

A biomassza energetikai hasznosítása

Szendrei János

Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum,
Mezőgazdaságtudományi Kar,
Géptani Tanszék, Debrecen
szendrej@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a biomassza energia célú felhasználásáról nyújt áttekintést, amit a megújuló energiaformák és a biomassza-felhasználás rövid leírása vezet be.

Napjainkban egyre nyilvánvalóbb a megújuló energiaforrások szükségessége. A megújuló energiaformák közül kiemelendő a biomassza energetikai felhasználása, amely sokoldalúan, olcsón teszi lehetővé a Nap energiájának hasznosítását. E téren Magyarország kedvező adottságokkal bír. A közvetlen hőhasznosítás és a biogáztermelés már ma is alkalmazható megoldások, a biodízel és bioetanol előállítása pedig a jövőben várhatóan szintén el fog terjedni. A biogáz a biomassza hasznosításának talán legsokoldalúbb módja: másra nem használható alapanyagokból képes energiát előállítani, ugyanakkor veszélyes hulladékok ártalmatlanítására is alkalmas, végül értékesek különböző fermentációs termékei is, a mezőgazdaságban fontos biotrágyától kezdve a gyógyszeripari alapanyagokig.

Kulcsszavak: biomassza, megújuló energiaforrások, biomassza energetikai hasznosítása, környezetvédelem, fenntartható fejlődés

SUMMARY

In this study, energy utilization of biomass is introduced with a short description of renewable energy sources and utilization possibilities of biomass.

Presently, the necessity of renewable energy sources is increasingly obvious. Among renewables, energy from biomass is to be highlighted, since this allows versatile, cheap utilization of the sun's energy. In this respect, Hungary has advantages. Direct heat utilization and biogas production are available procedures today, whereas biodiesel and bioethanol are expected to spread in the near future. Biogas production is possibly the most versatile method for biomass conversion: it can produce energy from materials inapplicable for other utilization; at the same time, it is capable of neutralizing harmful wastes; in the end, it produces also valuable fermentative products, from bio-manure useful in agriculture, to pharmaceutical raw materials.

Keywords: biomass, renewable energy sources, energy from biomass, environment protection, sustainable development

ENERGIAHELYZET ÉS MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK

Energiafelhasználásunk kérdései

Napjainkban egyre inkább központi kérdéssé válnak a természeti erőforrások. A fejlődés jelenlegi irama és iránya nem tartható tovább, egy fenntartható pályára kell áttérni, amihez elengedhetetlenek a megújuló energiaforrások. A megújuló energia

felhasználása nem új találmány, hiszen már a történelem hajnalán is úgy melegedtek, hogy fával tüzet raktak. Ma a megújuló energia újból jelentőséget kezd kapni, több okból is.

Világszinten talán három fő okot lehetne megemlíteni: egyrészt a fosszilis energiahordozóknak is tulajdonítható atmoszférikus CO₂-szint növekedését, másrészt a hőelvezető berendezések végességét, harmadrészt az ellátás biztonságának veszélyeztetettségét.

Európa a Kiotói Jegyzőkönyvben foglalt vállalásának megfelelően csökkenteni igyekszik CO₂-kibocsátását, amit a megújuló energiaforrások kihasználásának fokozott fejlesztésével kíván elérni. Emellett függetleníteni is szeretné magát a kimerülő és nagyrészt határain kívülről származó energiahordozóktól. Az Európai Unióban a megújuló energiafajták arányának növelésére két dokumentum is kötelez, az egyik az összes energia, a másik elektromos áram termelésén belül.

Magyarország szintén növelni köteles a megújuló energia arányát. 2010-re az összes energián belül a megújulók részarányát a jelenlegi 3,6%-ról a duplájára, 7,2%-ra, a villamos energián belül pedig 0,6%-ról 3,6%-ra kell növelni. A növelést ösztönzi az is, hogy az ország energiából importfüggő.

A megújulók arányának növelésére hazánkban a nap, a geotermális és a biomassza alapú energiák terén vannak nagy lehetőségei. A vízenergia felhasználását egyrészt kedvezőtlen adottságaink (folyók csekély esése), másrészt politikai-környezetvédelmi kérdések (Bős-Nagymaros) akadályozzák, szélenergia-potenciálunk pedig szintén elmarad a tengerparti országokétól. A napenergia hasznosításának (a szolártermikus hasznosítást leszámítva) magas a tökeigénye, ami a geotermikus energiára is igaz (a kinyert vizet vissza kell sajtolni). A leginkább kézenfekvő lehetőség tehát a biomassza energetikai hasznosítása.

Megújuló energiaformák

Megújuló energiaformáknak azokat az energiafajtákat nevezzük, melyek ugyanonnan ugyanolyan mennyiségben és minőségben ismételtlen kinyerhetők, vagy újratermelődésük biztosított. Megújulásuk záloga a Napnak a Földre érkező energiája, mely elengedhetetlen termelődésük és felhasználásuk egyensúlyához.

Ilyen energiaformák a nap-, szél-, víz- és geotermikus energia, valamint a biomasszából nyerhető energia. Van, aki a megújuló energiaformák közt említi a hulladék hőhasznosítását is, hiszen amíg az alapul szolgáló hőkibocsátó biológiai vagy technológiai folyamat működik, addig a folyamat

során keletkező hulladékhó is újratermelődik (Schön, 1998; Eichhorn, 1999). Ez utóbbi típus azonban úgy is felfogható, mint energiával való takarékoskodás – az emberi tevékenységek energiavesztésének csökkentése.

Közös jellemzőjük ezeknek az energiaforrásoknak, hogy fosszilis energiahordozók kiváltására alkalmasak, ily módon megállíthatják a légköri CO₂ szintjének további növekedését; a kibocsátott anyagokat tekintve általában is környezetkímélőbbek; eredetüket tekintve pedig erőforrás-kímélők, nem csökkentik a Földön található készletenergiák szintjét.

A megújuló energiákból történő energiaátalakítás rendszerezése, az eljárások áttekintése az *1. ábrán* látható. A megújuló energiákból történő energiaátalakítás folyamatának összetettsége különböző lehet. A passzív (építészeti) napenergia-hasznosítással szemben a biomasszafelhasználás lépések sorából áll. Kezdeté a napenergia átalakítása biomasszává, amiből aztán vagy biológiai, vagy fizikai folyamatokban a köztes termékeket nyerjük a lezáró termokémiai folyamat számára (Eichhorn, 1999).

A BIOMASSZA FŐBB FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

Az élővilág számára a fotoszintetizáló szervezetek teszik hozzáférhetővé a napfény energiáját. A növények, algák által megkötött fényenergia szerves vegyületekkel, kémiailag kötött formában kerül be a táplálékláncba. A többi élő szervezet ezekből a nagy energiatartalmú vegyületekből nyeri testanyagait és az életműködéshez szükséges energiát. A fosszilis energiaforrásokban tárolt energiamennyiség pedig, amely nem más, mint biológiailag megkötött napenergia, alapvető fontosságúnak bizonyult az emberi civilizáció számára.

A biomassza a képződés szerint három csoportra bontható (Láng, 1985; Bai, 2002):

- primer produkció: a növények által előállított biomassza;
- szekunder produkció: az állattenyésztésben képződő fő- és melléktermékek;
- terciér produkció: a feldolgozóiparból és a kommunális szférából származó szerves anyag.

A biomassza egyrészt nyersanyagként, másrészt környezetünk részeként hasznos számunkra. A biomassza, mint a környezet eleme a tájgazdálkodás, a vidék- és területfejlesztés, a természet- és környezetvédelem révén nyer sokirányú hasznosítást. A biomassza, mint nyersanyag elsősorban élelmiszerként hasznos számunkra, de a mezőgazdaság és az ipar alapanyagaként is jelentős erőforrás; napjainkban pedig egyre inkább előtérbe kerül a biomassza energetikai felhasználása. A nyersanyagként számbavehető biomassza alapvetően öt gazdasági területről (növénytermesztés, állattenyésztés, élelmiszeripar, erdőgazdaság, kommunális szféra) származik (Bai, 2002).

Élelmiszerfogyasztás

Az élelmiszergazdaságnak (növénytermesztés, állattenyésztés és élelmiszeripar) világszinten egyre növekvő számú népesség eltartását kell lehetővé tennie, változatlan termőterület mellett. A termelőknek a természeti és a közgazdasági tényezők bizonytalanságaival kell szembenézniük. Ugyanakkor nagyok az egyenlőtlenségek: míg a világ egy része éhez, a fejlett országokban túltermelés okoz problémákat. Hosszabb távon a megoldást a fejlett technológiák exportja jelent (Bai, 2002).

Mezőgazdasági termelés

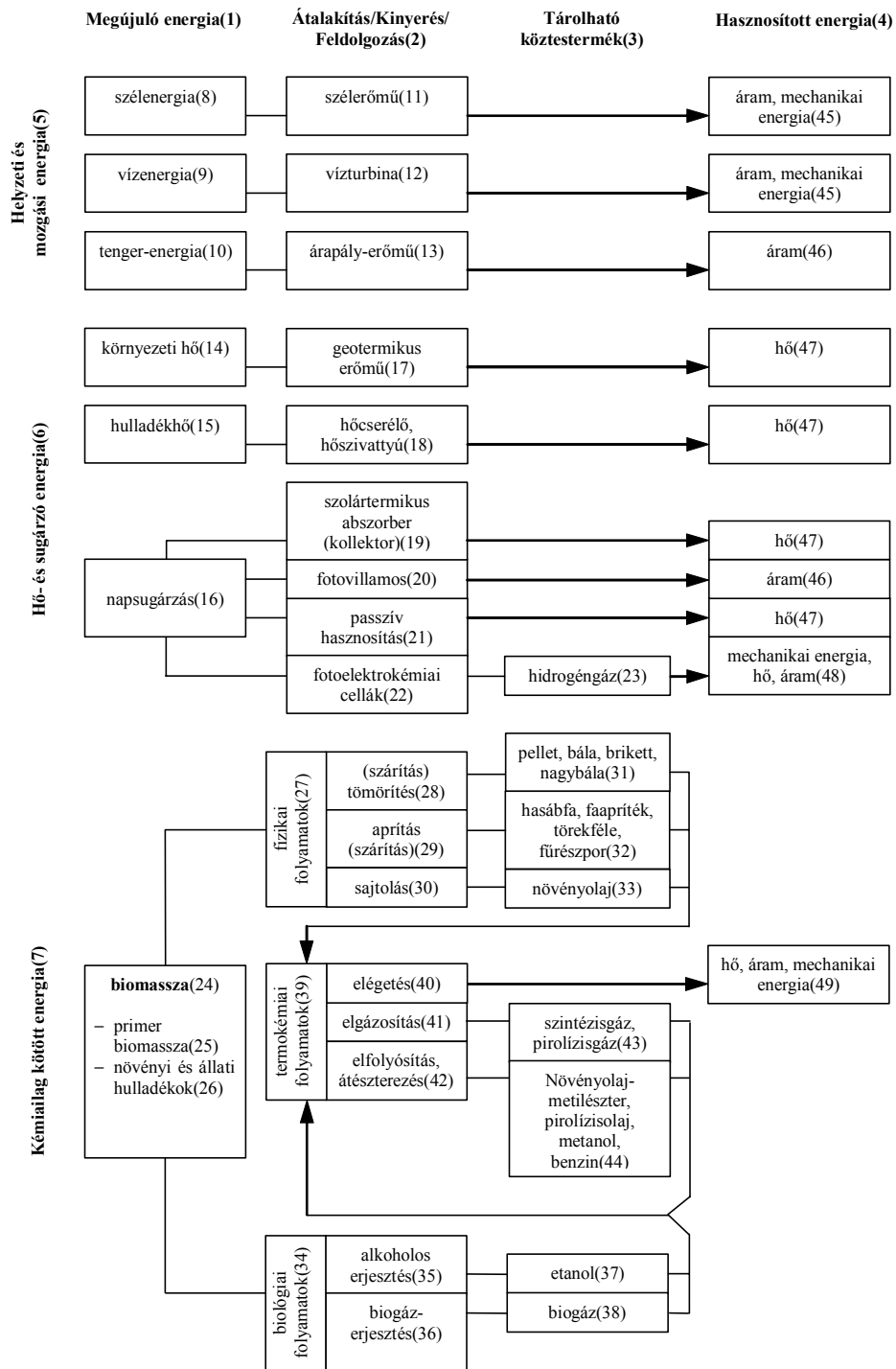
Az állattenyésztés a növénytermesztés főtermékei (takarmánynövények) mellett az élelmiszergazdaság melléktermékeiből is sokat használ fel; almózsra főként szalmát használunk. A talajerő-gazdálkodásnál az ember által fel nem használt biomasszát használjuk, ami közelítőleg 50%. Sajnos, ez nem teljes mennyiségében tervszerű tápanyag-utánpótlás. Tarlóégetésre csak a növényvédelmi, tápanyag-gazdálkodási és talajművelési vonatkozások mérlegelése után kerülhet sor, laza talaj, illetve megfelelő vetésváltás esetén azonban mindenképpen kerülendő (Bai, 2002).

Ipari hasznosítás

A szántóföldi növények nem élelmezési célú felhasználása a fejlett országok, illetve az EU élelmiszerfeleslegeinek növekedésével mindinkább előtérbe kerül. A biopolimerek (keményítő, cellulóz, protein), illetve olajok és egyéb anyagok nagy mennyiségű, újratermelődő és biológiailag lebomló anyagok forrását képezik, hasznosításukra számos új eljárás létezik (Bai, 2002). A **keményítő**nek fontos szerep jut a papíriparban, a textiliparban és a bioműanyagok előállításában. A tisztított keményítőt az élelmiszeripar mellett a kozmetikai és a gyógyszeripar használja fel készítményeiben. A **rostnövényeket** a textilipar használja fel, de növényi rostokból bioműanyagokat is gyártanak, sőt fából használati tárgyak, gépek és épületek is készíthetők. A növényi **olajok** nem-élelmiszeripari hasznosításban a kozmetikai és a gyógyszeriparon kívül elsősorban természetes eredetű kenő- és hidraulikaolajokként elterjedtek. **Fehérjéket** nagy mennyiségben elsősorban a papír- és nyomdaipar használ fel; az egyik legolcsóbbat, a kollagént ragasztók alapanyagaként, illetve a kozmetikai iparban emulziók stabilizálására hasznosítják. A gyógyszer- és vegyipari hasznosítás, a bioműanyagok előállítása is sokat ígérő területe a fehérjék ipari felhasználásának. Az **egyéb** biogén anyagok (köztük növényi színezékek, nedvek, gyógyhatású vegyületek) felhasználási köre is széles körű és növekvő jelentőségű.

Magyarországon a kedvező agroökológiai adottságok nagy tömegű biomassza termelését teszik lehetővé. Az alternatív földhasználatot segíti, hogy az Európai Unió az élelmiszertermelést szolgáló mezőgazdasági területek csökkentésére törekszik, támogatva a más irányú földhasznosítást.

1. ábra: A megújuló energiaforrások hasznosításának eljárásai és átalakítási folyamatai



Forrás: Eichhorn (1999), Hartmann és Strehler (1995) után(50)

Figure 1: Methods and Transformation Processes of Renewable Energy Resources' Utilization
 Renewable energy(1), Transformation/Winning/Processing(2), Storable mid-product(3), Utilized energy(4), Potential and Kinetic Energy(5), Heat and Radiation Energy(6), Chemically Bound Energy(7), Wind energy(8), Water energy(9), Sea energy(10), Wind-power plant(11), Hydraulic turbine(12), Tidal power plant(13), Environmental heat(14), Waste heat(15), Solar radiation(16), Geothermal power plant(17), Heat exchanger, Heat pump(18), Solar thermal absorber(19), Photovoltaic(20), Passive utilization(21), Photoelectrochemical cells(22), Hydrogen gas(23), Biomass(24), Primer biomass(25), Plant and animal wastes(26), Physical processes(27), (Drying) Compaction(28), Chopping (Drying)(29), Compression(30), Pellets, bales, briquettes, big bales(31), Split billets, chaff, chips, saw-dust(32), Vegetable oil(33), Biological processes(34), Alcoholic fermentation(35), Biogas fermentation(36), Ethanol(37), Biogas(38), Thermochemical processes(39), Combustion(40), Gasification(41), Liquefaction, Transesterification(42), Synthesis gas, pyrolysis gas(43), Vegetable oil- methylester, pyrolysis oil, methanol, benzine(44), Electricity, mechanical energy(45), Electricity(46), Heat(47), Mechanical energy, heat, electricity(48), Heat, electricity, mechanical energy(49), Source: Eichhorn (1999), citing Hartmann and Strehler (1995)(50)

Az 1. táblázat hazánk biomassza-potenciálját mutatja be, az utóbbi évek átlagában. A teljes biomasszakészlet 350-360 millió tonna, ebből 105-110 millió tonna évente regenerálódik és újra felhasználható. Ez mintegy 1185 PJ energiának felel meg, ami több, mint az ország energiafelhasználása (1040 PJ/év). A növényekben tárolt szén kb. 30,4 millió t, ami meghaladja a hazai szénbányák

termelésének négyszeresét. Ennek a biomasszamenységnek az előállításához közvetlenül mintegy 14,8 PJ energiahordozó szükséges, így átlagosan nyolcszoros energiahatékonyság és országosan 1154 PJ, hektáronként 141 GJ energiátöbblet érhető el. Az egyéb ráfordítás, a beruházás és az emberi munka energiataralmát is figyelembe véve összességében 4-5-szörös az energiahatékonyság.

1. táblázat

A hazai biomassza-potenciál

Primer produkción(1)	M tonna(2)	Szekunder produkción(3)	Ezer db(4)	Ezer tonna(5)	Tercier produkción(6)	M tonna(2)
Gabonaféle(7)	10,7	Szarvasmarha(19)	800	640	Szilárd szerves(29)	5
Ebből: búza(8)	3,2	Sertés(20)	4900	560	Kommunális szennyvíz(30)	17
kukorica(9)	6	Juh(21)	1100	80	Veszélyes hulladék(31)	0,5
Olajnövény(10)	1	Baromfiféle(22)	19400	80	Élelm. ipari melléktermék(32)	1
Egyéb ipari(11)	3,3	Ló(23)	70	60		
Szálaskarmányok(12)	7		36300	1420 sza.(24)		
Zöldség(13)	2			=710 e t(5)		
Gyümölcs(14)	1			M tonna(2)		
Melléktermék(15)	28-30	Trágya*(25)		7-8		
Gyökérmaradvány(16)	8-10	Almos trágya(26)		3,9		
Gyep, nádas(17)	3	Hígtrágya*(27)		4-5		
Erdő(18)	9	Állati termékek(28)		3-3,5		
Összesen(33)	72-77			10-11		23,5
Mindösszesen(34)	105-110					
Teljes élőfa-készlet(35)	250					

Forrás: Bai, 2002(36)

*=szalma, ill. víz nélkül(37)

Table 1: The Hungarian biomass potential

Primary production(1), Million tons(2), Secondary production(3), Thousand pieces(4), Thousand tons(5), Tertiary production(6), Cereal crops(7), Of which: Wheat(8), Corn(9), Oil seeds(10), Other technical crops(11), Roughage(12), Vegetables(13), Fruit(14), By-products(15), Roots(16), Pasture, reeds(17), Forest(18), Cattle(19), Pig(20), Sheep(21), Poultry(22), Horse(23), Livestock unit(24), Manure(25), Farmyard manure(26), Liquid manure(27), Animal products(28), Solid organics(29), Communal sewage(30), Dangerous waste(31), By-products of food industry(32), Subtotal(33), Total(34), Total living trees(35), Source: Bai, 2002(36), Without straw or water(37)

A biomassza évente újraképződő energiaforrás, a hasznosítást azonban több tényező korlátozhatja. Barótfi professzor szerint „az energetikai alternatíva csak azokban az országokban bír realitással, ahol a rendelkezésre álló biomassza elegendő a lakosság ételmezésére, ugyanakkor az ilyen módon előállítható energiára szükség van” (Bai, 2002). Hazánkban mindkét feltétel fennáll, a megtermelt biomassza nagy része mégis kárba vész. Ennek főként az intenzív technológiák, a tökehiány és az energetikai eljárások ismeretének hiánya az oka.

Nemcsak a potenciális, hanem az energetikai célra ténylegesen javasolható biomassza mennyisége is nagy:

- Növénytermesztés: 7-8 millió t melléktermék, 0,5-1 millió t főtermék (repce, kukorica);
- Állattenyésztés: 7-8 millió t melléktermék (almos- és hígtrágya);
- Élelmiszeripar: 150-200 ezer t melléktermék (napraforgóhéj, kukoricacsutka);
- Erdőgazdaság: 3-4 millió t faanyag (tüzifa, energiaerdő);
- Települési hulladék: 20-25 millió t.

Ebből az alapanyagbázisból szinte csak a tüzfát hasznosítjuk, ami a hazai energiafelhasználás 2,8%-a. Az egyéb eljárások hazai példái közül nem mindegyik nevezhető sikeresnek, legfeljebb ígéretesnek (Bai, 2002).

A BIOMASSZA ENERGETIKAI FELHASZNÁLÁSA

A biomasszából előállított energiahordozók, illetve azok felhasználási területei szerint a biomassza energetikai felhasználása három nagy területre bontható: szilárd biomassza közvetlen hőhasznosítása, folyékony energiahordozók előállítása és gáz (biogáz) termelése.

1. Közvetlen hőhasznosítás

A közvetlen hőhasznosítás nem más, mint száraz növényi részek elégetése. Alapanyaga fás- és lágyszárú növények. A felhasználás vagy darabolva, aprítva, vagy tömörítvények (bála, biobrikett, biopellet) formájában történik.

A hőhasznosításra felhasznált alapanyagok

Számos gazdasági jellemző elemzése alapján legelőnyösebb a helyben fellelhető melléktermékek energetikai hasznosítása, de sok esetben az energianövények felhasználása is kedvező eredménnyel járhat (Bai, 2002).

Melléktermékek

Az erdei, fás biomassa (dendromassa) melléktermékei az erdőszetből (primer biomassa): (1) az ipari választékok (rönk, egyéb ipari fa) kitermelése közben keletkező melléktermék, a tűzifa; (2) a fakitermelési hulladék (kéreg, darabos hulladék, gallyanyag) és (3) az állománynevelési melléktermék, kisméretű fa, gallyfa. A **faipari** feldolgozás melléktermékei (tercier biomassa): a fűrészpor és a finomforgács.

A mezőgazdaság primer (növénytermesztési) biomassa-hulladékai a gyümölcs- és szőlőtermesztés, valamint a zöldfelületfenntartás **fás** hulladékai: nyesedék, venyige, hasábfá, illetve aprítékuk; a szántóföldi **lágyszárúak** melléktermékei: szálas anyag (szár, szalma), vagy kis részecskeméretű melléktermék (maghéj, dara stb.).

Energianövények

Az energianövény a mező- vagy erdőgazdálkodásból származó olyan biomassa, melyet energiatermelés céljára termesztenek. A melléktermékként keletkező alapanyagokkal szemben költségeik teljes egészében az energiatermelést terhelik. Körük elvileg korlátlan, hiszen lignocellulózként mindegyik alkalmas a környezetbarát energiatermelésre a napenergia megkötése és a zárt CO₂-körforgalom biztosítása révén. A gyakorlat szempontjából fontos, hogy többféle (intenzív és extenzív) termesztési technológia is megvalósulhasson, minél többfajta termőhelyen; valamint az, hogy feldolgozásukban egy-egy már jól kialakult nemzetgazdasági ágazat technológiai és műszaki megoldásai legyenek hasznosíthatók.

A lágyszárúak jellemzője a hektáronkénti igen nagy növény-, azaz hajtásszám, a viszonylag kis növénymagasság, az évenként legalább egyszeri betakarítás. Előnyük a mezőgazdálkodásban kialakult termesztési és műszaki technológiák alkalmazhatósága, hátrányuk, hogy a betakarítás időpontja nem halasztható. Hazai kísérletek az egyváriak közül repce, rostkender, triticale, az évelők közül zöld pántlikafű, magyar rozsnok, energiafű, miscanthus (kínai nád) növényekkel folynak.

A fás energetikai ültetvények a szántóföldi gazdálkodás terepviszonyai mellett, jó termőképességű területeken létesülnek, ahol a mezőgazdasági (szántóföldi) művelés vagy a termék iránti kereslet hiánya (túltermelés), vagy a nem kielégítő termésbiztonság (időszakonkénti bel- vagy árvízkarok) miatt szünetel, viszont a dendromassza-termelés gazdaságosan folytatható. Faültetvényt ipari (pl. papírgyártás) és energetikai célra szoktak

telepíteni. Az energetikai faültetvényeknél a fajtaválasztásban csak az számít, hogy viszonylag gyorsan nagy tömegű faanyagot adjon. A létesítési forma szerint az energiaerdő erdőszeti, az energiaültetvény mezőgazdasági szabályozás alá esik. Az energiaültetvényeknél újratelepítéses és sarjaztatásos technológia különböztethető meg. Az újratelepítéses üzemmódnál 8-15 éves korban termelik ki (tarvágással); eszközigénye kicsi. A sarjaztatásos üzemmódnál 3-5 éves korban szintén tarvágással történik a kitermelés; összességében nagyobb hozam érhető el.

A biomassa begyűjtése, előkészítése (aprítása)

A primer (növényi) biomassa begyűjtése mezőgazdasági és erdőszeti módszerekkel történik. A kis részecskeméretű melléktermékek nem igényelnek aprítást, kivéve, ha összeállt formában jelentkeznek (olajpogácsa). A nagyméretű alapanyagok (bálák) „hagyományos” tüzeléshez viszont felbontás és aprítás szükséges, amire az ún. „dézás” fogadógaratú berendezések alkalmasak leginkább; ezek stabil és mobil kivitelben készülnek. A tüzeléshez, illetve a tömörítéshez szükséges őrlést a szalastakarmányok feldolgozására kifejlesztett kalapácsos darálókkal végzik (Kacz és Neményi, 1998).

A fás biomassa kitermelés utáni vagy azzal egybekötött **aprítását** stabil, áttelephető (félmobil) és mobil aprítógépekkel lehet elvégezni. A tüzeléscélú apríték előállítására a mobil gépek legmegfelelőbbek, ezek teljesítményük sorrendjében: függesztett (vagy rászertelt) adapterek, vontatott gépek és járvaaprítók (önjáró célgépek). A fát kézzel, vagy ha a fák tömege a 40 kg-ot, a gép teljesítménye az 5 t/h-t meghaladja, gépi manipulálással juttatják az aprítógép etetőcsatornájába; az aprítható legnagyobb faátmérő 16-25 cm. Az önjáró aprítógépek elsősorban az erdei aprítéktermelés célgepei, kisebb vagy nagyobb méretű teljes fa, illetve gallyanyag aprítására. A kereskedelemben kapható járvaszecskázók is átalakíthatók faapríték előállítására. A gépek általában tárcsás aprítószerkezettel készülnek, újabban dobos vagy csigás kivitelben is. A csigás kivitel a behúzást is elvégzi, teljesítményigénye mintegy 30%-kal kisebb. Az elméleti aprítékhozz 3-50 mm között változik; a csigás szerkezet 50-80 mm közti hossz előállítására is alkalmas. A készített apríték a közvetlen tüzelésen kívül tömörítvények alapanyagaként, valamint talajtakarásra (mulcs) és komposztálásra is felhasználható. A gyümölcsfanyesedéket, szőlővenyigét speciális gépekkel durva aprítékká dolgozzák fel, ami csak kézi adagolással tüzelhető el; az automatizált tüzelőberendezésekhez a durva aprítékot egy finomaprítással kell előkészíteni (Kacz és Neményi, 1998).

Az **őrlés** is hasznos lehet a biomassa tüzelési célú felhasználásában: kísérletek alapján pl. a finomra őrlt fát megnövekedett energiatartalma, az olajéhoz és a gázéhoz hasonló lánggal, gyorsan égő fűtőanyagként minősítik. A legfeljebb 20%

nedvességtartalmú alapanyagból a 400 µm átlagos szemcseméret előállításának energiaszükséglete az alapanyag fűtőértékének csupán 2-4%-a. A feldolgozás ráfordítása korszerű technológiával megtérül (Kacz és Neményi, 1998).

A biomassza tömörítése

A tüzelési célú biomassza tömörítését nagyobb távolságban történő, illetve automatizált és komfortosabb felhasználása indokolja. Bálázással a mezőgazdasági gyakorlatból ismert 15-20 kg-os kisbála, illetve 200-1000 kg-os nagybála állítható elő. Brikettálással legalább 50 mm, pelletálással pedig 5-25 mm átmérőjű darabokat préselünk előzetesen aprított, homogén alapanyagból.

Bálázással a vékony szálú, kis hajlítószilárdságú anyagok tömöríthetők viszonylag csekély energiárfordítással. A bálázás eredeti célja a biomassza kezelésének, szállításának, tárolásának megkönnyítése, de lehetővé teszi azt is, hogy az energiahordozókat (szalmafélék, energiafű) speciális tüzelőberendezésekben (bálatüzelők) égessék el (Bai, 2002).

A **brikettálás** elsősorban a lignocellulózok feldolgozása közben keletkező hulladék energetikai felhasználásra való előkészítésére szolgál. A biobrikett rendszerint kötőanyag nélkül készül, célszerű lehet azonban a különböző melléktermékek összekeverése. A szalma biobrikett szilárdsága fűrészporszerű, fenyőkéreg vagy vinasz hozzáadásával növelhető. Az így készített brikett fűtőértéke (15,5-17,2 MJ/kg) a hazai barnaszemeknek felel meg, de azoknál tisztább, komfortosabb. Száraz helyen korlátlan ideig tárolható, nedvesség hatására azonban szétesik. Hátránya a présgépek magas beruházási költsége, illetve a préselés energiaigénye (a régebbi gépeken a préselvény energiatartalmának 8-12%-a is lehet) (Kacz és Neményi, 1998; Bai, 2002).

A **pelletálás** a brikettálás speciális változata. A kis méretű (5-10 mm x 10-25 mm) tűzipellet csigás vagy cellás adagolóval pontosan adagolható, tehát egészen kis (2-3 kW) hőteljesítményű berendezések is jó hatásfokkal működtethetők vele. A tűzipellet előnye, hogy nem igényel új fejlesztésű gépeket, előállítására a takarmánygyártásban alkalmazott pelletáló gépek használatosak (Bai, 2002).

A biomassza eltüzelése

A tüzelés energetikai hatékonyságát az égetés módja, az adagolás automatizáltsága és szabályozottsága befolyásolja leginkább. Mivel az illó szerves vegyületek mennyisége magas (60-80 m%), az újabb berendezéseknél az égést kettébontják: rostély fölött primer levegő bevezetésével tökéletlen égéssel pirolízisgázokat állítanak elő, amik a tüztérbe jutva szekunder levegő hozzákeverésével magas hőmérsékleten, tökéletes égéssel termelnek hőenergiát. Ily módon az összes éghető anyag hasznosul. Az égéstér és a hőátadás helyének elválasztásával javul mind az égés minősége (az optimum 800-1000 °C), mind a

hőátadás hatásfoka. A kazán égéstérét hőálló samott- vagy betontéglával bélelik ki, a füstgázokat pedig nagyobb felületen érintkeztetik a hőhordozókkal (levegő, víz, gőz, termoolaj). A hőtermelés szabályozása a tüztérbe bejutó tüzelőanyag adagolásával valósítható meg leginkább, mivel a biomasszát felépítő vegyületek oxigéntartalma magas, de elgázosítás esetén a primer, szekunder, esetleg tercier levegőbevezetés is szabályozható. A szabályozás automatizálásával széles teljesítménytartományban (a névleges teljesítmény 50%-áig) tartani lehet a kedvező üzemi (égőtér- és füstgázhőmérséklet) és az emissziós paramétereket, illetve a hatásfokot. A termikus hatásfok a modern berendezéseknél 90% fölötti. A hatásfok nagyobb, az emisszió kedvezőbb a nagyobb, gépi táplálású, folyamatos üzemű és automatikus berendezéseknél. Főleg az első generációs fűtőberendezésekre igaz, hogy a kihasználtság javítja a hatásfokot és az emissziót, de nagyobb teljesítmény-ingadozás esetén a modern berendezésekhez is puffér hőtárolóegység alkalmazása javasolt (Kacz és Neményi, 1998).

A közvetlen hőhasznosítás értékelése, alkalmazása

A biomassza energiaként való felhasználására közvetlen hőhasznosítás a legolcsóbb eljárás. Biopellettel teljesen automatizált tüzelés is megoldható. A mai berendezésekkel a jól működő faapríték-tüzelés mellett a szalmatüzelés is reális alternatívája lehet a hagyományos energiahordozóknak (Kacz és Neményi, 1998). Sajnos, a régi kazánok rossz hatásfokúak. A használatban lévő kazánok 90%-a vegyes tüzelésű, míg 10%-a speciális kazán; az előbbieket hatásfoka alig 60%, míg az utóbbiaké 90%. Az energiahasznosítás átlagosan tehát 64%-nak vehető (Gombos, 2004). Alkalmazása leginkább intézmények, meglévő távfűtőhálózatok ellátására javasolható. Több példa van arra is, hogy szénttüzelésű erőműveket biomassza-tüzelésűvé alakítottak át (Borsodi, Pécsi, Ajkai Erőmű). Az átállást az motiválja, hogy a szénerőművek környezetvédelmi előírásoknak megfelelő szűrőberendezésekkel való felszerelése többbe kerülne, mint az átállítás a biomasszával tüzelésre. A legjobb megoldás azonban a kogeneráció (villamos áram előállításával egybekötött hőtermelés), amely esetén az áram előállítása során keletkező hulladékhőt is hasznosítják valamilyen hőfogyasztó ellátására (Grasselli, 2004).

2. Folyékony energiahordozók

A **folyékony energiahordozók** elégetésekor a kémiai energiából hőenergiát, majd mechanikai energiát állítunk elő, mivel elsősorban mobil gépek hajtására alkalmasak. A bio-motorhajtóanyagokat benzinhoz vagy gázolajhoz 5-30% arányban adva, esetleg egymással keverve, vagy önállóan használják fel (etanol, metanol, tercier butil alkohol; növényi olajok, illetve ezek észterezett változatai) (Barótfi, 1993).

A felhasznált alapanyagok

A **biodízel** előállításához magas olajtartalmú növényeket használnak fel. A növényi olajok közeli rokonságban vannak egymással és a ricinus kivételével elvileg valamennyi alkalmas motorhajtó anyagok alapanyagának. Európában főként repcét és napraforgót, az USA-ban főként szóját, Délkelet-Ázsiában pedig olajpálmát használnak fel ilyen célra (Bai, 2002).

Alkoholokat olyan növényekből készítene, melyek nagy mennyiségben tartalmaznak szénhidrátot (cukor, keményítő vagy cellulóz formájában). Ezekből erjesztéssel, illetve hidrolízis és fermentáció kombinációjával, majd pedig desztillációval állítják elő az alkoholt. Dél-Amerikában cukornádat, az USA-ban kukoricát, Európában (Franciaországban) búzát használnak (Bai, 2002). Nálunk a cukorrépa, kukorica, burgonya, a kalászosok és a cukorcirok jöhet szóba alkohol előállítására (Kacz és Neményi, 1998).

Alkoholok (metanol, etanol)

Motorhajtóanyagként az alkohol két fajtája vehető számításba, az etanol néven ismert etil-alkohol és a metanol néven ismert metil-alkohol.

A **metil-alkohol** (CH_3OH) fosszilis energiahordozókból, vagy biomasszából állítható elő. Kísérleti oktánszáma 114, fűtőértéke 22,4 MJ/kg. Az optimális levegő-üzemanyag keverési aránya a benzín esetében szokásos 1:15 helyett 1:6,5. A metilalkoholt kedvezőtlen motorikus és korróziós tulajdonságai miatt motorhajtó anyagként nem használják, általában 5-15% arányban keverik a benzínhez; a magas oktánszám miatt emelhető a motor kompresszióviszonya. A keveréssel a motor hatásfoka javul, mert párolgáshője többszöröse a benzínének, ugyanakkor a motor hidegindítási tulajdonságai lényegesen rosszabbak.

A metanol dízelmotorokban is felhasználható. Részben a rossz cetánszám, részben az adagoló rendszerben szükséges kenés fenntartása miatt gázolajjal keverik. A metilalkohol-gázolaj keverékkel üzemeltetett dízelmotor koromkibocsátása és a NO_x kibocsátás is csökken. Használata dízelmotorban számtalan gondot vet fel, ezért nem alkalmazzák.

Az **etilalkohol** ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) vagy más néven etanol biomasszából előállított motorhajtó anyag. Tulajdonságai hasonlóak a metilalkoholéhoz. A metilalkoholhoz képest fűtőértéke valamivel nagyobb, 26,8 MJ/kg, párolgáshője kisebb, 1050 KJ/kg, oktánszáma pedig közel azonos, ezért a kompresszióviszonyt 10-13 értékre lehet beállítani (Barótfi, 1993). Az etanol-benzin keverék 5-15%-os szokott lenni (pl. motalco, gasohol fantázianéven), Braziliában viszont 20-22% alkoholtartalmú benzint is használnak. Újabb kísérletek az arány megfordítását célozzák, 80-85% etanol tartalmú keverékekkel. Tisztán etanollal is működtethetők gépkocsimotorok, ekkor az üzemanyagellátó

rendszert nagyobbra kell méretezni, mert azonos teljesítményhez etanolból 20-25%-kal több kell, mint benzínből (Kacz és Neményi, 1998).

A környezetvédelem szempontjából az etanolnak előnyös tulajdonsága, hogy benzínhez keverve növeli annak oktánszámát és oxigéntartalmát, így javulnak az égés feltételei. Ezzel ólomtartalmú adalékokat tud kiváltani. A benzín kompressziótűrésének fokozására sokféle oxigéntartalmú adalékot alkalmaznak (pl. metanol, etanol, tercier butanol, metil-tercier-butil-éter, toluol), melyek közül az etanol viszonylag olcsó. A jövőben ezért is várható keresletének növekedése.

A mezőgazdasági alapanyagokból előállított, a szintetikus etilalkoholnál lényegesen olcsóbb etanolt nemcsak üzemanyagként, hanem a korszerű vegyiparban is fel lehet használni. Több országban például a barnaszén kénmentesítésére használják a fermentációval előállított alkoholt (Bai, 2002).

Növényi olajok (biodízel)

A növényi olajok közvetlen felhasználását motorokban hajtóanyagként az olaj viszkozitása és a magas glicerintartalma korlátozza; a létrejövő lerakódások a motor élettartamát csökkentik. A növényi olajokat nyers formában 10-25%-ban gázolajhoz keverve (Kacz és Neményi (1998) szerint 10-15%-ban) lehet nem túl igényes dízelmotorokban elégetni. Vegyes üzemben (üzemkezdéskor, illetve leálláskor gázolajjal átöblítve) nyers növényolaj is használható átalakított üzemanyagrendszer és dízelmotor esetén. Motorhajtó anyagokká a növényi olajokat katalitikus hidrokrakolással vagy észterezéssel lehet átalakítani. Ez utóbbi az olcsóbb, ezért ennek a szélesebb körű elterjedésével lehet számolni. Elnevezése repce- vagy napraforgóolaj-metilészter (RME, NME). Növényi olaj és benzín vagy alkohol keveréke (Bionol, 80%:20%) pedig a gázolajhoz képest gyakorlatilag azonos teljesítményt nyújt, jobb az emisszió, de gyakoribb olajcserére van szükség (Kacz és Neményi, 1998).

A növényi eredetű olajokkal működő dízelmotorokat a szakma biodízelnak is nevezi. A biodízelekkel működő motorok teljesítménye kismértékben csökken, fogyasztása közel ilyen mértékben nő a hasonló, hagyományos gázolajjal működő motorokhoz képest. Romlik a motor hidegindítási tulajdonsága és az olajcsere gyakorisága itt is nő.

A növényi olajokkal üzemeltetett dízelmotorokat környezetbarát vagy környezetkímélő motoroknak is nevezik, amit elsősorban azzal érdemeltek ki, hogy üzemanyaguk a környezet CO_2 tartalmát nem növeli (nem fosszilis eredetű), másrészt a szénhidrogén-kibocsátás több mint 30%-kal, a részecskékibocsátás pedig 50%-kal csökken. Ugyanakkor a CO és az NO_x kibocsátás mintegy 5-10%-kal magasabb. Széleskörű elterjedésüket viszonylag magas előállítási költségük lassítja (Barótfi, 1993).

A folyékony biohajtóanyagok értékelése és alkalmazásuk

A biohajtóanyagok előnye, hogy a legfontosabb fosszilis üzemanyagokat képesek kiváltani, ugyanakkor a jelenlegi árviszonyok mellett (még) nem versenyképesek. Használatukat állami szabályozókkal kell elősegíteni, amit részben a CO₂-kvótából is fedezhetnek. Elterjedésüket segítheti, ha gazdasági megítélésüknél hasznos melléktermékeiket (olajpogácsa, szeszmoslék) és foglalkoztatást növelő hatásukat is mérlegetik.

3. Biogáz

A biogáz szerves anyagok anaerob lebomlásánál keletkező metántartalmú gáz. Alapanyagként bármilyen szerves hulladék – mezőgazdasági, feldolgozóipari vagy települési (kommunális) – szoba jöhet. Az alapanyagok sokféleségéhez igazodva többféle eljárás ismert, közös azonban az az elv, hogy egy fermentorban szabályozott hőmérsékleten, anaerob viszonyok közt metántermelő baktériumok segítségével gázt termelnek, azt tisztítják, tárolják, majd elégetik. A gáz kémiai energiáját itt is hő vagy villamos áram előállítására, illetve a kettő kombinációjára használhatják. A folyamat értékes, kiejert szerves trágyát termel, de megfelelő alapanyagokkal és körülményekkel gyógyszeralapanyagok előállítására is képes.

Fermentációval újabb tiszta hidrogént is fejlesztenek biomasszából, az eljárás azonban még nem terjedt el, amiben a hidrogén tárolásának nehézségei is szerepet játszanak (Sembery és Tóth, 2004).

A felhasznált alapanyagok

Alapanyagként a primer, szekunder és terciér biomassza egyaránt szoba jöhet, gyakorlatilag azonban főként szekunder és terciér (szerves) hulladékok energiacélú hasznosítására alkalmazzák. A biogázgyártás technológiáinak a jellemző felhasználási kör, illetve alapanyagbázis szerinti besorolásánál az a gazdasági szükségszerűség a meghatározó, amely a biogázos hulladékkezelésre készlet (Kissné, 1983).

Nyugat-Európában elsősorban a környezetvédelem igénye vezetett a nagy állattartó telepek trágyájának anaerob fermentációval történő ártalmatlanításához. A sertés- és szarvasmarha hígtrágya kezelésének egyik mellékterméke a biogáz. A technológia viszonylag drága.

Az élelmiszeripari hulladékok ártalmatlanításánál a keletkező gázt a technológiai melegvíz, illetve a helyiségek fűtése céljából égetik el, de Svájc, Németország, Hollandia üzemeltetők elsősorban vízvédelmi okokból alkalmazzák a biogáz-eljárást.

A szennyvíztelepeken az alacsony száraz- és szervesanyagtartalmú alapanyagból termelhető mérsékelt mennyiségű biogázzal szemben is

elsősorban a környezetvédelem igényei dominálnak, ugyanis a biogázos eljárással hatékony tisztítás valószínűsíthető. A biogázzal termelhető áram csak mellékterméke a folyamatnak.

A mezőgazdaságban a túlnyomóan, illetve kizárólag növényi hulladékok kigázosítása hosszabb időt vesz igénybe. Baktériumokkal való beoltás is szükséges. Elvileg szóba jöhet biogáz előállítására termelt energianövények elgázosítása is.

A szeméttelpek depógáz-kitermelése az egyébként is termelő – és időnként robbanásokat okozó – metántartalmú gáz összegyűjtésére nyújt olcsó lehetőséget.

Az alkalmazott technológiák

A legegyszerűbb felosztás talán a működés szakaszos vagy folyamatos volta, illetve a kezelt anyag víztartalma szerint tehető (Kacz és Neményi, 1998).

A száraz eljárás (szeméttelpek depógázának kinyerése) a legkisebb beruházási igényű, itt csupán megfelelő kutakat kell létesíteni a gáz összegyűjtésére, illetve a szemetet tömöríteni és nedvesíteni kell. Új létesítménynél a szeméttelpek alját víz, illetve gázzáróra képezik ki, és kiépítik a gázgyűjtő, illetve a szerves anyagokat a baktériumok számára nedvesítő csőhálózatot. A gáztermelés görbéje néhány év után éri el a maximumot, majd még további 15-20 évig gazdaságos a gáz kinyerése. Az alapanyag bejuttatása folyamatos, az összetömörödött, kiaknázott szemet azonban a helyszínen marad.

A szakaszos, „fél-száraz” üzemi berendezésekre az jellemző, hogy az összekevert, nagy (17,5-25%) szárazanyagtartalmú biomasszát a fermentorba töltik, majd meghatározott időre erjedni hagyják. Az aerob és az anaerob szakasz egy térben zajlik. A metanogén fázisban a gázhozam először emelkedik, majd egy maximum után csökkenni kezd. A folyamat végén a kiejert anyagot szerves trágyaként juttatják ki. A gázhozam, illetve az üzemelés folytonosságának biztosítására több szakaszos üzemi fermentort össze is lehet kapcsolni, ami megfelelő puffertartályokkal viszonylag egyenletes működést tesz lehetővé.

A folyamatos, „folyékony” üzemi berendezésnél a fermentorba nyersanyag naponta egy vagy többször kerül, a biogáztermelés, valamint az anyagáramlás kiegyenlített. Az eljárásnak feltétele, hogy az alapanyag egyenletes minőségben és mennyiségben álljon rendelkezésre. További feltétel a nagy nedvesség-, illetve alacsony (2-10%) szárazanyagtartalom, ami a hidraulikus továbbítást teszi lehetővé. A kiejert végtermék, ha az alapanyag összetétele ezt egyébként lehetővé teszi, hígtrágyaként juttatható ki (fázisbontással vagy anélkül).

A mikrobiológiai lebomlás hőmérséklete, illetve időigénye alapján a gyakorlatban megkülönböztethetünk mezofil (35±2 °C, 25±5 nap)

és termofil (56±5 °C, 15±2 nap) eljárásokat. A folyamat hőmérsékletének növekedtével növekedik az abszolút (m³) és a fajlagos (m³ gáz/m³ reaktortér) gázhozam, nő a beruházás hatékonysága, megnő viszont az eljárás technológiai hőfogyasztása (a bekerülő anyag felmelegítésére, a hővesztések kompenzálására) is. A legelterjedtebb a mezofil eljárás; olyan esetekben viszont, amikor a kikerülő anyag csírátlanítása, a gyommagvak elpusztítása a cél, a termofil eljárás ajánlott, esetleg kiegészítve egy megelőző magas hőmérsékletű aerob lebontási szakasszal. Alkalmazzák a mezofil elő- és utóerjesztés, valamint a termofil főerjesztés kombinációját is.

A biogázjelzés előnyei és hátrányai, alkalmazásának helyzete

A biogázjelzés előnye sokoldalúsága: a gáztermelésen kívül alkalmas veszélyes hulladékok ártalmatlanítására, emellett a kiejert anyag is értékes (biotrágya, esetleg gyógyszeralapanyagok). Hátránya az eljárásnak, hogy beruházásigényes, üzemeltetése pedig szigorú technológiai fegyelmet igényel.

Az orvosi hulladéklerakó telepen az új depóniakutak építésének, valamint a nyíregyházi I. számú szennyvíztisztító telepen a komplex iszapkezelő rendszer bevezetésének gazdasági elemzése kapcsán több, általánosítható megállapítás született. A szeméttelen későbbi értékesítés

céljából, a szennyvíztisztítóban a hatósági és környezetvédelmi előírások teljesítése végett végezték a beruházást. Az előbbi beruházás megtérülnek bizonyult, az utóbbi nem; a magyarázat egyrészt az eltérő beruházási célban, másrészt a szükséges tőkeigényben keresendő. A szeméttelen esetében megállapítható volt, hogy a biogáz eladása kulcsfontosságú; a kitermelés javasolt még csökkent (a vizsgált esetben 50%-os) kapacitás mellett is; ugyanez igaz akkor is, ha a tervezett ár csökkenne (a felére). Ha a biogázt a földgáz fűtőértékének arányában lehetne értékesíteni, a beruházás még hamarabb megtérülne. A szennyvíztelep esetében a biotrágya árának emelése (1000 Ft/t-ról 3000 Ft/t-ra) már gazdaságossá tenné a beruházást. Ugyanez érvényes arra az esetre is, ha a termelt zöld áramot eladnák (18 Ft/kWh), majd nagyfogyasztói kedvezményrel (11 Ft/kWh) visszavásárolnák (Németh, 2003).

A biogázjelzés alkalmazása ott javasolt, ahol nagy mennyiségben, folytonosan keletkezik szerves melléktermék. Így alkalmas állattartó telepek hígtrágyájának ártalmatlanítására, feldolgozóüzemek (vágóhid, konzervgyár) hulladékának, szennyvizének kezelésére, illetve kommunális szennyvizek tisztításának gazdaságosabbá tételére. Biogáz nyerhető még gyűjtőcsövekkel szeméttelen telepekből is (depógáz), bár itt a lerakott anyagot nem lehet trágyaként hasznosítani.

IRODALOM

- Bai A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- Barótfi I. (1993): Energiafelhasználói kézikönyv. Környezet-technikai Szolgáltató Kft., Budapest
- Eichhorn, H. (1999): Landtechnik. Landwirtschaftliches Lehrbuch. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- Gombos E. (2004): Az energiaerdők potenciális szerepe az EU energiapolitikai elvárásainak teljesítésében. Szakdolgozat. Konzulens: Dr. Bai Attila. Debreceni Egyetem ATC AVK Vállalatgazdaságtani Tanszék, Debrecen
- Grasselli G. (2004): Munkahelyteremtő megújuló energiaforrások hasznosításának megvalósíthatósági tanulmányterve a Debreceni Agglomerációban. Kézirat, Debrecen
- Hartmann, H.-Strehler, A. (1995): Die Stellung der Biomasse. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup
- Kacz K.-Neményi M. (1998): Megújuló energiaforrások. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Kissné Quallich E. (1983): A biogáz. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest
- Láng I. (1985): A biomassza komplex hasznosításának lehetőségei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Németh Á. (2003): A biogáz előállításának gazdasági elemzése esettanulmányok alapján. Diplomadolgozat. Konzulens: Dr. Bai Attila. Debreceni Egyetem ATC AVK Vállalatgazdaságtani Tanszék, Debrecen
- Schön, H. (1998): Landtechnik, Bauwesen. BLV Verlagsgesellschaft, München
- Sembery P.-Tóth L. (2004): Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest