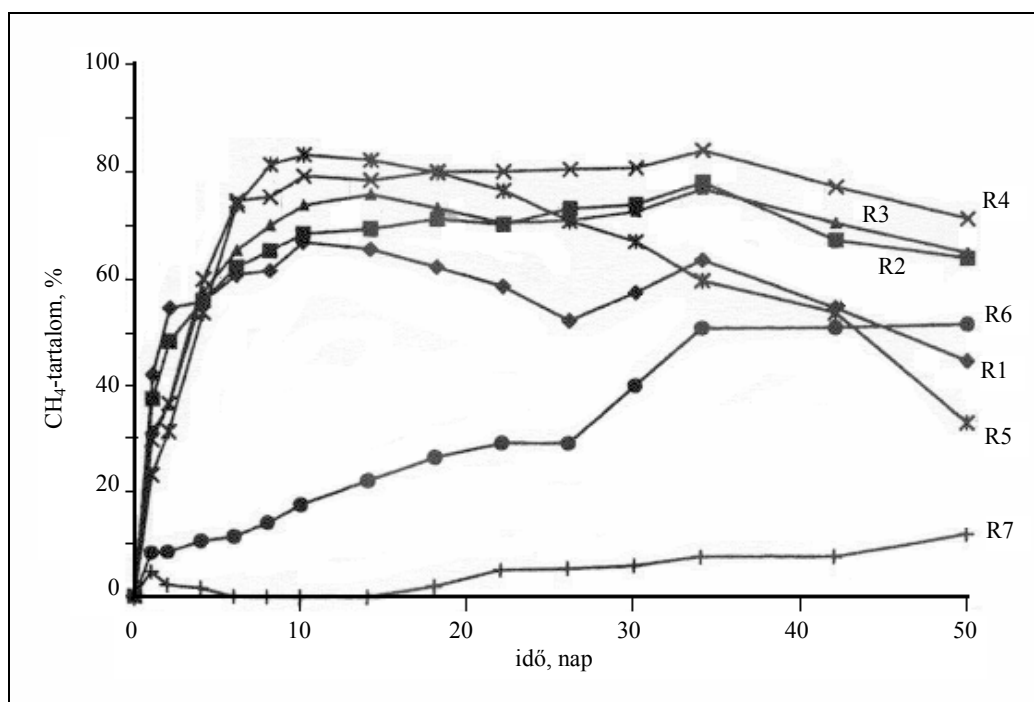
Értékelés

A metánkihozatal fontos gazdasági paramétere a burgonyahulladék anaerob emésztésének. A szakirodalomban erre vonatkozóan közölt adatok egybevetése nem lehet pontos, mivel a folyamatot az erjesztett anyag milyensége és a kísérleti feltételek is befolyásolhatják. A kihozatal ugyanis más és más lehet, attól függően, hogy szilárd burgonyát, krumplihéjat és hulladékot, vagy éppen burgonya feldolgozásakor keletkező vizet erjesztenek, de különbségekhez vezethet az előkezelés esetleges eltérése is. Az oltóanyag alkalmazkodása a kezelt anyaghoz, nemkülönben a hőmérséklet és a folyamat időtartama is.

A vizsgálatok során megfigyelt kezdeti gyors metánképződés a burgonyahulladék legkönnyebben oldódó vegyületeinek hidrolízisével, valamint az R1-R5 adagokban alkalmazott nagy mennyiségű oltóanyaggal függhet össze. Körülbelül tíz nap elteltével a metánfejlődés minden kísérletnél lelassult, ami azzal magyarázható, hogy tíz napon belül elfogyott a könnyen reagáló frakció, és a folyamat ezt követően a nehezebben bomló, komplex anyagokkal folytatódott. A biogáz képződése hasonló görbe mentén változott, mint amelyet vágóhídi szilárd baromfi hulladék, valamint konyhai hulladék és sörcéfre esetében regisztráltak más vizsgálatok során.



2. ábra Metánkihozatal (l CH₄/nap) burgonyahulladék anaerob erjesztésénél különböző burgonyakoncentrációk, illetve oltóanyag/alapanyag arány esetén



3. ábra A biogáz összetétele metántartalomban kifejezve különböző burgonyakoncentrációk, illetve oltóanyag/alapanyag arány esetén

Az R6 és R7 (nagy burgonyatartalmú) kísérletek során megfigyelt lassú metánképződés a folyamatot akadályozó tényezőknek – adott esetben a folyamat szempontjából túl alacsony, a savas tartományba átnyúló pH-értéknek – tulajdonítható, de hozzájárulhattak ehhez a gyors hidrolízis miatt felhalmozódó illékony zsírsavak is. Bizonyos koncentrációt meghaladva az ammónia is gátolhatja a metán képződését, és hogy konkrétan mekkora ez a küszöbérték, ez az adag összetétele és a kísérleti paraméterek függvénye.

Mint a 40%-os burgonya szilárdanyag-tartalom mellett elért legnagyobb metánkihozatal is mutatja, a folyamat beindításához nem volt szükség az oltóanyag vagy a burgonya-koncentráció kezdeti megnövelésére. A magas oltóanyag/alapanyag arány a folyamat végső céljától függ – nevezetesen attól, hogy metánt kívánunk előállítani vagy például a közbülső terméként keletkező illékony zsírsavakat. Amennyiben a metánképződés fontosabb, úgy kerülni kell a kis oltóanyag/alapanyag arányt, nehogy az R6 és R7 adagoknál megfigyelt gátlás lépjen fel.

Burgonyahulladék és cukorrépaevél együttes erjesztésénél a metánkihozatal a csak burgonyás erjesztéshez képest 31–62%-kal, a csupán cukorrépaevéllel végzett kísérletekhez viszonyítva pedig 6–31%-kal javult. E számottevő növekedés az emésztő folyadékban kialakuló

pozitív szinergiákkal és a társult betétanyagból szerezhető újabb, a bomlási folyamatot tápláló anyagokkal függhet össze. E megfigyelés összhangban van más kísérletek eredményeivel, ahol édesipari hulladékot tehéntrágyával együtt kezelve a metánkihozatal mintegy 60%-kal nőtt. Emellett a növekedésben szerepe lehet az együttes fermentáció során megnőtt C:N aránynak is, ami a burgonyahulladék és cukorrépaevél együttes erjesztésénél 16 és 28 között volt – ami szerves hulladékok stabil anaerob emésztésének egyik alapfeltétele.

Általános következtetésként megállapítható, hogy az emésztendő keverékeket egy keményítőben dús, és egy nitrogénben gazdag komponensből célszerű összeállítani. Összegezve: a tapasztalatok alátámasztják, hogy burgonyahulladék és cukorrépaevél együttes erjesztésével akár Svédország déli részén, akár a fejlődő országokban a gazdaságok biogázt tudnának termelni, ezzel is fokozva működésük jövedelmezőségét.

Összeállította: dr. Balog Károly

Irodalom

- [1] Parawira, W.; Murto, M. stb.: Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves. = Renewable Energy, 29. k. 11. sz. 2004. p. 1811–1823.
- [2] Chynoweth, D. P.; Owens, J. M. stb.: Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. = Renewable Energy, 26. k. 22. sz. 2001. p. 1–8.