

Debreceni Egyetem
Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma
KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

Témavezető:
Prof. Dr. Nagy János
egyetemi tanár
az MTA doktora

BIOREAKTOROK LOGISZTIKAI ÖSSZEFÜGGÉSEI

Készítette:
ifj. Sinóros-Szabó Botond
doktorjelölt

Debrecen
2008

Tartalomjegyzék

1.	BEVEZETÉS.....	3
2.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	6
2.1	A biogáz termelés komplex értelmezése.....	6
2.1.1	Globális környezeti változások és következményeik.....	6
2.1.2	Exponenciális népességnövekedés.....	8
2.1.3	Közös célok az összefogás jegyében.....	10
2.1.4	Új fejlődési növekedési stratégia: a fenntartható fejlődés.....	11
2.2	A biogáztermelést megalapozó okok és következmények az Európai Unióban.....	15
2.2.1	Az Európai Unió energiapiaci helyzete.....	15
2.2.2	Az Európai Unió agrárreformja.....	18
2.2.3	A biomassza.....	20
2.2.4	A nem-élelmiszertermelő szektor jelentősége.....	22
2.2.5	Az Európai Unió energia átvételi árstratégiája és támogatási struktúrája.....	23
2.3	Bioreaktorok magyarországi elterjedése és fejlesztési lehetőségei.....	26
2.3.1	Biomassza potenciál Magyarországon.....	26
2.3.2	Magyarország térszerkezete a biomassza termelés szempontjából.....	28
2.3.3	Energiaigények alakulása.....	30
2.3.4	Szociális problémák.....	33
2.3.5	A nyírbátori bioreaktor.....	34
2.4	A biogáz termelés mikrobiológiai rendszere.....	36
2.4.1	Mikrobiológiai alapok.....	36
2.4.2	A metánképződést befolyásoló mikrobiológiai folyamatok.....	39
2.5	A biogáz termelés főbb technológiai jellemzői.....	47
2.5.1	A biogáz-előállítás története.....	47
2.5.2	A biogáz jellemzői.....	48
2.5.3	Biogázgyártási módok.....	49
2.5.4	Szakaszos üzemű eljárások.....	50
2.5.5	Folyamatos üzemű eljárások.....	53
2.5.6	A Bioreaktorok részei és berendezései.....	56
3.	ANYAG ÉS MÓDSZER.....	69
3.1	A mezőgazdasági bioreaktorok logisztikai alapjai.....	69
3.1.1	A logisztikáról általában.....	69
3.1.2	A bioreaktor inputanyag logisztikai alapjai.....	73
3.2	Szervesanyag hulladékok, mint alapanyagok.....	79
4.	EREDMÉNYEK.....	87
4.1	A szállítási kapacitás meghatározása.....	87
4.2	Az optimális szállítási költség meghatározása.....	95
5.	KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	98
6.	ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	101
7.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	103
8.	SUMMARY.....	105
9.	PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK.....	106
10.	FELHASZNÁLT IRODALOM.....	107
11.	ÁBRÁK JEGYZÉKE.....	113
12.	TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	114
13.	MELLÉKLETEK.....	115

1. BEVEZETÉS

Korunk egyik legjelentősebb problémája a környezeti harmónia felborulása. Ez a természetes dinamikus egyensúly nemcsak tevékenységeinkre, szokásainkra, mindennapi életünkre, hanem „globálisan”, az egész Földre és annak minden rendszerelemére kihat.

A technikai fejlődés sokáig nem szolgált mást csak a kényelmünket, mindennapi életünk felgyorsítását és a nyereség maximalizálását. De hamar be kellett látnunk, hogy ennek a kényelemnek ára van. A globális felmelegedéstől, az ózonlyuk kialakulásán és növekedésén, az időjárási anomáliákon, az éhínségeken keresztül az „emberi génállomány” silányodásáig mind olyan problémák jelentek meg, amelyek orvoslása a ma feladata. Ezek nem lokális jelenségek, hanem globálisan kimutathatóak a természeti, társadalmi-gazdasági és a humán környezet rendszerében is.

Az egyik legsúlyosabb helyzetbe az energiaszektor került. A nemzetgazdaság ezen területe a legnagyobb károsanyag (ezen belül leginkább széndioxid) kibocsátók egyike. Nem véletlen, hogy az Európai Unió (EU) egyik kiemelt fejlesztési prioritásai közé tartozik egy olyan energiapiac létrehozása, amely a biztonságos energiaellátást, valamint az éghajlat- és környezetváltozás okainak csökkentését szavatolja (*Meadows et al.* 2005).

Megoldásként a fejlesztések olyan technológiákra koncentrálnak, amelyek természetbeni –vagy ahhoz közelálló – folyamatokat valósítanak meg. Szintén ezekhez a felismerésekhez vezetett az az elv, miszerint a környezetben nincs hulladék (*Prezenszky* 2003), vagyis minden folyamat mellékterméke egy másik folyamat alapanyaga.

Megszülettek – vagy esetenként megújultak – olyan technológiák és technikák, amelyek az eddigi, a környezettel nem harmonizáló folyamatokat részben vagy egészben próbálják kiváltani. Bár a hosszú távú cél valószínűleg a fúziós energia biztonságos és fenntartható előállításának és használata lesz, ám ma még az ez irányú kutatások „gyerekcipőben” járnak. Ezért fontosak és iránymutatóak azok a fejlesztések, amelyek egy - hosszú távon jelenlévő - megújuló energiaforrás biztonságos és megalapozott használatát irányozzák elő, amelynek a neve: *bioenergia*.

A bioenergiát már régóta használja az ember, hiszen sokáig csak ez volt a rendelkezésre álló energiaforrás. Gondoljunk csak az abrakolásra, vagy a tűzifa begyűjtésére és égetésére! Úgy a világon, mint Magyarországon is ezek az eljárások ismeretesek voltak egészen az ipari forradalom kezdetéig, amikor is először került a szén („nagyüzemi”) alkalmazásra, melynek égéstermékének a légköri felhalmozódása a mai napig tart (például Kínában jelenleg is épülnek szén-erőművek!). A második világháború alatt ugyan beindult a bioenergia-termelés fejlesztése, de ennek az oka leginkább az erőforráshiány volt és nem pedig a környezettudatos viselkedés.

1945 után hazánk a szovjet kőolajra volt utalva, ami a következő néhány évtizedben sem fog jelentős mértékben megváltozni. Ezért a bioenergia kutatása és a bioenergiával kapcsolatos fejlesztések elmaradtak a nyugat-európai országok fejlesztéseéhez képest. A nyolcvanas évek végén bár voltak próbálkozások, de jelentős üzemet – mind a növekvő pénzhiány, mind pedig a csak felületesen támogató államérdeknek köszönhetően – akkor nem sikerült építeni. A társadalom és a gazdaság sem volt felkészülve a világrendszerünket átfogó új energiakoncepció befogadására és ennek részeként a bioenergia ipari méretű előállítására és hasznosítására, a természeti környezettel megvalósuló harmónia megteremtésére. A rendszerváltás után – az Európai Unió jelentős ráhatásával – egyre nagyobb figyelmet kapott a bioenergia használata és az azzal kapcsolatos fejlesztések mind a hétköznapi, mind pedig a szakmai életben.

Ma már a köztudatban él a **biodízel**, **bioetanol**, biomassa fűtőmű vagy **biogáz** fogalma. Remélhetőleg a jövőben nemcsak hallani fogunk ezekről, hanem mindennapi életünkben, a *gyakorlatban* is szerepet fognak játszani. *Aurello Peccei*, a Római Klub alapítójának 1981-ben mondott szavaival élve: *„A jövő már nem az....., ami lehetett volna, ha az emberek használták volna a józan eszüket, és lehetőségeiket is jobban kihasználták volna. De a jövő még mindig azzá válhat, amit akarunk, ha a realitásokon és az ésszerűségeken belül maradunk.”*

A környezeti harmóniához hasonlóan épül fel a biogáztermelő üzem, ahol alapvető kérdés a szerves anyagok „környezetharmonikus” átalakítása, a gázképződés és a hasznosítás logisztikai rendszere. Mivel az időben folytonos termelés – mind gazdasági, mind technológiai és mikrobiológiai szempontok szerint vizsgálva – az egyik legszigorúbb tényező, ezért a logisztikai rendszernek ezt a folyamatosságot kell megteremteniük.

Vagyis:

1. a rendelkezésre álló inputanyagok beszállítását adott helyről a felhasználás területeire az adott beszállítási igény és ehhez kapcsolt stratégia szerint kell lebonyolítani,
2. az esetlegesen fel nem használható alapanyagok (inputanyagok) szakszerű tárolását, valamint a biológiai eredetű anyagok minőségének esetleges romlását is figyelembe kell venni,
3. a keletkezett fő- és melléktermékek tárolását és elszállítását a hasznosítási és gazdasági szempontok együttes figyelembevételével kell megvalósítani.

Ahhoz, hogy ezeket a logisztikai kérdésköröket vizsgálni tudjuk mindenek előtt szükség van a biogáz termelés európai és hazai helyzetének tárgyalására, jelenlegi körülményeinek megala-
pozására, a metántermelés főbb lépéseinek ismertetésére, a technológiai megoldások részlete-
zésére. Ezek adják a bázisát mindannak, hogy a bioreaktorok és a biogáz termelés napjainkban
egyre növekvő teret érjenek el az energia- (és környezetvédelmi) szektoron belül.

A bioreaktorokba beérkező inputanyagok csak abban az esetben szolgáltatnak nyereséget, ha
hasznosításuk során a bevétel nem haladja meg a hasznosítás költségeit. Ezen költségek egyik
meghatározó tényezője a szállítás. Továbbá kérdéses a növekedés korlátainak a meghatározása,
vagyis:

- **milyen messziről érdemes beszállítani mind a növényi inputanyagokat, mind az ál-
lati eredetű anyagokat,**
- **az egyes inputanyagok eredete miképpen befolyásolja a logisztikai költségeket,**
- **a szállítási költségek és a nyereség milyen összefüggésben áll egymással.**

A disszertáció célja a biogáz termelő üzemek (továbbá bioreaktorok) logisztikai rendszerének
elméleti megalapozása, főbb rendszermodelleinek felállítása, valamint a beszállítási és az el-
osztási alrendszerek meghatározása és vizsgálata. Az output anyagok logisztikai vizsgálatait
csak részben tárgyalom, ezen összefüggések tárgyalásához alapot szolgáltathat kutatásom.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 *A biogáz termelés komplex értelmezése*

A biogáz termelés logisztikai rendszerének megalapozásához szükséges a biogáz termelés természeti, gazdasági és politikai környezetének, valamint a humán kölcsönhatások ismerete. Ugyancsak elengedhetetlen azoknak a lépéseknek a bemutatása, amelyekkel Magyarország, de egyben Európa és a világ számos országa próbálja orvosolni ezeket a súlyos környezeti problémákat, amelyeket – többek között – a szerves anyagok alkalmazása jelent. Ezen túlmenően szükséges a mikrobiológia folyamatok és az alkalmazott technológiai eszközrendszer ismertetése, hiszen önmagában a biogáz előállítás is - rendszerszerűen értelmezhető – termelési logisztikai folyamat.

2.1.1 **Globális környezeti változások és következményeik**

A regionális és a globális problémák monitoring rendszerét a Meteorológiai Világszervezet (World Meteorological Organization – WMO) felügyeli. Minden évben kiad egy állásfoglalást az aktuális helyzetről, új problémákról és a jövőbeni trendekről¹. Ezek közül kiemelek a következőkben néhány aktuális problémát, amely a változást igazolja:

- Az egész Földet lefedő műszeres mérések 1860-as kezdete óta a Föld felszíni globális átlaghőmérséklete 1998-ban volt a legmagasabb, ezért érdemes ennek az évnek az adatait részletezni. Az átlaghőmérséklet 0,57 °C-kal haladta meg az 1961-1990-es időszak átlagértékét. A XX. sz. vége felé közeledve a földi átlaghőmérséklet mintegy 0,7 °C-kal volt magasabb a XIX. sz. végén megfigyelt értéknél. A regionális hőmérsékleti adatok azt mutatták, hogy 1998-ban az összes kontinens az átlagosnál melegebb évet zárt (1. melléklet). Az 1998-as év után a 2002-es és a 2005-ös év volt globálisan a legmelegebb. A magas éves átlaghőmérséklet oka főképp a magas minimum hőmérsékletek (pl. Ausztrália, Qatar) és az éves rekord melegek miatt (Ciprus, Kanada, Japán, Új-Zéland, stb.) alakultak ki.
- A Föld légkörének mintegy 6 km magasságáig terjedő alsó troposzférájában az említett 1998-as évben az eddigi legnagyobb hőmérsékleteket mérték. A világ 400 rádiószonda állomásainak adataiból kiderül, hogy ugyanebben az évben az alsó sztratoszféra annak ellenére

¹ *Energiaipari „forradalmat” hirdetett Brüsszel, Bruxinfo 2004*

volt nagyon hideg, hogy az északi félgömb sarkközei részein normál állapotok uralkodtak. Az alsó sztratoszféra lehülése a számítógépes modellek szerint a légköri szén-dioxid mennyiségének növekedésével és az ózon csökkenésével áll összefüggésben.

- Az Antarktisz felett az ózonszint csökkenése 1998-ban új rekordot döntött. Az ózonlyuk alatti napsütötte terület több mint 100 napon át meghaladta a 10 millió km²-t. A maximális ózonhiány idején (szeptember végén – október elején) az ózonlyuk mérete nagyobb volt, mint 25 millió km².
- Két rendkívül fontos üvegházgáz – a széndioxid és a metán – légköri koncentrációja a vizsgált 1998-as évben tovább emelkedett. A metán légköri koncentrációja jól jellemzi az egyes földtörténeti időszakokat is. (A jégkorszak után az érték csaknem megduplázódott a jégkorszakbani aktuálshoz képest.). Az ipari forradalom előtt szintén jelentős metánkoncentráció-növekedés mutatható ki. Bár a koncentráció duplikálódása gyakran több évezredet vett igénybe, a legutóbbi megkétszereződés csak kb. 50 év alatt következett be (*Willison, et al.* 1995). A mérővizsgálatok szerint a metán mennyisége nőtt, de a növekedés üteme valamelyest lassult. A széndioxid koncentrációja globálisan 1,5 ppm/év sebességgel emelkedett.
- A tengerszint az elmúlt 100-150 év vízszintészlelési adatai alapján globálisan 2,1 mm/év sebességgel növekedett. Az 1998-as El Niño hatására a tengervízszint globális emelkedése az átlagosnál gyorsabb volt, főképp a hőtágulás hatásai miatt. Az 1998-as év első felében az El Niño (a tengerfelszín hőmérsékletének periódikus változásának meleg fázisa és annak pusztító hatásai) jelenség uralkodott, majd az év második felében átadta helyét a La Niña hatásnak (az El Niño ellentéte, a normálnál hidegebb tengerfelszín és annak pusztító következményeit jelenti.)²
- Különösen száraz körülmények uralkodtak Délkelet-Ázsiában 1998 elején. Pusztító tüzek súlyos szennyeződést, valamint légszervi megbetegedéseket okoztak Indonéziában és a Fidzsi-szigeteken. Indonéziában Borneo egyik tartományában a faállományban okozott kár több mint 1 milliárd USD értékű. Új-Zélandon a szárazság 50 éves rekordot döntött és az agrárágazatban elszenvedett kár 227 millió USD volt (1998-as árszínvonalon). Pápua Új-Guineán a szárazság évszázados rekordot döntött. De megemlíthetjük a 2003-as évadot is, hiszen Magyarország teljes területét aszály sújtotta vidékké nyilvánították.
- Az El Niño kiadós esőzései után kiterjedt áradások voltak Észak-Argentína, Peru és Ecuador partvidékeinek egyes területein az 1998-as év első felében. 50 ezer ember vesztette el otthonát. Jelentős árvizek voltak a Koreai Köztársaságban, Vietnámban, a Fülöp-

² A Meteorológiai Világszervezet állásfoglalása alapján.

http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=climate&pid=clwmostat&mpx=0&pri=1

szigeteken, Oroszországban és Szudánban is. Az árvizek Indiában, Nepálban, Kínában és Bangladesben több mint 2.800 ember életét követelték. Banglades területének kb. a 2/3-át 3 méter magas víz borította az 1998-as év jelentős részében, valamint a szokatlan időjárási jelenségek jelentős járványokat okoztak szerte a világon. A kiterjedt áradások Kelet-Afrikában a malária, Rift-völgyi láz és kolera egyre nagyobb területeken való elterjedését eredményezték.

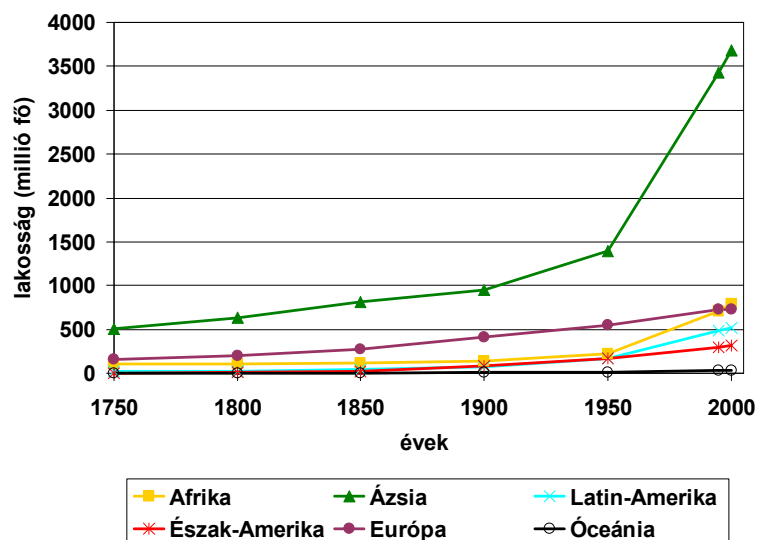
- Az 1998-as év legpusztítóbb eseménye a Mich-hurrikán volt, mely intenzív áradásokat és földcsuszamlásokat okozott Közép-Amerikában október végén. A becslések szerint 18 ezer ember tűnt el, 11 ezren haltak meg és 3 millió ember vált hajléktalanná. Ezt követően megnövekedett a kolerában, a Dengue-lázban és a maláriában megbetegedettek száma.
- Délkelet-Ázsiában a megkésett monszun és a helyi földművelési szokások együttesen katasztrofális tüzesetekhez vezettek, melyek nagy területeken légzőszervi megbetegedéseket és a vadállomány jelentős veszteségeit okozták.

A bemutatott néhány fő globális probléma egyértelműen mutatja a fejlesztés és fejlődés diszharmóniáját, új fejlesztési (fejlődési) modell alkalmazásának szükségességét.

2.1.2 Exponenciális népességnövekedés

Az ipari forradalom óta a világ népessége exponenciálisan növekszik. 2001-ben a világ növekedési rátája 1,3 % volt, amely a lakosság 55 évenkénti megduplázódását jelenti³. A Föld népességének földrészek szerinti alakulását az 1. ábra szemlélteti:

³ STAND Center. Sustainable Tropical Agriculture and Natural Development Center for Experiential Learning. <http://www.stand-center.com/laws.html>



1. ábra: A világ népességének növekedése földrészenként⁴

Az ábrán látható, hogy a legnagyobb népesség növekedés Ázsiában és Afrikában volt az elmúlt 50 évben. A Föld tartalékai azonban végesek. A növekvő lakosság mellett a különböző termékek és termények, anyagok outputját is növelni kell. Ez közvetlenül is hozzájárul a globális problémákhoz. Ugyanakkor Európában és Észak-Amerikában (illetve a technológiailag fejlett országokban) más gondok is szorosabb-lazább kapcsolatba kerültek az éghajlati problémákkal, a világ rendszerszerű működésével. Ausztria, a zöldenergia hasznosítás egyik élenjárója, az éves energiafelhasználás növekménye mintegy duplája a megújuló energiatermelésből származó növekménynek. (Molnár 2001) Ugyancsak megemlíthető az Amerikai Egyesült Államok, ahol az ország teljes energiafogyasztásának 1,2 %-át a technológiai/informatikai fejlődés miatt olcsóbbá vált szerverek használják fel (Mányi 2004; Gyurkity 2007). Mindkét példa tükrözi, hogy az esetleges zöld technológiák alkalmazása önmagában még kevés: (racionálisan) energiatakarékos szemléletmódra, a technológiák új struktúrában történő alkalmazására, társadalmi s humán környezeti elfogadásra is szükség van. Ehhez kapcsolódóan a megnövekedett energiaigényeket és azok jövőbeni várható alakulását ábrázolja a 2. melléklet.

⁴ El Niño, La Niña, globális hatások. Atmospheric Chemistry Department.
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2cfe4d614eab6b64db85ef5a582e6de5.0/Service/Kezd_oldal_21c.html

2.1.3 Közös célok az összefogás jegyében

A világot átfogó problémák egyre markánsabban jelentek meg elsősorban az emberi élethez, tevékenységekhez nélkülözhetetlen természeti erőforrások (talaj, víz, levegő, klíma, napfény, hőmérséklet, csapadék, biomassza, stb.) minőségének romlásában, mennyiségének és szolgáltató képességének a csökkenésében. E globális problémák értelmezésére, megoldására szinte a világ valamennyi országát mozgósító szimpóziumot szerveztek. Az 1992-ben megtartott Rio-de Janeiro-i tanácskozás a biodiverzitással (növényi és állati fajok pusztulásával) foglalkozott, majd ezt követte a Kyotó-i tanácskozás, mely a levegőben lévő túlzottan sok CO₂ csökkentését (5,2%-ra) irányozta elő. Legutóbb (2002-ben) Johannesburgban találkoztak a világ országainak vezetői, ahol a világ fejlődésének-fejlesztésének összes kérdéséről, problémájáról tárgyaltak (háború, béke, élelmiszer-túltermelés, éhínség, tökefelhalmozás, szegénység, anyagválság, energiaválság, környezeti válság). A kérdéskör fontosságát, jelentőségét és aktualitását alátámasztandó többféle próbálkozás történt. Az Európai Unióban kampány indult „Fenntartható Európa” elnevezéssel. Ennek keretében és tükrében a környezeti tér célirányos változásának irányszámait, s a változások mértékét adták meg 2010-re vonatkoztatva (1. táblázat).

**1. táblázat: Egyes erőforrások felhasználása és szükséges változtatása az EU-ban
(Sági 1998)**

Erőforrás	Jelenlegi egy főre jutó felhasználás	Egy főre jutó éves környezeti tér optimuma	Szükséges változtatás (%)	Célok 2010-re (%-os változtatás)
CO ₂ kibocsátás	7.2 tonna	1.7 tonna	-77	-26
Cement	536 kg	80 kg	-85	-21
Nyersvas	273 kg	36 kg	-87	-22
Alumínium	12 kg	1.2 kg	-90	-23
Klór vegyületek	23 kg	0kg	-100	-25
Fa	0.66 m ³	0.56 m ³	-15	-15

A Wuppertal Institute jelentéséből⁵ egyértelműen kitűnik, hogy – az eddigi erőfeszítések ellenére – az egy főre jutó CO₂ kibocsátás rendkívül magas. Az előirányzott cél 77%-os csökkentést irányozna elő, melyből 2010-ig mintegy 26%-os mértékű csökkentést terveznek megvaló-

⁵ Spangenberg, J. (szerk.) (1995): The Study „Towards Sustainable Europe”. Wuppertal Institute

sítani. Bár a táblázat adatai hozzávetőlegesek, egyértelművé teszik a szükséges változtatások nagyságrendjét az erőforrások felhasználása terén.

A 3. mellékletben szereplő táblázatban feltüntetett irányszámok, célok és az értékelés tükrében vizsgálható az egyes országok egy főre jutó éves mennyiségű (tonnában kifejezett) CO₂ emissziója. Jól látható, hogy az Európában legkisebb CO₂ emisszió kibocsátású ország Portugália, de az 5,0 tonna/fő éves CO₂ emisszió kibocsátása még mindig háromszorosa a kívánatos mértéknek. A probléma nagyságrendjét érzékeltető, hogy az USA éves széndioxid-emissziója egy főre vetítve közel négyszerese a portugáliai értéknek (talán ezért sem csoda, hogy nem fogadja el a Kyotói-szerződés alappontjait...). Mindenesetre a feltüntetett számok, mértékek és arányok jól mutatják a fenntartható fejlődés új stratégiai irányának megvalósulását, az e területen kialakuló technológiai versenyt.

Többek között az előzőekben említett problémák megszüntetésére irányuló, a „fenntartható fejlődés” stratégiájának megfogalmazásához vezetett.

2.1.4 Új fejlődési növekedési stratégia: a fenntartható fejlődés

A „fenntartható fejlődés” kifejezését először az ENSZ Brundtland-jelentésében szerepeltették 1987-ben. A környezet rendszertani kérdései a társadalomban, a gazdaságban és általában a mindennapi életben a leggyakrabban előforduló, a legfontosabb kérdések közé tartoznak. Nincsen olyan jelenség, folyamat, műszaki fejlesztési tevékenység, melynek során a környezeti kérdéseket, a környezetvédelmet, ezek összefüggéseit ne kellene figyelembe vennünk. E megállapítás érvényes az említett jelenségek és folyamatok egészére, vagyis az előkészületi, tervezési, kivitelezési és működtetési fázisokra egyaránt.

A fejlesztési tevékenységek és folyamatok érvényesülése szempontjából alapvető jelentőséggel rendelkezik az a rendszerstruktúra, amelyre a fejlesztési tevékenység vonatkozik, és amelyben annak folyamatai érvényesülnek. Mindebből következik, hogy a fejlesztés törvényszerűségeit, összefüggéseit, igényeit és feltételeit nem elegendő egy szűken értelmezett cél megvalósítására korlátozni, hanem integratív rendszer részeként kell meghatározni. A modern informatika eredményeinek alkalmazása biztosítja, hogy az átfogó, egyetemes törvényszerűségek világvi-

szonylatban, földrészenként, országoként, régióként, megyénként és kistérségenként egészében és kölcsönös összefüggéseiben is értelmezhetők és alkalmazhatók legyenek.

A fejlesztések technológiai eljárásokon keresztül valósulnak meg és komplex módon érvényesítik pozitív vagy negatív hatásait. Ennek megítéléséhez elengedhetetlenek a hatások földrajzi, térségi és időbeni együttes feltárása. Az említett eredmények gyakran egymásnak (virtuálisan vagy reálisan) ellentmondóak. Például: a belsőégésű motorok kifejlesztésével és megjelenésével azok korszakalkotó előnyei rajzolódtak ki. Ma már országoként, illetve az egész világon a kipufogó gázok káros hatásaival kell számolnunk és a fejlett országok infrastruktúrájának és életének egyik legnagyobb problémája a belsőégésű motorok – egyoldalú és aránytalan – száma.

Ugyancsak példaként említhető a mezőgazdaságban megtermelt biológiai alapanyagok feldolgozottságának növekvő mértéke, s a keletkezett szervesanyag melléktermékek felhasználásának, tovább-hasznosításának hiánya; mindebből következően a környezet túlterhelése, diszharmóniája, vagyis a termékek teljes láncolatának a megszakadása. Ugyancsak e területhez tartozik az emberek életéhez nélkülözhetetlen szervesanyag körfolyamat (szennyvíz, ételmaredek, sütőolajok stb.) hiánya a gazdaságban. E „körfolyamatok” így nem záródnak, megfelelő technológiák, alkalmazások hiányában a környezetet terhelik, felerősítve a negatív – direkt és externális – hatásokat, folyamatokat.

A múlt század technológiai fejlesztései kiterjedtek és átfogóak voltak, ill. a társadalmi, a gazdasági előnyei mindenki számára nyilvánvalóan érvényesülhettek. A látható előnyök és értékek mellett e fejlesztések hiányosságai, hátrányai is egyre szélesebb körben és egyre általánosabban jelentkeznek. Legközvetlenebbül a természeti környezetben érezhető mindenki számára az a kedvezőtlen változás, amely a korábbi fejlesztések megváltoztatását, módosítását, vagy új fejlesztéseket és új struktúrában történő alkalmazásokat igényelnek. A fejlesztések negatív hatásai makro-, mezo- és mikroszinten is megmutatkoznak és az emberi élet alapjait veszélyeztetik.

Miután az átgondolatlan fejlesztések önmaguk korlátaiba ütköznek, vagyis nem az életszínvonal és -minőség javítását szolgálják, úgy az ember életterének leszűkülését eredményezik. (Szemben a fenntartható fejlesztésekkel, amelyek pozitív „kicsengésűek”). Mindezek globálisan is megjelennek. Az alapvető természeti erőforrások (termőtalaj, víz, napfény és a klíma,

megtermelt biomassza, kőolaj, földgáz, geotermikus energia, stb.) mennyisége fogy, esetleg minősége romlik. E tények a világ számos országát arra késztették (élükön a fejlett országokkal), hogy új innovációs struktúrát alakítsanak ki.

Az új fejlesztési stratégiának új célokat kell tartalmaznia. Mindez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a korábbi kizárólagos profitbevételre irányuló törekvés komplexebb rendszerfeltételek mellett és szigorúbb korlátok között érvényesül. Az új innovációs modell a fenntartható fejlődés (*Sustainable Development*) stratégiájaként mutatkozik meg. Az 1987-es Környezet és Fejlesztés Világbizottsága, a Brundtland-bizottság szavaival egy fenntartható társadalom képes a „jelen szükségleteit úgy kielégíteni, hogy közben nem veszélyezteti a jövő generációk képességét arra, hogy ők is ki tudják elégíteni saját szükségleteiket”. Herman Daily szerint az anyagi és energetikai fenntarthatóság teljesítéséhez három feltételt kell teljesíteni:

- a szennyező anyagok kibocsátásának mértéke nem haladhatja meg a környezet asszimilációs, szennyezőanyag feldolgozó kapacitását,
- a nem megújuló energiaforrások használatának mértéke nem haladhatja meg azt a mértéket, amivel kifejlesztik az őket helyettesítő fenntartható megújuló energiaforrásokat,
- a megújuló energiaforrások használatának mértéke nem haladhatja meg azok regenerációjának mértékét.⁶

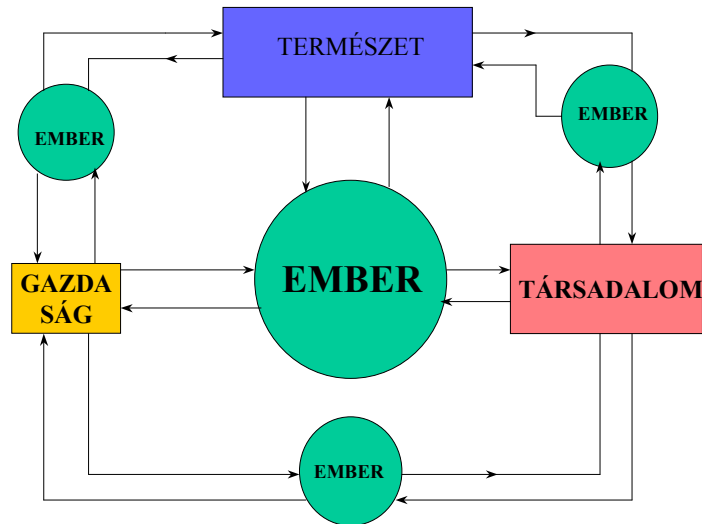
E fenti szempontokat figyelembe véve elmondható, hogy nagyon kevés társadalom teljesíti jelenleg ezeket a feltételeket. A fenntartható modell a tényszerűen bizonyítható fejlesztési rendszer diszharmóniát hivatott csökkenteni illetve megszüntetni és egy rendszerszerű harmonikus fejlesztést megvalósítani. Ugyanakkor itt kell leszögezni, hogy a fenntarthatóság fogalma nem egyenlő a „Zéró növekedés”-ével.

A diszharmónia elsősorban a természeti környezet megváltozásán és reakcióin keresztül vehetjük észre (a természeti erőforrások szolgáltató képessége romlik, a Föld légköre káros gázokkal (túl)telítődik, a hőmérséklet globálisan kimutathatóan emelkedik stb., vagyis a természeti erőforrások mennyiségi és minőségi szolgáltató képessége csökken), de ez nemcsak a természeti környezet, hanem a fejlesztési rendszer problémáját is jelenti. Vagyis, a természeti környezeti károsodások pontosan kimutathatók, de egyben globális, gazdasági és társadalmi gondokat is jelentenek. A 2. ábra a természet, a társadalom, a gazdaság és a fejlesztést megha-

⁶ STAND Center. Sustainable Tropical Agriculture and Natural Development Center for Experiential Learning. <http://www.stand-center.com/laws.html>

tározó ember rendszerszerű kölcsönhatásait és feltétel-rendszerét mutatja be. Ez megegyezik a 2005-ben kiadott „*World Summit Outcome Document*”-tel, amely a fenntartható fejlődés alappilléreinek e három egymást erősítő környezetét feltételezi.

Gyakorlati megközelítésben e stratégia többek között azt jelenti, hogy a világot átfogó környezeti problémák (globális felmelegedés, üvegházhatást okozó gázok – CO₂, NO_x, CH₄, C₂H₆, stb. – mértéktelen jelenléte a légkörben, ózonlyuk, stb.) mérséklődnek⁷, majd megszűnnek.



2. ábra: Alapvető fejlesztési rendszerkapcsolatok (Sinóros-Szabó et al. 2005)

⁷ FNR (2006): Biokraftstoffe, WPR Communication, Berlin. 29-32 p.

2.2 A biogáztermelést megalapozó okok és következmények az Európai Unióban

Az előzőekben ismertetett problémák részben hasonlóan, részben másképpen jelentek meg az Európai Unióban. A következőkben ezen gondok sajátosságait és következményeit mutatom be röviden.

2.2.1 Az Európai Unió energiapiaci helyzete

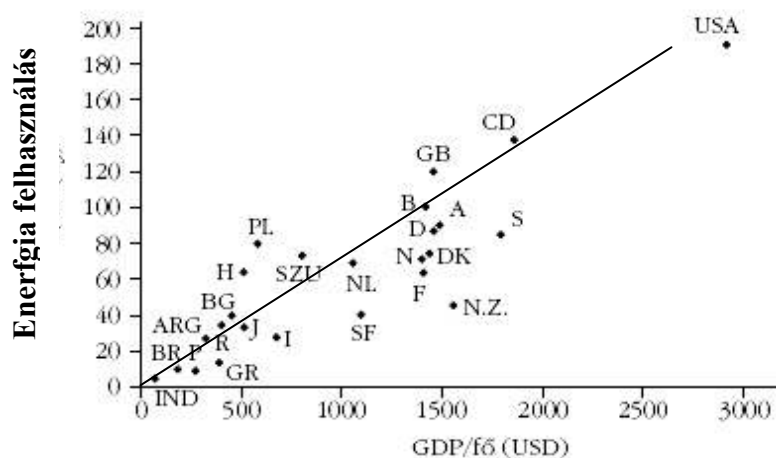
Egy ország és egy adott régió társadalmi-gazdasági tevékenységének mozgásterét, az életkörülmények alakulását közvetve és közvetlenül befolyásolja többek között az energiahordozók tulajdonjogi viszonyai, importkényszere, mennyisége és minősége, hasznosításának hatásfoka, fogyasztói helyekre történő eljuttatása és elosztása, azaz: az **energiaellátás** is, amely nélkülözhetetlen és a biztonságos termelés-, szolgáltatás és a komfortos életvitel egyik feltétele. Az energiafelhasználások nagysága, az energiahatékonyság mértéke, továbbá a felhasznált energiahordozók szerkezeti megoszlása, az infrastruktúra fejlettsége (kiépítettsége) befolyásolja a gazdaság növekedését, az innováció érvényesülését és az ökológiai rendszerben mérhető egyensúlyra gyakorolt hatását (*Vidal 2006*).

Andris Piebalgs, az EU energiaügyekért felelős biztosa szerint az Unió jelenlegi 50%-os mértékű importfüggősége 15%-kal fog növekedni (65%-ra) 2030-ra⁸. Ezt a függőséget csak akkor lehet szinten tartani, vagy esetleg csökkenteni, ha a hagyományos importenergiát más, az Unió területén előállított energiával váltják ki.

Az energiaigények (4. melléklet és 3. ábra) (különösen a villamosenergia-felhasználás területén) nagysága és a magyar gazdaság alakulását jelző bruttó hazai termék – a GDP – között szoros korreláció mutatható ki, amikor is a gazdasági növekedéssel arányosan, de valamivel kisebb mértékben növekedik az összenergia felhasználás, és nagyobb mértékben az országos szintű villamosenergia-fogyasztás. A 3. ábra diagramjának origójából induló egyeneshez vi-

⁸ Biomassza hasznosítás. <http://www.kekenergia.hu/bio.html>

szonyított pozíció a „takarékos” (például Új-Zéland (NZ)) és „pazarló” (köztük hazánk is) országok csoportjait különíti el.



3. ábra: Néhány ország egy főre eső átlagos energiafogyasztása az egy főre eső GDP függvényében (Kiss 2007)

Az ábrából kitűnik, hogy minél „fejlettebb” egy ország, – a növekvő energiaigények következtében – annál nagyobb a fajlagos energiafogyasztása. Az Európai Unió a környezeti- és piaci (élelmiszer túltermelési) problémáinak mérséklésére kampányt indított a megújuló energiák előállítására, az erre szolgáló projektek megvalósítására. Az említett kampány jelentős pénzüsszegekkel támogatta ezt a célt (2. és 3. táblázat).

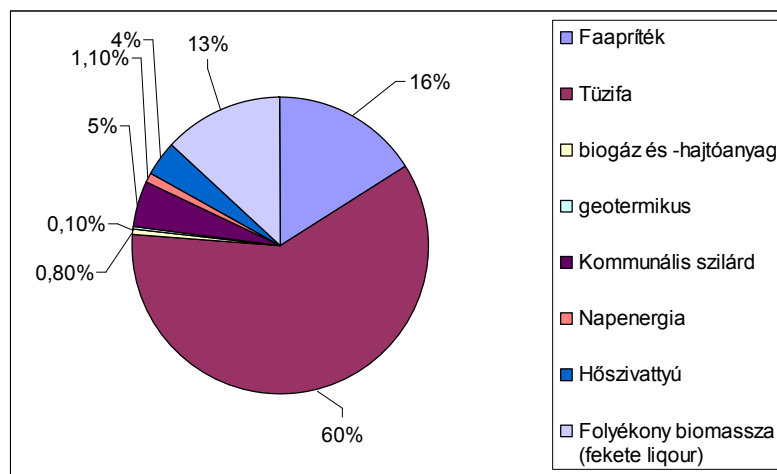
2. táblázat: Megújuló energiák projektjeinek a fejlesztése az EU-ban (1999-2003)
(Sinóros-Szabó et al. 2005; Sinóros-Szabó 2007)

Megújuló energiatípus	Kampány	Kapacitás	Beruházási költség (milliárd Euro)
Napenergia	Villamos energia	1000 PWh	5,3
	Kollektor	15 millió m ²	4,7
Szélenergia	Villamos energia (szélturbina)	10000 MWh	10,1
	Kombinált (hő- és villamos energia)	10000 MWh	5,5
Biomassza	Fűtés	10000 MWh	4,4
	Biogáz	10000 MWh	1,2
	Biohajtóanyag	5 millió tonna	1,25
Mindösszesen			32,45

3. táblázat: Megújuló energiák hasznosításának részaránya az Európai Unió országaiban, 2003-ban (Sinóros-Szabó et al. 2005)

Ausztria	24,3%	Luxemburg	1,4%
Belgium	1,0%	Németország	1,8%
Dánia	7,3%	Olaszország	5,5%
Egyesült Királyság	0,7%	Portugália	15,7%
Finnország	21,3%	Spanyolország	5,7%
Franciaország	7,1%	Svédország	25,4%
Görögország	7,3%	Európai Unió összesen	6%
Hollandia	1,4%	MAGYARORSZÁG (2001)	3,5%

Ausztriában a megújuló energiaforrások szerkezete értékes tapasztalatokat rögzít. Egyrészt tükrözi a biomassza erőforrások dominanciáját, másrészt jelzi a továbbfejlesztés, a növekedés területeit (4. ábra). A megújuló energiák termelése és felhasználása területén Ausztria vezető szerepe megalapozott és indokolt. Ezt mutatja az is, hogy az energiakutatás ráfordításain belül a megújuló energiakutatások közel egyharmados részarányt tesznek ki (4. táblázat). Továbbá meg kell jegyezni, hogy Ausztria a megújuló energiatermelés és felhasználás területén még a mai napig is lendületesen fejlődik⁹: az energiafogyasztás összetételét (2005-2006 között) tekintve a megújuló energiákat ki lehet emelni mint a legdinamikusabban fejlődő energiahordozókat (5,8%-os növekedés a 2005. bázisévhez viszonyítva). (Spangenberg 1995)



4. ábra: Megújuló energiaforrások alapanyagai Ausztriában 1997-ben
(Spangenberg 1995)

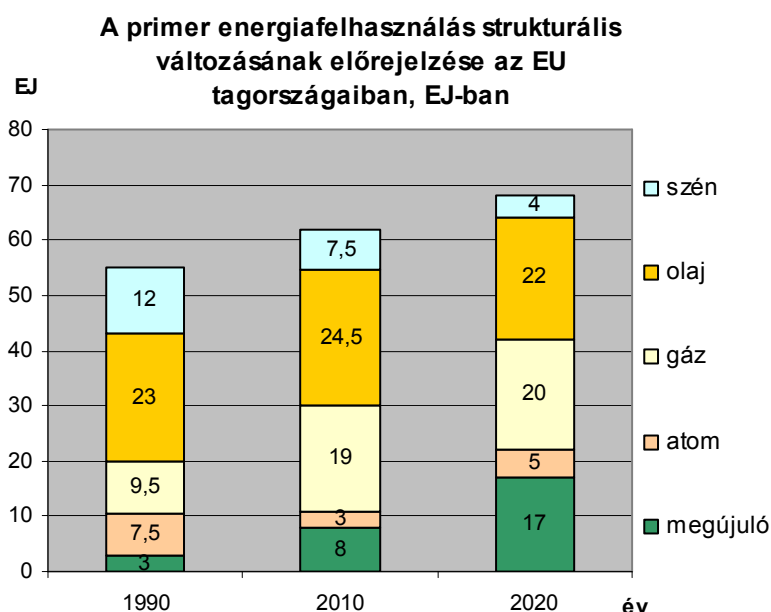
⁹ Statistics Austria:

http://www.statistik.at/web_en/statistics/energy_environment/energy/energy_balances/index.html

4. táblázat: Közpénzek felhasználása a megújuló energiák kutatására Ausztriában
(millió €) (Faninger, 1995)

	1994	1995	1996	1997
Energiakutatás összesen	23,5	24,1	24,2	25,7
Megújuló energiakutatás	6,5	7,8	6,1	7,4
	27,6	32,3	25,2	28,7

A megújuló energiák előállítására szolgáló projektek fejlesztése az Európai Unió primer energia felhasználás szerkezetét is megváltoztatja (5. ábra)



5. ábra: A primer energia felhasználás strukturális változásának előrejelzése az Európai Unió tagországaiban (EU Info, saját számítások)

2.2.2 Az Európai Unió agrárreformja

Az EU az agrárreform megújítását tűzte ki célul, melynek központi eleme az egyéni támogatások megszüntetése, a programszintű támogatások erősítése. Ennek egyik alapja a közös agrárpolitika (Common Agricultural Policy – CAP, magyarul: KAP) kialakítása (és reformja), amely a minőségi és mennyiségi színvonal emelése mellett a piac – mind a termelők, mind pedig a fogyasztók felől – szabályozását tűzte ki céljául. Ez utóbbi összhangban van a nem-élelmiszertermelő szektor kialakításával.

A KAP a Római Szerződés 39. cikkelyében került rögzítésre¹⁰. Az agrárstratégia első problémája a 80-as években került napvilágra, miszerint megjelent a termelés ösztönzésére vonatkozó szabályozás, amelynek hatására túltermelés lépett fel a piacokon (Kovács 2003). Ez a többlet-kibocsátás a mai napig is fennáll. A termelés csökkentésének érdekében több lehetőség is rendelkezésére áll az EU számára, nevesítve: intervenció, kvóták alkalmazása, exporttámogatások és az 1992-ben bevezetett kötelező ugaroltatás (vagy területpihentetés, „withdraw of arable land”) rendszere¹¹. Meg kell jegyezni ugyanakkor, hogy az Európa Bizottság a 2007/2008-as évre a kötelező ugaroltatás elhagyására tett javaslatot figyelembe véve az előző év kedvezőtlen időjárása miatt kialakult szűkös gabonapiaci kínálatot (ifj. Sinóros-Szabó 2005). Más nézőpont szerint ha nem is hagyható el az ugaroltatás teljes egészében, de 10% alá is csökkenthető¹². Ennek oka a Föld népességének exponenciális növekedésével arányosan (leginkább Oroszország, Kína, India felé) növekvő exportlehetőségek.

Az EU agrárpolitikájának a reformjában (2002) kiemelt helyet foglal el a biomasszából előállított megújuló energiaforrások programja és projektjei. Ennek lényege, hogy a primer energiafelhasználáson belül a megújuló energiaforrások részaránya 2010-ig elérje a 12%-os (2020-ra 20%-os) részesedést az EU tagországaiban (Nagy 2006). Magyarországra ez 5,75 %-os mértékű elvárást jelent.

Az Európai Uniót jelenleg az élelmiszer túltermelés jellemzi, mivel az élelmiszerszükségletet valamivel kisebb területen is meg lehetne termelni (5. táblázat). Különösen, ha korszerűbb agrotechnikát, jobb termőképességű fajtákat, időbeni tápanyagpótlást és növényvédelmet, valamint a növény fejlődéséhez, igényeihez alkalmazkodó vízpótlást végeznénk.

5. táblázat: Egy főre jutó termőföld 2004 előtt és 2004-2008 között az Európai Unió tagországaiban (Sinóros-Szabó et al. 2005)

	Megnevezés	Érték (ha/fő)
EU-15	Élelmiszer ellátáshoz szükséges terület	0,18
	Élelmiszer ellátás szükséges tényleges területe	0,22
EU-25	Élelmiszer ellátáshoz szükséges terület	0,18
	Élelmiszer ellátás szükséges tényleges területe	0,4
Magyarország élelmiszer ellátásának tényleges területe		0,5

¹⁰ EUvonal: Közös agrárpolitika. http://www.euvoanal.hu/index.php?op=kozossegi_politikak&id=1

¹¹ Az EU közös agrárpolitikája (KAP) I.

www.bekesmeak.hu/gtars/cikk.php%3Fev%3D2002%26szam%3D1%26link%3Dvii1/1114.html+k%C3%B6telez%C5%91+ugaroltat%C3%A1s+1992&hl=hu&ct=clnk&cd=4&gl=hu

¹² Egy évig nem lesz kötelező az ugaroltatás

http://www.eupiac.eu/printable.php?lap=dokument/dokument&dok_id=22725

Magyarország primerenergia igénye 2006-ban 1034 PJ volt.¹³ A biomassa hazai potenciálja a primerenergia igény 21,5 %-át lenne képes elméletileg kielégíteni. Összevetve a többi ország ugyanilyen értékével észrevehető Magyarország kedvező helyzete a biomasszatermelés területén. Ha figyelembe vesszük az ebből elméletileg előállítható biogáz energáját is, akkor arra a következtetésre jutunk, hogy hazánk a földgázfelhasználásának mintegy 47 %-t tudná biogázból fedezni. Ezt szemlélteti a 6. táblázat.

6. táblázat: Az biomassa és átlagos elméleti biogáz potenciál aránya az egyes országok éves szintű földgáz felhasználásához viszonyítva (Szűnyog 2008)

Ország	Primer energia		Biomassa potenciál (átl.)		Földgáz felhasználás	Biogáz potenciál a földgázfelhasználás függvényében
	[Mtoe]	[PJ]	[PJ]		[PJ]	
Csehország	43,5	1 821,30	171,6	9,40%	318,2	53,90%
Németország	328,5	13 753,60	1 390,50	10,10%	3 286,60	42,30%
Görögország	35,2	1 473,80	120,2	8,20%	121,4	99,00%
<i>Magyarország</i>	<i>24,7</i>	<i>1 034,10</i>	<i>222,8</i>	<i>21,50%</i>	<i>473,1</i>	<i>47,10%</i>
Litvánia	8	334,9	56,9	17,00%	121,4	46,80%
Lengyelország	94,5	3 956,50	483	12,20%	515	93,80%
Összesen:	808,9	33 867,00	2445		33 867,00	

2.2.3 A biomassa

Az előzőekben összefoglalt globális problémák „kézzel foghatóan” a környezetünk negatív változásaiban tapasztalhatók meg. E csökkenés mérséklésében, megszüntetésében a biomassa különösen fontos szerepet játszik. Egyfelől mint energiaforrás, környezeti harmóniát biztosít (termelés–felhasználás–kibocsátás egyensúlya), másfelől pedig – a hagyományos foszilis energia hordozókhoz képest – a környezet terhelése, a gázkibocsátások (C, CO, CO₂, CH₄, N, NO_x, SO_x stb.) technológiától és felhasználástól függően lényegesen alacsonyabbak, a természeti környezetünkkel harmonikus kölcsönhatásokban rövid idő alatt feltáródnak. Már korábban és a későbbiekben is hivatkozom a bioreaktorok nélkülözhetetlen inputanyagára: a biomasszára. Az egyértelműség érdekében e fogalom illetve fogalomkör definiálását most ismertetem:

¹³ BP Statistical Review of World Energy June 2007 (www.bp.com)

A biomassza: biológiai eredetű szervesanyag-tömeg, egy biocönózisban vagy biomban, a szárazföldön és vízben található élő és nemrég elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) testtömege; biotechnológiai iparok termékei; és a különböző transzformálók (ember, állatok, feldolgozó iparok stb.) összes biológiai eredetű terméke, hulladéka, mellékterméke¹⁴.

Röviden a biomassza naprendszerünk ciklikusan megújuló biológiai terméke, szervesanyag. A biomassza energiahasznosítás szempontjából megújuló, a szén, a kőolaj és a földgáz után a világon jelenleg (a hasznosítás szempontjából) a negyedik legnagyobb energiaforrás.

A szervesanyag-termelés (keletkezés) alapján csoportosíthatjuk a nyersanyag-forrásokat:

1. elsődleges biomassza: szántóföldi „zöld” anyagok, mező- és erdőgazdasági hulladékok, ipari- és energia növények, stb.,
2. másodlagos biomassza: az állattenyésztés melléktermékei,
3. harmadlagos biomassza: élelmiszerfeldolgozás melléktermékei, kommunális hulladékok.

Természetesen másképp is lehet csoportosítani a biomasszát. Az egyik leggyakoribb csoportosítás:

- növényi eredetű: a *fitomassza*,
- állati eredetű: a *zoomassza*.

Általában az emberi tömeget nem szokás a biomasszába sorolni.

Keletkezésének folyamata a produkcióbiológia fő témája. Ennek felmérését szolgálta a Nemzetközi Biológiai Program (IBP) világméretű akciósorozata, amelyben hazánk is részt vett¹⁵.

¹⁴ Magyarország -megújuló energiaforrások.

http://www.ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/country/hu/renewables_hu_hu.pdf

¹⁵ Magyarország -megújuló energiaforrások.

http://www.ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/country/hu/renewables_hu_hu.pdf

A biomassza hasznosítható¹⁶:

- közvetlen tüzeléssel (előkészítéssel, vagy előkészítés nélkül),
- kémiai átalakítás (elgázosítás, vagy cseppfolyósítás) után éghető gázként, vagy folyékony üzemanyagként,
- alkohollá erjesztéssel üzemanyagként,
- növényi olajok észterezésével biodízelként,
- anaerob fermentálás után biogázként.

2.2.4 A nem-élelmiszertermelő szektor jelentősége

A nem-élelmiszertermelő szektor termék-előállítására ugyanarra a szervesanyag (biomassza) tömegre alapozható, mint az élelmiszertermelőé, de technológiája főként az ipargazdaság területére esik és jelentős – többnyire mezőgazdasági igényekkel lefedett – biztos belső piacot jelent. Termékei többnyire ipari termékeket (csomagoló- és tömítőanyagok, használati cikkek, szerkezeti elemek stb.), energiahordozókat (földgáz, gázolaj, benzin, fűtőenergia, villamos energia, stb.) váltanak, vagy egészítenek ki. Többek között ide tartozik a keményítő- és az olaj tartalmú növények termesztése, feldolgozása és felhasználása, valamint a rostos, fás szárú növények termesztése. Új és egyben rendkívül fontos terület a keményítő tartalmú növényekből előállított termékek (pl. eldobható tányérok, evőeszközök, bútortalapok, stb.) gyártása. Mindezek az EU stratégiaileg támogatott fejlesztéseihez tartoznak és jelenleg is megpályázható projektek formájában jelennek meg.

A mezőgazdasági melléktermékek feldolgozása is a nem-élelmiszertermelő területhez tartozik. Eredménye a harmonikus szervesanyag körforgalom, mely az EU környezeti normáknak is megfelel. Az Európai Unió a felszültségek mérséklésére, a fenntartható fejlődés stratégiájának gyakorlati érvényesítésére bevezette a „földpihentetés” rendszerét, mely azt jelentette, hogy a szántóföldi termőterületeik 10 %-án nem termelnek élelmiszer-növényt, ezért a gazdálkodók 2003-ban mintegy 72.263 forint/hektár¹⁷ nagyságú támogatást kaptak, ugyanakkor megengedett volt számukra, hogy nem-élelmiszer növényt (ipari- és energianövényeket) termeljenek.

¹⁶ Monoki, Á. (2006): Biomassza energia.

<http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/Biomassza/Biomassza.html#irodalom>

¹⁷ Az Európai Unió Agrárgazdasága. Országos Mezőgazdasági Könyvtár és Dokumentációs Központ. XII évf. 3.szám http://www.omgk.hu/pages/euag/Ea2007/2007_3.pdf

Ezzel az intézkedéssel kettős célt teljesítettek az Európai Unió 15 tagországa számára; egyfelől csökkentették az élelmiszeripari túltermelési feszültségeket, másfelől a megújuló energiák termelését segítették elő, csökkentve a környezet általános problémáit. (Egyes források szerint (Kovács *et al.* 2003) az élelmiszer túltermelésre a területpihentetés nem hozott megfelelő eredményt, mivel mindenki a legrosszabbul termő területeit vonta ki a termelés alól). A nem-élelmiszertermelő szektor működése környezetvédelmi és –biztonsági szempontból is különleges jelentőségű. Ez főként a levegő – jelenlegi értékeihez viszonyított – CO₂ emisszió csökkenésben mutatkozik meg (évenkénti értéke hazánkban: cca. 150-200 ezer tonna). E fejlesztés a legmagasabb szintű elvárásoknak is megfelel a világon, hiszen a leírt nem-élelmiszertermelő szektor kialakításaként megvalósuló fejlesztéssel úgy lehet gazdasági többletet teremteni, hogy a környezetbiztonság nő (CO₂ emisszió csökkenés) és így a Kyoto-i egyezmény elvárásainak, az EU egyre markánsabban számszerűsített kívánalmainak is eleget lehet tenni.

Az EU tagországok és az EU-n kívüli fejlett országok egy részénél – a technológiai együttműködés célszerűségén túl – egyfajta „kényszer” is fellelhető. Ennek oka, hogy egyes technológiailag fejlett országok kis szántóföldi termőterületük, csekély biomassza-termelési képességük (pl. Japán), vagy egyéb okok miatt korlátozva vannak olyan fejlődés megvalósításában, mely együtt járna a légkörbe kibocsátott CO₂ emisszió csökkentésével, a Kyoto-i egyezmény elvárásainak a teljesítésével.

2.2.5 Az Európai Unió energia átvételi árstratégiája és támogatási struktúrája

A bioreaktorok üzeme során – mint primer termék – hő- és villamos energia keletkezik. A megújuló energiaforrások felhasználásával termelt villamos áram támogatása az EU-ban megengedett. Formáját és mértékét az EU jog közvetlenül nem szabályozza.

Alapvetően ennek öt formáját tartják nyilván, ezek az alábbiak:

- I. A hálózatba betáplált ("Feed-In") áram ártámogatása:* Ez a változat volt eddig a leghatékonyabb eszköz Európában a megújuló alkalmazása növelésének elérésében. Magyarországon is alkalmazzák. Hátránya, hogy a termelőket nem ösztönzi a költségek csökkentésére. A jövő feladata ennek a megoldásnak olyan módosítása, mely hosszú távon elfogadható piaci eszközként képes biztosítani a megújuló arányának növelését az áramtermelésben. Ez jelenleg még csak körvonalazott cél.

- II. *Forgalomképes zöld certifikátok (bizonyítványok)*: Ez még nem teljesen kialakult rendszer. A megújuló energiából eredő villamos energia értékesítése szokásos áron történik mint a hagyományosé, a szolgáltatókat viszont kötelezik egy bizonyos mennyiségű „zöld” energia megvételére. Ennek hiányában büntetéseket szabhatnak ki a hatóságok, amelyekkel a megújuló energia kutatását, fejlesztését lehet támogatni. Kezdetlegességében rejlik hiányossága: a befektetőknek nem nyújt kellően alacsony kockázatot, mivel a certifikátok piaca még nem teljesen működőképes. Kialakulása több előnnyel is járhat: pl. nemzetközivé teheti a vele való kereskedést, és/vagy átláthatóvá az eredet-garanciát.
- III. *Adókedvezmények a befektetőknek*: Ez kedvező lehet a kis, háztartási léptékű beruházóknak, de nem bátorítja azokat a befektetőket, akik nem lesznek végső tulajdonosai az áramtermelő egységeknek, és így a befektetés idején nem kérhetik az adócsökkentést.
- IV. *Befektetési tőketámogatás*: Ez volt a legkorábban alkalmazott támogatási mód (Magyarországon is alkalmazták), de mára csökkent a vonzereje, mert nem bátorít a költségek csökkentésére. Helyette:
- V. *Tenderezési sémák* alkalmazására tettek kísérletet Nagy-Britanniában és Írországból a verseny bevezetése és a költségcsökkentés érdekében. Az eredmény e téren még várat magára.

A villamos energia árösszetételét az EU néhány országában a 5. melléklet, az EU-25 újonnan csatlakozott tagországokban a támogatási formákat pedig az 6. melléklet tartalmazza.

Az Európai Unióban az alábbi támogatási struktúrák voltak tapasztalhatóak 2005-ben:

- a) Zöld bizonyítvány rendszer működött Belgiumban, Nagy-Britanniában, 2002-ig Olaszországban, 2003-ig Hollandiában is ilyen rendszer működött, de áttértek a kötelező átvételre. Dánia tervezi ilyen rendszer bevezetését, de nemrég elhalasztották az erről szóló törvény elfogadását.
- b) 2005-ben óta egyetlen átvételi árat Görögország és Luxemburg alkalmaz, mint fő támogatási formát.
- c) Differenciált átvételi árak vannak érvényben Ausztriában, jelenleg még Dániában, Franciaországban, Németországban, Portugáliában, Svédországban, illetve Olaszországban és Hollandiában is áttértek erre a megoldásra. Spanyolországban a termelő választhat egy rögzített ár, és a kereskedelmi ár felett fizetett prémium között (ez a gyakoribb).
- d) Pályázatok formájában támogatták a megújuló energiatermelést Írországból.

- e) Adókedvezmények, támogatások vannak érvényben a megújuló energiákra Finnországban.

Itt említeném meg a magyarországi megújuló energiaforrások használatát elősegítő intézkedéseket:

- *Az érvényben lévő feed-in (kötelező „betáplálási”, átvételi ár) rendszer* 2005 óta működik, amikor a 78/2005 rendelet elfogadásra került, az egyes technológiáknak megfelelő tarifák léptek életbe. A díjszabás a berendezés teljes élettartamára érvényesek.
- A 2001/2005-ös módosított villamos energiáról szóló törvénnyel *Zöld tanúsítvány-rendszert* vezettek be. A törvény lehetővé teszi a kormánynak, hogy meghatározza a végrehajtás időpontját, amelytől a feed-in tarifák megszűnnek¹⁸.

Ugyanakkor összességében elmondható, hogy az EU tagországainak mintegy 70%-a nem biztosít megfelelő támogatást a biogáz számára¹⁹. A mezőgazdasági biomasszából előállított biogáztermelés hatékonysága az elemzés szerint

- a bioreaktor technológiai kialakításától,
- az üzemmérettől²⁰ (a nagyobbak hatékonyabbak, míg a kisebbek funkciója leginkább a hulladékok ártalmatlanítására vonatkozik),
- a „járulékos” támogatási rendszertől (pl. ártalmatlanítás, környezetkímő technológia, stb.),
- valamint a földgázhálózat kiépítettségétől (pl. Dániában)²¹

függ leginkább és kevésbé a támogatási rendszertől. Az újabban csatlakozott országok ártámogatási rendszere viszont általában elmarad a nyugat-európai mintától.

¹⁸ A GKM legfeljebb 16% megújuló energia és 18% zöldáram részarányt vár 2020-ig
<http://www.zoldtech.hu/cikkek/20070912-gkm-megujulo-2020>

¹⁹ Európai Közösségek Bizottsága (2005): Bizottsági döntés a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia támogatásáról.

http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_electricity_hu.pdf

²⁰ Az optimális üzemméret minimum egymillió m³ biogázt állít elő (*Bai* 2005)

²¹ Európai Közösségek Bizottsága (2005): Bizottsági döntés a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia támogatásáról.

http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_electricity_hu.pdf

2.3 *Bioreaktorok magyarországi elterjedése és fejlesztési lehetőségei*

2.3.1 **Biomassza potenciál Magyarországon**

Magyarország biomassza termelő képessége rendkívül kedvező, az Európai Unió átlagértékeinél lényegesen magasabb. Fajlagos értékeit tekintve az EU és a világ élvonalába tartozik Magyarország. Ez a potenciális helyzet megteremti a stratégiai jellegű projekt fejlesztések lehetőségét és azok gyakorlati megvalósítását az esetleges fejlődés és szinergiák létrejöttét és megvalósulását, nevezetesen (*Farkasné Csamangó 2006*):

- mérséklődhet a hagyományos energiahordozóktól való energiainport-függőség,
- javulhat a környezet állapota,
- munkahelyek létesülhetnek,
- csökken a mezőgazdasági termékek túlkínálata,
- javul a vidéki lakosság jövedelemszerző képessége,
- mező-, erdőgazdasági és élelmiszeripari hulladékot használ fel
- rendelkezésre állása nagyobb területeken érvényes.²²

A biomassza keletkezés, előállítás, feldolgozás és felhasználás egységesen, de különböző formában input alapanyagait jelentik a bioreaktoroknak.

A biomassza termelésre Magyarországon mintegy 5 millió hektár szántó- és 8,7 millió hektár mezőgazdasági terület áll rendelkezésre. Az egy lakosra vetített szántóföldi terület (0,5 hektár/fő) mintegy 40-50%-kal magasabb az Európai Unió átlagát jelentő fajlagos értékhez képest. Ez a mennyiségi többlet Magyarország számára a nem élelmiszer-piac megalapozását, a bioreaktorok lehetséges létesítésének gyakorlati megvalósítását involválja.

Magyarországon a nem-élelmiszertermelő szektor létrehozása, működtetése komplex technológiai, fejlesztési, projekt-beruházási feladatot jelent és mindezekhez szükséges szolgáltatási „háttér” intézményrendszer kialakítását igényli. E szektor komplex rendszere a vidék- és területfejlesztés céljaival a földrajzi térségek szerint adaptált fejlesztési folyamataival teljes mértékben egybeesik. A program a terület- és vidékfejlesztés stratégiájára, módszerére és eszköz-

²² Hasonló csoportosítás: Megújuló energiahordozó felhasználás helyzete és stratégiai szempontjai. http://hulladeksors.hu/dokumentumok/GKM_megujuloenergiak.doc

rendszerére épülhet, de szakmai vonatkozásban együttműködést igényel és feltételez az agráriummal, környezetvédelemmel, az ipari és gazdasági területekkel.

A nem-élelmiszertermelő mezőgazdasági szektor kialakítása és működtetése teljes összhangot mutat az EU stratégiájával és finanszírozási kereteivel. Ez Magyarország számára e program finanszírozásának biztosítását, „EU rendszerbe” történő illesztését jelenti, ugyanakkor nagy hatékonysággal lehetővé teszi a már működő EU programokban való részvételt, beleértve az EU által biztosított pénzforrások felhasználását is. A fajlagos mennyiségi többleteken túl jelentős az a minőségi háttér, mely a biomassa előállítás objektív alapjait és a világ élvonalába tartozó termelési színvonalát biztosítja. A talaj termékenységére alapján Magyarország talajai a nemzetközi élvonalba tartoznak.

A biomassa potenciált, a talaj termőképességét és eltartó-képességét térszerkezeti változékonyságán túl a vízgazdálkodási tulajdonságok és adottságok, klimatikus viszonyok, s összefoglalóan az ökológiai adottságok határozzák meg. Mindezek együttesen (a technológiai lehetőségek és az emberi tapasztalatok) biztosítják Magyarország kedvező biomassa potenciálját.

A szakirodalomban időről-időre változó biomassa potenciál értékekkel találkozhatunk. Az összes szervesanyag tömege Magyarországon cca. 350-360 millió tonnát tesz ki, amelyből évente 105-110 millió tonna (tehát majd 30 %) újratermelődik. A legnagyobb biomassa-termelő a mezőgazdaság, amely cca.50-60 millió tonna szerves anyagot állít elő évente. Az energetikai célra hasznosított biomassa 2006-ban mintegy 1,8 millió tonna volt. Egyes becslések szerint ez a potenciál 30%-os mértékű kihasználása lehetővé tenné, hogy 2015-re a hazai energiaigény 5-9%-át biomassa felhasználásából állítsák elő (*Grabner* 2006).

Magyarország vízgazdálkodási adottságai, tulajdonságai kedvezőek, a mezőgazdasági termékek energetikai hasznosítására jó alapot teremtenek. Az ország 24 befolyó és három kifolyó víz rendszer-dinamikájában biztosítja a biomassa termelés vízigényét. Az előzőekben felsorolt, a biomassa potenciált befolyásoló összes tényező, egyben az ország – a biomassa termelését tekintve – kedvező adottságait is érzékelteti. Ezek elsősorban a növénytermesztés és erdőszetre gyakorolt hatásaikban mutatkoznak meg, de közvetett hatásuk az állattenyésztésben és a szervesanyag-termék feldolgozásban is érzékelhető. Magyarország klimatikus viszonyainak változását Péter Béla szabadalma alapján feldolgozott összeállítás mutatja be. Ez felhívja a figyelmet a klimatikus viszonyok térszerkezeti változására, s mindezeknek az adott növény

termesztése szempontjából megvalósuló minősítésére (7. melléklet), valamint egy meghatározott ökológiai pontérték alapján számított mutató a biomassza potenciál és a termelés mennyiségének, térszerkezeti alakulásának a meghatározására (8. és 9. melléklet). Az előállított összes biomassza mennyiség, mint a megújuló energiatermelés egyik alapja, energiataralommal, energia mennyiséggel mérhető.

2.3.2 Magyarország térszerkezete a biomassza- és a biogáz termelés szempontjából

A biomassza termelése, feldolgozása és felhasználása a bioreaktorok tervezése, működtetése és a beruházások megvalósítása alapkérdésének tekinthető. E kérdések tisztázásához elengedhetetlen egy célirányos áttekintés a mezőgazdaságról és a vidékről, fő jellemzőikről, sajátosságairól, illetve strukturális kérdéseiről. Továbbá figyelembe kell venni, hogy a magyar mezőgazdaság fajlagos mutatóinak trendje az utóbbi időszakban – negatívak, értékei mind mennyiségi, mind minőségi vonatkozásban romlottak. A vidék és a mezőgazdaság fejlesztésére, átalakítására az utóbbi tizenhét évben alkalmazott módszerek, eljárások nem vezettek megnyugtató, tartós eredményre.

Alapvető változásokra van szükség; olyanokra, amelyek építenek a mezőgazdaság eddig ki nem használt képességeire. Megoldásaik – gyakorlatban megvalósított – projekteknél testesülnek meg, növelve a termelés – feldolgozás – kereskedelem hatékonyságát, a vidéki élet színvonalát. E változások irányát, rendszerét, módját és eljárásait egyfelől a vidék gondjai, másfelől pedig az Európai Unió e területre eső pénzügyileg is támogatott stratégiái és programjai határozzák meg.

A magyar mezőgazdaság élelmiszeripari teljesítményei – az egyébként is kívánatos műszaki-technológiai fejlesztések és szolgáltatások rendszerszerű biztosításával – néhány év alatt nagy biztonsággal növelhetők, amelyek értéke elérhetik a 30-40%-ot is²³. E fejlesztés problémáját és feszültségét egyfelől az EU már jelenleg túltelített élelmiszerpiaca jelenti, másfelől pedig a vidék és a mezőgazdaság termelési – feldolgozási képességeinek kihasználása vagy annak elmulasztása adja. Úgy kell tehát a magyar mezőgazdaság termelését, hatékonyságát fejlesz-

²³ Központi Statisztikai Hivatal: Bruttó Nemzeti Termék 2006 II. (Előzetes adatok).
<http://portal.ksh.hu/pls/ksh/docs/hun/xftp/idoszaki/gdpev/gdpevelo06.pdf>

nünk, hogy az az EU élelmiszerpiaci feszültségeit csökkentse. Ugyanakkor az élelmiszertermelést szabályozó EU kvóták jelentősen alatta maradnak a magyar mezőgazdaság teljesítőképességének. A mezőgazdaság szerkezetátalakítása célszerű és szükségszerű úgy, hogy az a magyar vidék kívánatos fejlődését segítse. Ennek két egymást kölcsönösen feltételező és szervesen összefüggő része van; a hagyományos élelmiszertermelő és az újonnan kialakítandó nem-élelmiszertermelő mezőgazdasági szektor (*nonfood sector*).

Különböző elemzések – többnyire egybehangzó – eredménye, hogy a nem-élelmiszertermelő szektor termelési alapanyagainak (biomassza) termőterülete mintegy 500 ezer hektár nagyságúra tervezhető hazánkban (szántóterületeink 10 %-a). A termőterületek nagyságánál a jelentősége lényegesen nagyobb. A termőterületek földrajzi-térségi elhelyezkedése az ország valamennyi (a 244/2003 (XII.8.) sz. Kormányrendelet eredményeképpen kibővítve²⁴: 168 db) statisztikai kistérségét átfogják (Sági 1998). A megtermelt biomassa alapanyag értéke 120-180 milliárd forint, a feldolgozott termék/érték pedig 700-950 milliárd forint nagyságrendű (1997-es árszínvonalat tekintve).

A nem-élelmiszertermelő szektor termékeivel létrehozott belső piac biztonságát a mezőgazdaság évente ismétlődő, jól tervezhető szükségletei jelentik. A nem-élelmiszertermelő szektor többleteit az előállított biomassa alapanyag biztonságos feldolgozóipari átvétele és a feldolgozás utáni végtermékek alapanyag-termelésben történő hasznosítása eredményezi. A lényeges összefüggések jól mutatják, hogy a nem-élelmiszertermelő szektor fejlesztése (infrastruktúra, technológia, feldolgozóipar) az élelmiszertermelő szektor innovációját is szolgálja. A nem-élelmiszertermelő szektor kialakítása igényli, és egyben feltételezi a kutatás-fejlesztési, képzési, tanácsadási, marketing, informatikai, minőségbiztosítási, logisztikai centrumok regionális szintű – adaptált – kialakítását és működtetését.

²⁴ Országos Területfejlesztési Hivatal honlapja: <http://www.oth.gov.hu/kistersegek.php>

2.3.3 Energiaigények alakulása

A 7. táblázat Magyarország összenergia és villamos energia felhasználásának szerkezetét mutatja be 1980 és 2000 közötti időszakban. A rendszerváltást követő gazdasági visszaesés az energiaszektorra is kihatott, illetve a csökkenő termelés kisebb mértékű energiafelhasználást eredményezett.

7. táblázat: Az energiaigények alakulása Magyarországon (Pylon Kft.)

	1980	1987	1990	1994	1996	1998	2000
Összenergia felhasználás (TWh/év)	350	376,6	345,5	289,4	300	292,2	293,3
Átlagos évi növekedési ütem (%/év)	-	1,1	-2,8	-1,5	1,2	-0,1	0,4
Villamos energia felhasználás (TWh/év)	31,2	40,3	39,5	35,5	37,0	37,6	37,9
Átlagos évi növekedési ütem (%/év)	-	4,2	-0,7	0,7	1,5	0,9	0,9

Az országos energiafelhasználás térszerkezeti változását az 1997. évi ténytűzámok alapján meg lehet állapítani. Budapest energiafelhasználása 50-100 TWh/év értékhatárok között változik, Pest megye energiafelhasználása 75-100 TWh/év értéket ér el, ezt követi a Közép-Dunántúli régió és Heves megye 20-50 TWh/év közötti energiafelhasználása. Borsod-Abaúj-Zemplén megye igénye Pest megyével azonos nagyságrendű energiafelhasználást mutat (*Sinóros-Szabó et al.* 2005).

Amint azt a 3. ábra esetében már láthattuk, Magyarország megyéire és régióira is elmondható a következő: minél fejlettebb egy megye/régió, annál nagyobb az egy főre jutó átlagos energiafogyasztás. Az 1994-ben az egy főre jutó GDP megyénkénti alakulását a 10. melléklet szemlélteti.

A hagyományos energiahordozók térszerkezeti alakulása egy ország energia-adottságainak a jellemzésénél mértékadó szempontnak tekinthető, amelynek alakulását hazánkban a 11. melléklet mutatja be. A hagyományos energiahordozók tekintetében nem csak a jelenleg feltárt és működő forrásokat, de ezek tervezett további bővítésének területi elhelyezkedését is bemutatja a melléklet. Amint az látható Magyarország energia-ellátottsága és -felhasználása az 1996-ban elfogadott területfejlesztési törvény térszerkezeti tagozódása szerint (régió, megye, kistérség) változatos képet mutat.

Az EU 2007. márciusi stratégiai elképzelései szerint 2020-ig az összes megújuló energiaforrásnak 20%-os részarányt, a bioüzemanyagok részarányának pedig 10%-ot kell elérnie (Vidal 2006). Ugyanakkor itt kell megjegyezni, hogy ezek a normatívák az időben igencsak változnak. Így pl. az 1997-ben a 2010-es évre a megújuló energiatermelés előirányzott 12 % részaránya úgy tűnik, hogy nem fog megvalósulni a legtöbb tagországban (a 10%-os érték körüli prognosztizálható)²⁵.

A gazdasági tárca 2007. nyarán elkészített „Magyarország megújuló energiaforrás felhasználás növelésének stratégiája 2007-2020” c. dokumentuma szerint a Magyarország energiastruktúrája az EU többi országához viszonyítva kedvezőtlen helyzetben van²⁶: bár csökkent az 1990-2004 évek átlagához viszonyított átlagos energiafelhasználás, de – a „nukleáris tüzelőanyagot” is magába foglaló – energiainport mértéke meghaladta a 70%-ot. Az anyag szerint továbbá hosszútávon is fenn kell tartani a megújuló energiák támogatását a fosszilis-megújuló energiák előállítási költségszínvonalának különbsége miatt. Jelenleg két EU prioritás támogat magyar energetikai célú projektet a Környezeti és Energia Operatív Program büdzséből: a „Megújuló energiaforrás-felhasználás növelése” prioritási tengely céljaira a teljes keret 5,15%-a, az energiatakarékosság ösztönzését célzó "Hatékony energiafelhasználás" prioritási tengely céljaira pedig 1,58%-a áll rendelkezésre²⁷.

A megújuló energiák előállítására szolgáló projektek beruházásainak támogatásán túl megszülettek azok a törvények és rendelkezések, melyek a projektek nyereségtermelő képességét biztosítják. Ezek közül kiemelendő a biodízel és a bioetanol jövedéki adókötelezettségét mentesítő rendelkezések, valamint a biomasszából előállított villamos energia a szolgáltató által biztosított átvételi kötelezettsége. Mindezeket az Európai Unió gyakorlatát, törvényi rendelkezéseit figyelembe véve Magyarország átvette és jogszabályba iktatta. A 2008-ban életbe lépett hazai szabályozás a villamos energiatermelés az 50 MW felett termelő létesítményeknél versenypiaci szabályozás szerint működik.

Néhány az EU területén működő biogáztermelő üzem főbb adatait a 12. melléklet ismerteti.

²⁵ Magyar Köztársaság Kormánya: Környezet és Energia Program 2007-2013.
http://www.kvvm.hu/cimg/documents/KEOP_070628_Hu.pdf

²⁶ http://www.eonenergiakereskedo.com/hireink_EON_sajto_2007_97.php

²⁷ GKM: Magyarország megújuló energiaforrás-felhasználás növelésének stratégiája 2007-2020.
http://www.gkm.gov.hu/data/cms1358659/megujulo_strategia_tars_egyeztetes.pdf

A megújuló energiahordozókból előállított villamos energia (369 GWh) részaránya Magyarországon a villamosenergia-felhasználáson belül 2003. évi szinten 0,7%²⁸ volt, ami az erőművek faapríték-tüzelésre történő átállása, szélerőművek létesítése következtében jelentősen, 2004-re 2,1%-ra nőtt. 2010-ig ennek a részarányának 3,6%-ra kell legalább emelkednie, ilyen mértékű növelésre tett vállalást hazánk az EU felé (Halmai 2007).

„Magyarország biogáz-potenciál becslése meglehetősen bizonytalan, hiszen a rendelkezésre álló biomassza-tömeg és a fajlagos földgázhozam adatai erősen szórnak”(Büki 2007). Ha figyelembe vesszük, hogy a biomassza anyagától függően a fajlagos biogáz-hozam 100-400m³/nap, fűtőértéke 17-25 MJ/nm³, a földgázé pedig 34 MJ/nm³, akkor a biogáz egyenértékű fajlagos földgázhozama:
$$\sigma_{fg} = \frac{17 \div 25 \text{ MJ} / \text{nm}^3}{34 \text{ MJ} / \text{nm}^3} \cdot 100 \div 400 \text{ m}^3 / \text{t} = 50 \div 300 \text{ m}^3 / \text{t}.$$

Magyarországon mintegy 50 millió tonnára becsült állati eredetű és települési hulladékból évente mintegy 2,5 milliárd m³ földgáz lenne kiváltható – az optimális becslések szerint (Büki 2007).

A megújuló energiahordozó-felhasználás előnyeit szem előtt tartva energiapolitikai célkitűzésé kell, hogy váljon a 2010-re esedékes 3,6 %-os részarány jelentős növelése, esetleg megduplázása. Tudomásul kell azonban venni, hogy a megújuló energiahordozók önmagukban nem versenyképesek a hagyományos energiahordozókkal szemben. Elterjedésük függvénye annak, hogy milyen mértékű állami támogatást biztosítunk a folyamathoz. Ezt a tényt a villamos energia jogi szabályozása is tükrözi, ezért alkalmaznak a megújuló energiából termelt villamos energiánál kötelező átvételt, valamint az egyéb energiákhoz képest lényegesen kedvezőbb átvételi árakat, továbbá ezért került be a törvénybe a „zöld bizonyítvány” rendszer kialakítása.

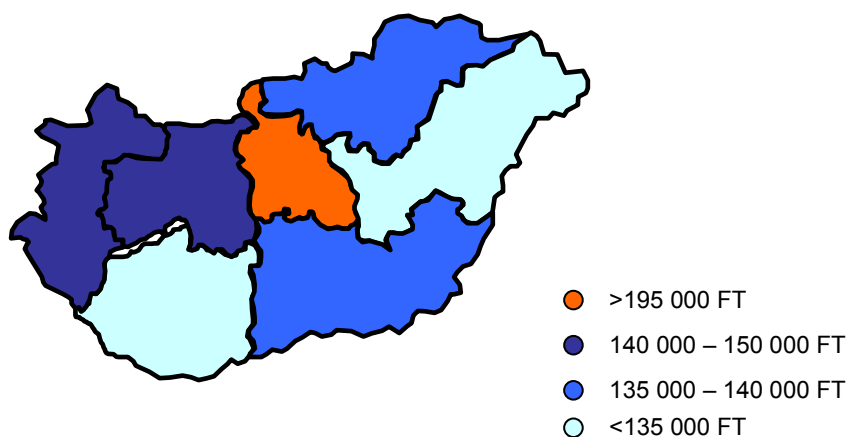
Előzetes becslések szerint ahhoz, hogy a részarány 7,2% körülire növekedéséhez jelentős nemzeti beruházás szükséges, és ahhoz, hogy ez a nagy program vállalkozói alapon megvalósulhasson, a beruházásokhoz jelentős állami támogatást szükséges biztosítani. Tudomásul kell azonban venni, hogy a növelés számos előnnyel is jár, valamint elvárásként jelentkezik az EU részéről. Fontos azt is szem előtt tartani, hogy jelentős állami támogatás mellett is fenn kell tartani a kötelező átvétel, a kedvező átvételi ár és a jövőben a „zöld bizonyítvány” intézkedése-

²⁸ Magyarországon 2003. évi szinten a hulladékégetés figyelembevétele nélkül 0,7% a villamosenergia-felhasználásban a megújuló energiahordozókkal előállított villamos energia részaránya, de a tájékoztató feltételezi, hogy 2010-ig bevezetésre kerül a szelektív hulladékgyűjtés és égetés rendszere, ezért gyakran a hulladékégetést is figyelembe vevő 0,9%-os részarány szerepel.

it, valamint további jelentős költségek szükségesek a megnövekvő tartalék-kapacitások, valamint a rendszerszabályozás területén.

2.3.4 Szociális problémák

A biogáztermelő üzemek – bioreaktorok – gazdaságosságát nagymértékben befolyásolja egy adott térségre vonatkoztatott jellemzői, nevezetesen: gazdasági mutatók, terület- és vidékfejlesztési irányelvek, politikai döntések vagy statisztikai viszonyszámok. Ilyen többek között egy térség gazdasági fejlettségére vonatkozó indexek (6. ábra) (Kolhéb *et al.* 2006), amely megmutatja, hogy hogyan alakul az energiaellátottság színvonala (13. melléklet), a munkanélküliség (14. melléklet) és az átlagos kistérségi szintű komplex fejlettség (15. melléklet). Mindezek azt mutatják, hogy a biogáztermelés stratégiai funkciót tölthet be a hátrányos helyzetű kistérségek életében.

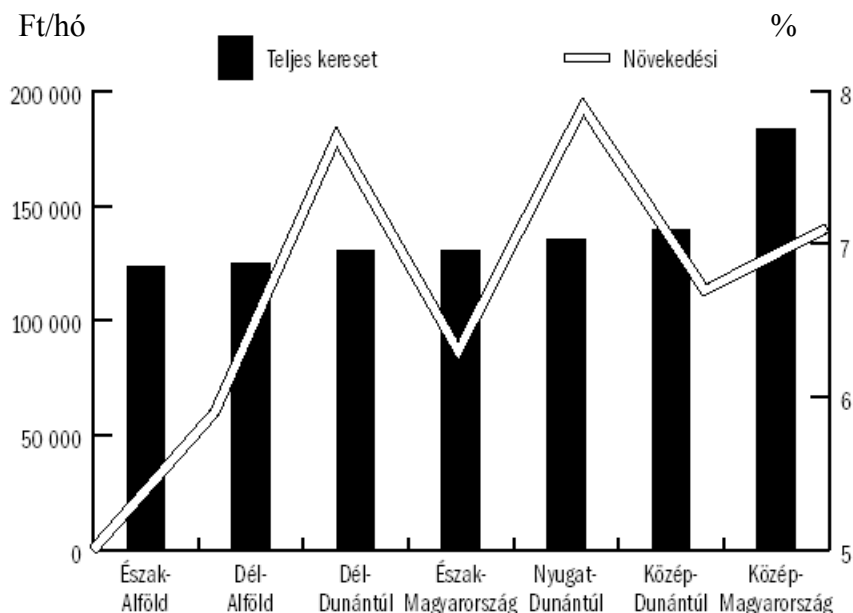


6. ábra: Átlagos havi bruttó jövedelmek alakulása régióként 2005-ben

(Kolhéb *et al.* 2006)

Magyarországon a vidék megőrzése pillanatnyilag is fontos feladatok egyike. A vidéki kisebb városokból, de leginkább falvakból jelentős számú ember költözött nagyobb városokba – leginkább a fővárosba és vonzáskörzetébe. Tehát egyfelől tapasztalható a vidék/falvak lakosságának folyamatos csökkenése, másfelől viszont egy másik migrációval kapcsolatos probléma kerül előtérbe. A 7. ábra szerint nemcsak a keresetekben van különbség, hanem a növekedési

ütemekben is. A 2004-ben írt tanulmány²⁹ szerint viszont a belső migráció regionális szinten nem annyira jellemző Magyarországon. Vagyis nem akkora mértékű a kedvezőtlen régiók lakosságának (Kelet-Magyarország) fejlettebb régiókba történő vándorlása, mint az pl. Nyugat-Európában.



7.ábra: Keresetek és azok növekedési üteme százalékban 2004-ben
(Horváth et al 2004)

Ez a viszonylagos stabilitás a régió munkanélküliségének növekedéséhez, összességében a különbség „bebetonozódásához”, további növekedéséhez vezet. (A régiókon belüli költözésekről nem tesz említést). A kis mértékű belső migráció főleg az elvándorlás magas költségeivel és a lakásbérlések alacsony hazai színvonalával indokolható.

2.3.5 A nyírbátori bioreaktor

Magyarország első nagyméretű biogázüzemét Nyírbátorban építették fel. A projekt állati trágyát, baromfi és más vágóhídi hulladékot, állati tetemeket, glicerint, egyéb szerves anyagokat, zöld biomasszát dolgoz fel, s alakít elektromos energiává. A villamos energián kívül keletkező hőenergia a csirkevágóhídon, a hűtőtárolóban, az állati tetemek fermentáció előkészítésénél, valamint a fermentációs hőmérséklet biztosításánál kerül hasznosításra. A mintegy 100 ezer

²⁹ Megújuló energiahordozó felhasználás helyzete és stratégiai szempontjai.
http://hulladeksors.hu/dokumentumok/GKM_megujuloenergiak.doc

tonna biomasszát évente feldolgozó üzem (8. ábra) már a 2003. évi kísérleti üzem során is jól „vizsgázott”, az évi elektromos áram termelése akkor mintegy 7 GWh teljesítményt tett ki. (Mára ez az érték 15 GWh fölé emelkedett)



8. ábra Bioreaktor Nyírbátorban (forrás: Bátor-Trade Kft.)

Méreteit tekintve a projekt a világ és Európa egyik legnagyobb projektének tekinthető, s mintaprojektként (pilot-projekt) mind Magyarország, mind pedig a Közép-Kelet Európai térség számára figyelembe veendő.

E rendszer megvalósításának további biztonságát jelenti, hogy Magyarország biomassza termelő potenciálja különlegesen jó háttérrel teremt egy országos bioreaktor rendszer kialakítására és működtetésére. Az országos rendszer bázisán lehet megfogalmazni, célként megjelölni, az Európai Unióhoz újonnan csatlakozott Közép-Kelet Európai országokban és a térség további országaiban a bioreaktor hálózat kiépítését (know-how, projekt beruházás) és működtetését.

2.4 A biogáz termelés mikrobiológiai rendszere

2.4.1 Mikrobiológiai alapok

A biogáz előállítását a metánbaktériumok végzik. A metánbaktériumok különböző fajtáit különböztetjük meg (8. táblázat), úgy mint:

8. táblázat: A metántermelést végző mikróbák és tápanyagaik (Tamás 1998)

Típus	Megnevezés	A baktériumfajta tápanyaga
Pálcika alakú sejtek	Methanobacterium formicium	hangyasav, CO ₂ , H ₂
	Methanobacterium propionicum	propionsav
	Methanobacterium soehngeni	ecetsav, vajsav
Spóráképzők (metanobacilus)	Methanobacillus amoelisalskii	elsődleges és másodlagos alkoholok és H ₂
Gömb alakú sejtek (metanococcus)	Methanococcus mazei	ecetsav, vajsav
	Methanococcus vannielii	hangyasav, H ₂
	Methanococcus barkeri	metanol, ecetsav, CO ₂ , H ₂
	Methanococcus metanica	ecetsav, vajsav

A fenti megnevezés után a baktériumfajta tápanyagai találhatóak. A metánbaktériumok fellelhetők a természeti környezetben is így például a mocsarakban, a tengerek mélyén és a bélrendszerben, kiváltképpen a kórözdőknél (Kaltwasser 1983).

A tápanyagok felhasználása mellett csoportosíthatjuk a baktériumokat azon hőmérséklettartományok szerint, amelyekben a baktériumok a legerőteljesebben fejtik ki életműködésüket. Így megkülönböztethetünk:

- 20 °C vagy annál alacsonyabb hőmérsékleti zónát kedvelő – ún. *pszikrofil* vagy más néven *kriofil* – baktériumokat,
- a 25 – 35 °C hőmérsékleti zónát kedvelő – ún. *mezofil* – baktériumokat,
- a 45 °C vagy annál magasabb (55-60 °C) hőmérsékleti zónát kedvelő – ún. *termofil* – baktériumokat.

Az elnevezések ógörög eredetűek. Az előtagok jelentése: *thermos* - meleg, a *mesos* – közép, *psychos* – hideg. Mindhárom esetben a *-phil* utótag jelentése: szerető, kedvelő. Gyakran a három hőmérséklet tartomány megnevezését nemcsak a baktériumok azonosítására, hanem maga a technológiára is alkalmazzák, így pl. mezofil, termofil eljárásról beszélhetünk.

A biogáz termelés négy fázisra bontható. Ezek a szakaszok nem választhatók el szervesen egymástól, az egyes fázisok időben (és térben) egymással részben párhuzamosan zajlanak le. Ez a négy fázis a következő:

1. fázis: A *hidrolízis* során a betáplálást követően fakultatív anaerob baktériumok lebontják a makromolekuláris szerves anyagokat (pl. egyszerű cukor, aminosav, zsírsav és víz).
2. fázis: savképző baktériumok végzik a további bontási folyamatokat; szerves savak, széndioxid, hidrogén és aminosavak képződnek. Ez a *savanyítás* szakasza.
3. fázis: az ecetsav baktériumok az *ecetsav képzés* során acetátot, széndioxidot és hidrogént állítanak elő.
4. fázis: a *metánképződésben* a metánbaktériumok hatására keletkező anyagok a metán, széndioxid, víz.

Egyes szakirodalmak (pl. Bai 2005) a 2. és a 3. fázist összevonják, és savképződés fázisának nevezik. A legtöbb szerves molekula egymással láncszerűen kapcsolódó, ismétlődő egységből épül fel. Ezek a molekulák nem, vagy csak nagyon kis sebességgel képesek átdiffundálni a baktériumok sejtfalán. Ezért először a hosszú láncok feldarabolása a feltétele a fermentációnak. Ezt az ún. *hidrolizáló* baktériumok – sejtfalon kívül működő - ektoenzimjei végzik. Az így előkészített „tápanyag-egységek” már át tudnak diffundálni a sejtfalon és hasznosíthatóvá válnak.

A hidrolízis fázis után az egyes növényalkotók a következő anyagokra bomlanak le (9. táblázat):

9. táblázat: A metántermelés hidrolízises fázisának végtermékei (Olessák et al. 1984)

Alkotó	Hidrolízis
Zsírok	Zsírsavak, glicerin
Fehérjék	Tri- és dipeptidek
Szénhidrátok	Mono- és diszaharidok

A hidrolizáló baktériumok a saját létfenntartásuk mellett tápanyagot szolgáltatnak más baktériumok számára is. A második fázis során a hidrolizáló baktériumok enzimeivel felbontott – és az általuk fel nem használt – hosszú polimer láncokat a savképző baktériumok táplálékként hasznosítják. A fakultatív anaerob baktériumok hasznosítják legelőször az iszapban oldott oxigént, megteremtve az anaerob metánbaktériumok számára elengedhetetlen anaerob életkörü-

ményeket. A savképző baktériumok a hidrolízis során keletkezett molekuláris kötéseket megtámadják és alacsonyabb moláris tömegű egységekre bontják. A fermentálható anyag pH értéke 7,0 alá süllyed, ezért ezt a fázist savképződésnek, illetve savanyításnak nevezik.

A savképző baktériumok a tápanyag kémhatását csökkentik, gyakran a pH érték 4-5 értékre is lecsökken. E savas kémhatás mellett a metántermelő baktériumok működése lelassul (kivéve a metanolból közvetlenül metánt előállító baktériumokat). Ugyanakkor fordítva is igaz, hogy az acetogén baktériumok elpusztulnak, ha a termelt „salakanyagaikat” (az acetátot és a hidrogént) nem fogyasztják el a metanogének (Bai 2005). Tehát látható, hogy a sav- és a metánképző baktériumok közötti kapcsolat nem csak „szinergikus”, hanem – mivel egymással megosztják a táplálékot – ún. szintropikus is.

Szintén a savképző baktériumok gondoskodnak az általuk kiválasztott enzimekkel, hogy a metánbaktériumok számára olyan fontos ammóniumsók jelen legyenek a rothasztás során, mivel ezek sók jelentik a metánbaktériumok számára az egyetlen hasznosítható nitrogénforrást. A második fázis során keletkező anyagok (10. táblázat):

10. táblázat: A metántermelés második fázisa során keletkezett anyagok (Kaltwasser 1983; Schultz et al. 2005)

Kiindulási anyag	1. fázis – Hidrolízis	2. fázis – Savanyítás
Zsírok	Zsírsavak, glicerín	Alkoholok, savak, széndioxid, hidrogén
Fehérjék	Tri- és dipeptidek	Aminosavak, zsírsavak, ammónia, széndioxid, hidrogén
Szénhidrátok	Mono- és diszaharidok	Alkoholok, zsírsavak, széndioxid, hidrogén

A savképző baktériumok anyagcsere folyamatai révén keletkezett vegyületeket kizárólag a metánbaktériumok képesek hasznosítani, ezért a mikrobiális metántermeléshez nélkülözhetetlenek. Általában mocsarakban, kérődzők gyomrában, ürülékben és vizeletben fordulnak elő nagy számmal, ezért érdemes a recepturát úgy összeállítani, hogy az tartalmazzon állati eredetű trágyát is. Az enzimatis hidrolízis és a savképződés gyakran egymástól nem határolható el ténylegesen. Elképzelhető, hogy egyes esetekben kimarad a hidrolízis folyamata illetve a két folyamat egyidejűleg megy végbe.

Az ecetsavképzés során ecetsav széndioxid és hidrogén képződik a savképzők anyagcsere termékeiből. Ez lényegében zsírsavakat hasznosító szénhidrátokból, szerves zsírokból és fehérjékből áll. A metánbaktériumok számára kétséges a rothasztás kezdeti savas szakaszának a

túlélése, ezért gondoskodni kell arról, hogy a metánbaktériumok mindig megfelelő mennyiségben álljanak rendelkezésre. Így a fakultatív anaerob baktériumok által termelt savakat, bomlás-és anyagcsere termékeket folyamatosan fel tudják dolgozni (*Kaltwasser* 1983).

A második fázis során keletkezett hidrogént a metánbaktériumok közvetlenül a savképző baktériumoktól veszik át, nem pedig a folyékony halmazállapotú rothasztandó anyagban – buborékokban – szállítódik. Ez a hidrogénátadás is jól példázza, hogy a klasszikus mikrobiológiai megközelítéssel csak korlátozottan lehetséges tárgyalni a biogáztermelés mikrobiológiai folyamatait. Ezen közösségek szinergikus kölcsönhatásának a megismerése jelenleg is tart; kutatások alapját képezik. A folyamat során a „szűk keresztmetszetet” a metánbaktériumok – mint a leglassabban szaporodó baktériumok - fejlődése jelenti, ezért a hidrogén koncentráció értékének befolyásolásával lehet beavatkozni a folyamatok mikrobiológiai szabályozásába (*Bai* 2005; *Tőzsér et al.* 2007).

A metánbaktériumok lassú szaporodásának elméleti magyarázatát a 0,15 – 0,5 közötti effektív sejtgyarapítási tényező szolgáltatja szemben az aerob 0,5 értékkel. Ezek szerint a metánbaktériumok csak a rendelkezésükre álló energia 15-50 %-át használják fel szaporodásuk céljából (*Olessák et al.* 1984).

Az utolsó fázis során keletkező anyagok (11. táblázat):

11. táblázat: A metántermelés során keletkezett közbelső- és végtermékek (*Olessák et al.*1984; *Bai* 2005)

Kiindulási anyag	1. Hidrolízis	2. Savanyítás	(3. ecetsav képzés)	4. Metánképzés
Zsírok	Zsírsavak, glicerín	Alkoholok, savak, széndioxid, hidrogén	Ecetsav, széndioxid, hidrogén	Metán, széndioxid
Fehérjék	Tri- és dipeptidok	Aminosavak, zsírsavak, ammónia, széndioxid, hidrogén		Metán, széndioxid
Szénhidrátok	Mono- és diszaharidok	Alkoholok, zsírsavak, széndioxid, hidrogén		Metán, széndioxid, ammónia

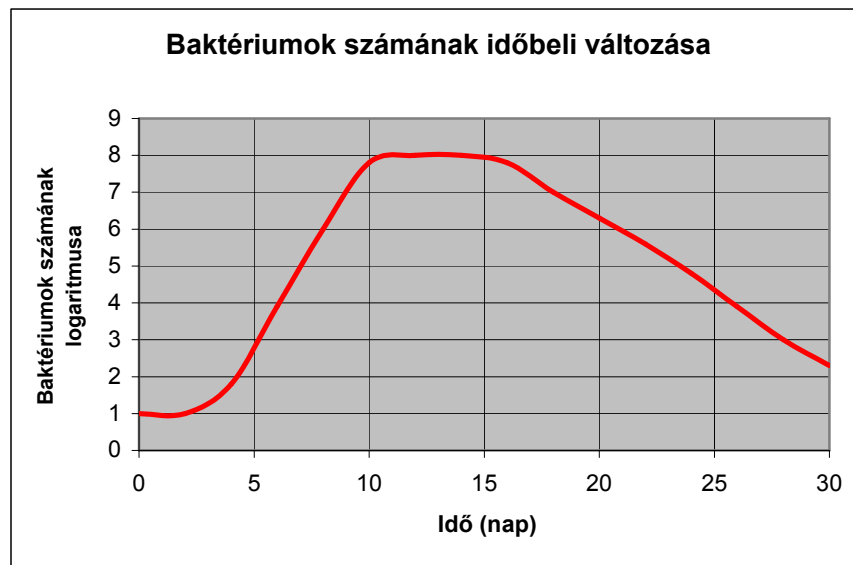
2.4.2 A metánképződést befolyásoló mikrobiológiai folyamatok

A baktériumsejt élete során az alábbi fejlődési szakaszokon megy keresztül:

- megduzzadás vízfelvétel révén

- fejlődés és növekedés
- kifejlődött sejtek osztódása

A sejtosztódás a rendelkezésre álló táptalajtól függ. A baktériumok számának az időbeli alakulását a 9. ábra ismerteti (Kaltwasser 1983):



9. ábra: A baktériumok szaporodása az idő függvényében

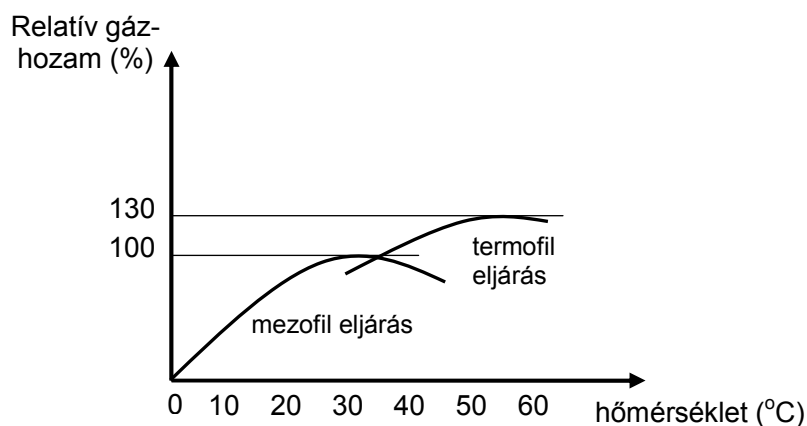
Az ábra jól szemlélteti, hogy ha adott – időben kissé csökkenő - mennyiségű táptalajon el kell telnie egy kis időnek (az előző esetben 2-3 nap), hogy a mikróbák a kellő nagyságot elérve osztódni tudjanak. Ezután a növekedés (a baktériumok számát tekintve) megindul először kisebb, majd nagyobb sebességgel. A populáció számának növekedése egy bizonyos idő alatt (a grafikonon 10-11 nap alatt) eléri a maximumot, majd a tápanyagmennyiség csökkenése és a mérgező anyagcseretermékek felhalmozódása következtében több baktérium pusztul el, mint amennyi keletkezik.

Metabolizmusnak nevezik azon anyagcsere tevékenységek összességét, amelyek a baktériumok létezéséhez szükséges biokémiai folyamatokat foglalják magukba. Az új sejtek felépítéséhez szükséges folyamatok az anabolizmus, az életműködésük fenntartásához szükséges folyamatok pedig az ún. katabolizmus formájában megy végbe. A tápanyagok felvétele és az anyagcseretermékek kibocsátása a sejtmembránon keresztül ozmotikus folyamaton alapul. A biogáz termelés során nem lehet egy adott pontot kiválasztani, hanem sokkal inkább egy intervallumon való működést kell megvalósítani.

Mivel a biogáztermelés legtöbbször valamilyen konkrét gazdasági haszonnal párosul, ezért szükséges a biogáztermelés folyamatos monitoringja és kontrollingja. A biogáz metánkoncentrációja, a lebontás ideje azok a fontosabb paraméterek, amelyekre elsősorban hatni akarunk. Amik befolyásolják ezeket a kimeneti (output) jellemzőket: a hőmérséklet, a szárazanyag-tartalom, a szén-nitrogén arány, a kémhatás és a metánbaktériumok aktiválódásának ideje.

Hőmérséklet

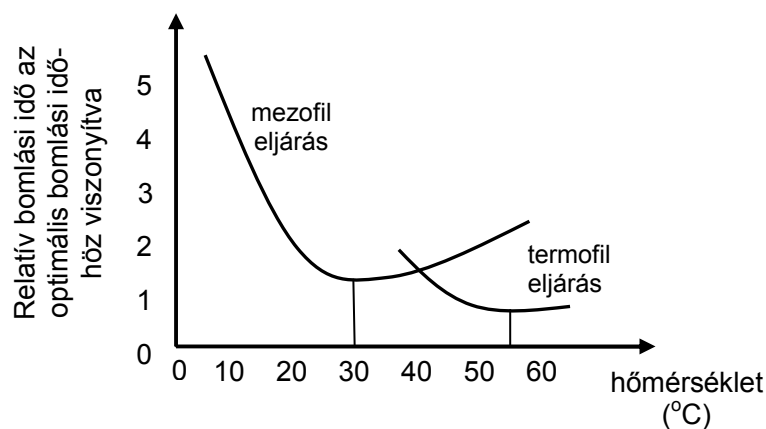
A hőmérséklet jelentősen befolyásolja a folyamatokat. Attól függően, hogy milyen baktériumok vesznek részt a metántermelésben úgy beszélhetünk mezofil és termofil eljárásról. A 10. ábra a két folyamat relatív gázhozamát szemlélteti az optimális mezofil eljáráshoz viszonyítva a hőmérséklet függvényében.



10. ábra: A hőmérséklet hatása az elérhető gázhozamra az optimális hőmérséklethez képest (Kaltwasser 1983)

A mezofil folyamat maximális gázhozama 30-35 °C-on, a termofil folyamat 50-60 °C-on mutatható ki. Ugyancsak a hőmérséklet befolyását szemlélteti a 11. ábra, miszerint a maximális gázhozamhoz tartozó hőmérsékleten nemcsak a gázhozam kedvező, hanem a rothasztási idő is minimális. Továbbá a megállapítható, hogy a termofil eljárás során kisebb a bomlási idő, mint a mezofil eljárás alkalmazása esetén; ezzel magyarázható a mezofil eljárásokhoz nagyobb tartályok építése, mivel hosszabb ideig kell ugyanazt az inputanyagot tárolnunk, mint a magasabb hőmérsékleti tartományú eljárás során (Kissné dr. Quallich 1983). Mind a 13. és a 14. ábrán megfigyelhető a görbék átfedése. Lényegében ezekben az esetekben bekövetkezik a baktérium

törzsek „átalakulása”, vagyis hőmérséklet növelése esetén a mezofil baktériumok fokozatosan kezdik átadni a helyüket a termofil baktériumtörzsek részére.



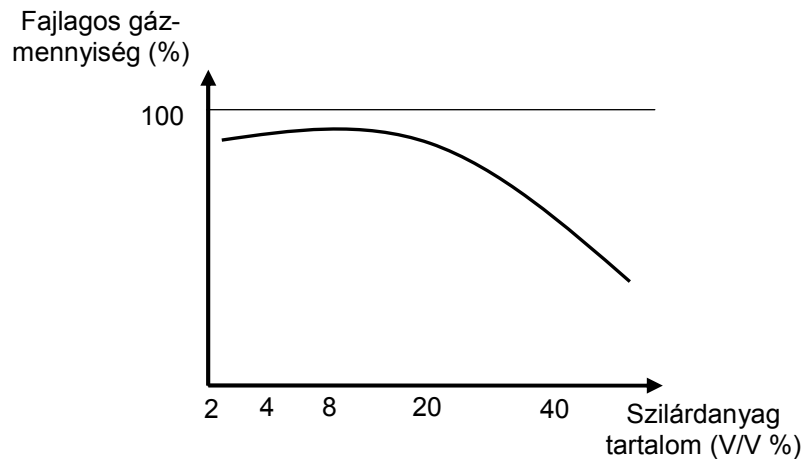
11. ábra: A hőmérséklet hatása a rothasztási időre az optimális rothasztási időhöz viszonyítva (Kaltwasser 1983)

Az ismertett hőmérséklet tartományok nem állnak be önállóan, adott földrajzi hely klímaviszonyaitól függően melegítés (hőközlés) szükséges lehet. A maximális gázhozam csak a meghatározott hőmérséklet állandó értéken tartásával érhető el. Az anaerob fermentáció szélső értékeit 5 – 66 °C hőmérsékleti értékek között szokták megjelölni (Olessák et al. 1984).

A termofil folyamat rövidebb idő alatt zajlik le, mint a mezofil, mivel a mikrobiológiai reakció gyorsabb illetve a termelt gáz mennyisége is 10 – 20 %-kal nagyobb a mezofilhez képest (ugyanolyan szervesanyag lebontás esetén). Ezzel szemben a hőmérséklet optimum fenntartása nagyobb szabályozottságot és energiát igényel. Ezért olyan esetekben érdemes használni, ahol az alapanyag - valamilyen termelési folyamat „meleg” mellékterméke – közvetlenül a fermentorba juttatható.

Szilárdanyag-tartalom

A folyékony tápanyag szilárdanyag-tartalma (vagy helyesebben: szárazanyag-tartalma) a mikrobiális metángáz előállításában résztvevő mikroorganizmusok anyagcsere tevékenységét befolyásolja. Mivel a baktériumok szerves tápanyagai a kirothasztandó iszapban oldott és/vagy szilárd állapotban fordulnak elő, ezért a mikroorganizmusok életműködéséhez megfelelő megtelepedési és érintkezési felületre van szükség, azaz bizonyos szárazanyag-tartalomra. A szárazanyag- tartalom hatását a fajlagos gázmennyiségre a 12. ábra mutatja be.



12. ábra: A szárazanyag-tartalom hatása a fajlagos gázmennyiségre (Kaltwasser 1983)

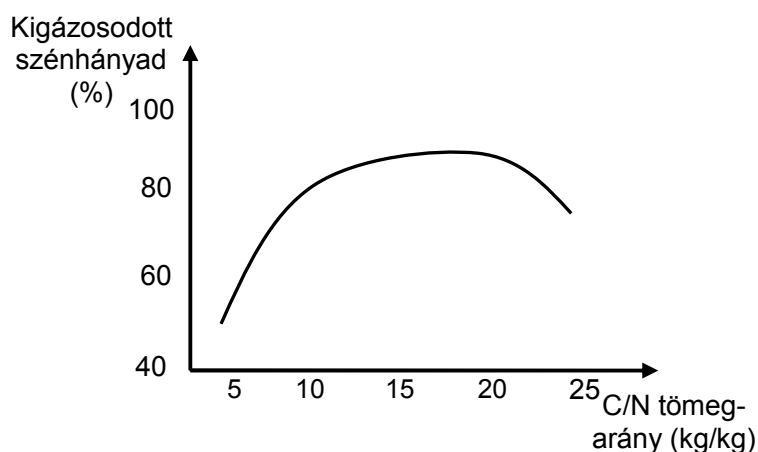
Az 1%-nál kisebb szárazanyag-tartalmú iszap rothasztása már nem lehetséges, mivel a fermentálás ezen optimális értéke 5-10 % között van.

Itt kell megjegyezni, hogy bár 0,1-1,0 % szárazanyag tartalmú anyagból is állítottak elő már metánt, de a mezőgazdasági bioreaktorokban (javarészt mezőgazdasági hulladékokból, vagy melléktermékeket feldolgozó, átalakító biogáztermelő egységek) ilyen kis szárazanyag tartalmú anyagokat nem célszerű használni az utótárolás problémájának csökkentése végett. A hulladéklerakó helyek depóniagáza pedig a másik szélső értéket képviselő, 40 – 50 % szárazanyag tartalmú hulladék-depóniákból származik (Olessák *et al.* 1984). Az ilyen alapanyagokat a mezőgazdasági bioreaktoroknál szintén nem célszerű alkalmazni, hiszen a legtöbbször csővezetékes szállítást alkalmaznak a technológia során, ahol a szivattyúzhatóság felső határa – a szárazanyag tartalmat tekintve – kb. 15 %. Továbbá figyelembe kell venni a szárazanyag-tartalom meghatározásánál azt is, hogy a 2-4 % átlagos szárazanyag tartalommal rendelkező iszap alkalmazása esetén kb. négyszer akkora tömegű anyagot kell mezofil vagy termofil hőmérsékletre emelni és tartani, mint 7-8 %-os szárazanyag tartalmú anyag bevitele esetén. Ennek energiaigénye megközelíti a képződő biogáz energiaértékét, vagyis alig kapnánk hasznosítható biogáz felesleget.

Szén - nitrogén arány

A mikroorganizmusok lényeges építő eleme a szén mellett a nitrogén. Ennek megfelelően a szerves anyagok anaerob elbontásának menetét a szén és a nitrogén aránya lényegesen befo-

lyásolja. Mivel a baktériumok növekedésükhöz az energiát a szénvegyületek disszimilációjából nyerik, ezért nagy C/N arányú anyagok esetében a nitrogénhiány, kis C/N aránynál pedig a kevés energia gátolja a baktériumok szaporodását, életét. A 12. táblázat néhány anyag C/N arányát, a 13. ábra pedig a C/N arány és a gázhozam közötti összefüggést szemlélteti.



13. ábra: Gázhozam a C/N arány függvényében (Kaltwasser 1983; saját számítások)

Az ábrából látható, hogy az optimum a 16 – 20 C/N értékhatárok közötti anyagoknál helyezkedik el (Kaltwasser 1983), más források szerint ez az arány 20 – 30 közé esik (Olessák et al. 1984) állattartásból származó szalmával kevert (almos) istállótrágya kedvező alapanyag a metánképződéshez. A szénvegyületekben gazdag szalmát a nitrogénvegyületekben gazdag vizelethez keverve jó C/N arány érhető el. A baktériumsejtek felépítéséhez szükséges – egy gram szervesanyagra vonatkoztatva - minimális nitrogén tartalom 7 mg (Kaltwasser 1983).

12. táblázat: Néhány kirothasztandó anyag C/N aránya

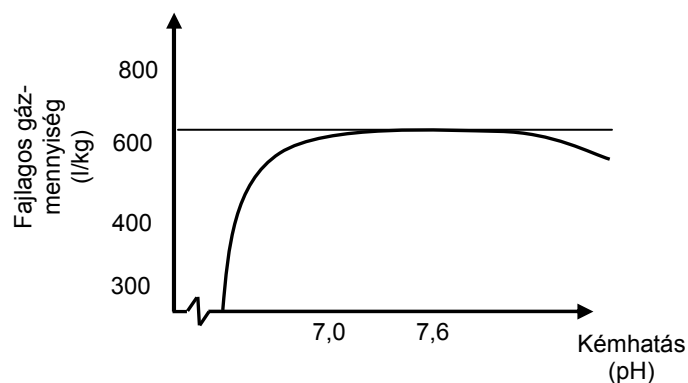
(Kaltwasser 1983; Olessák et al. 1984; saját számítások)

Szervesanyag	C/N arány
Tehéntrágya	16-25
Disznótrágya	6-12
Baromfiürülék	5-7
Lótrágya	25
Birkaürülék	33,3
Széna	125-250
Lucerna	16,6
Algák	100
Búzaszalma	100...125
Fűrészpor	200...500

A C/N-on kívül a szén – foszfor (C/P) arány az, ami még meghatározó a metántermelés során; ennek optimális értéke 150:1. Meg kell említeni a kénhidrogént, amely 0-1 % arányban jelen lehet a biogázban. Amellett, hogy mérgező tulajdonságú, már kis mértékben is erős „záptojás” szagot ad, vizes oldata a csővezetékekben, vagy a gépekben korróziót okozhat. Ezért szükséges a folyamatos mérése (a mérés ára 2005-ben Németországban 3,5 €/mérés volt (Schulz *et al.* 2005). Főként baromfi és sertés trágyák hasznosításánál fordul elő a gázban a jelenléte. A többi elem (kalcium, magnézium, kálium, cink és kobalt) általában nem jelent problémát, mivel a kirohasztandó anyagok nem tartalmazzák ezeket nagy mennyiségben (Olessák *et al.* 1984). Problémát jelenthetnek viszont a szintetikus készítmények, antibiotikumok, fertőtlenítőszer jelenléte a kirohasztandó anyagban vagy iszapban. Ezen anyagok koncentrációnövekedésének függvényében jelentősen lecsökkenhet a fajlagos metánképződés értéke. Az oxigén jelenléte is mérgező hatású lehet a metánbaktériumokra, tekintve anaerob mivoltukat. De ez mégsem szokott túl nagy problémát okozni, mert általában fakultatív anaerob mikroorganizmusok is jelen vannak, amelyek a jelenlevő oxigént viszonylag gyorsan elhasználják (Olessák *et al.* 1984).

Kémhatás

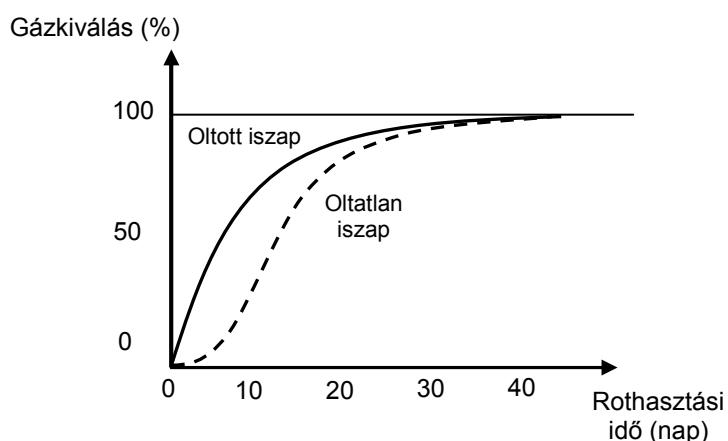
A savképző baktériumok annál gyorsabban fejlődnek, minél több szervesanyagot tartalmaz a kirohasztandó anyag. A metántermelő baktériumok lebontási teljesítménye a szaporodási folyamat időleges eltolódása következtében viszont nem növekszik azonos mértékben. Az anaerob rohasztás savképző baktériumai ezért túl sok savas kémhatású anyagot termelhetnek, ami a metánbaktériumok életkörülményeit csökkentheti. A 14. ábrán a fermentálandó anyag kémhatása és a fajlagos gázmennyiség közötti összefüggést szemléltetem:



14. ábra: A gáztermelés a kémhatás függvényében (Kaltwasser 1983)

A gáztermelés szempontjából az optimális kémhatású iszap az enyhén lúgos, 7,0 – 7,6 pH közötti kémhatású. A savképző baktériumok anyagcsere termékeinek köszönhetően előfordulhat, hogy a kémhatás savas irányba eltolódhat (4.0-5.0 pH). Ez a további savasodást ugyan meggátolhatja, de a metánbaktériumok életműködése teljesen lelassul, ami a gazdasági haszon csökkenését eredményezi. Amennyiben időben sikerül észrevenni az elsavasodási folyamatot, akkor az egyensúlyt lúgos kémhatású anyagok (mésztej esetleg szódaoldat) bekeverésével lehet visszaállítani. Szokás ugyanakkor vizsgálni az úgynevezett *fermentorterhelést*, amely megmutatja, hogy mennyi szerves szárazanyagot lehet naponta fermentor köbméterenként a tartályba tenni anélkül, hogy a baktériumokat túltáplálnánk és az erjesztési folyamat felborulna. A szokásos fermentorterhelés értéke 0,5-1,5 kg/m³·nap, felső határ 5 kg/m³·nap. (Schultz et al. 2005)

Ugyancsak említést érdemel az ún. keverési arány, amely az egységnyi tömegű bakteriálisan leköthető iszapban a baktériumok által lekötött szén tömegét (vagy más szóval az egységnyi tömegű tápanyagmennyiségre jutó baktériumok tömegét) jelenti. Ennek a hatása különösen szembevető a rothasztás kezdeti fázisaiban. A friss iszap nagyon csekély számú baktériumot tartalmaz, ezért a egységnyi idő alatt kevés gáz keletkezik. Ahhoz, hogy a gáztermelés gyorsabban beinduljon és elérje az adott szervesanyag keverékre (recepturára) jellemző maximumot, a frissiszap kiejert iszappal való oltását kell végrehajtani. A gázkiválás és a rothasztási idő közötti kapcsolatot a 15. ábra mutatja be mind oltott, mind oltatlan frissiszapra vonatkoztatva.



15. ábra: Az oltatlan és az oltott iszap gázkiválási görbéje (Kaltwasser 1983)

2.5 *A biogáz termelés főbb technológiai jellemzői*

2.5.1 A biogáz-előállítás története

A biogázt nem a modern ember fedezte fel, története több évszázadra nyúlik vissza. Már időszámításunk előtt a 10. századból vannak írásos emlékeink biogáz használatára (Asszíriában fürdővizet melegítettek vele). Shirley 1677-ben fedezte fel a mocsárgázt. Volta 1776-ban megállapította, hogy ez éghető anyag, Daltonnak pedig 1804-ben sikerült kimutatni belőle a metángázt. Pasteur fedezte fel, hogy a metángázt mikrobák állítják elő. 1888-ban ezen megfigyelések alapján, Gayon a Francia Tudományos Társaság ülésén már olyan gázt égetett el, melyet trágyából és vízből saját maga állított elő 35 ° C-os hőmérsékleten. A világ első biogáz telepét 1856-ban, Indiában helyezték üzembe, Mantungában. 1896-ban az angliai Exeterben közvilágításra használták a biogázt, 1937-ben pedig már 7 német nagyvárosban működtek biogázzal üzemelő szemétszállító járművek.

A biogáz-biotrágya előállítását a világon 1806-ban H. Davy a trágyából való gázkiáramlással indította el. 1920 és 1930 között a szennyvíziszapok anaerob erjesztését kezdték el, amivel ugyancsak biogázt lehet nyerni. 1942-ben Ducellier és Ismann mezőgazdasági hulladékot erjesztettek kétütemű fermentációs rendszerükkel.

A mai formában a II. világháború után kezdődött az eljárás széleskörű elterjedése, másodlagos energiaforrások felkutatása jegyében, mint ami a legkedvezőbb és legegyszerűbben hasznosítható eljárás. A kutatás két központi magja Németország és Franciaország volt, inputanyagként pedig a mezőgazdasági melléktermékeket vizsgálták. Ezzel párhuzamosan Indiában és Kínában elkezdődött a „családi” biogáz berendezések megvalósítása.

Összesen 6-8 millió kisebb³⁰ – „családi méretű” – biogáz reaktor van a világon, amelyek egy-egy farmgazdaságot látnak el, és kb. 1000-re tehető a nagyobb biogáz üzemek száma, amelyek konkrét „zöld áram” előállításával foglalkoznak.

³⁰ Megújuló energia – Biogáz. <http://www.kekenergia.hu/biogaz.html>

Hazánkban a XX. század első felében kezdődtek meg a kutatások és a hazai próbaüzemek mellett 1959-65 között már Indiában is létesült két biogázüzem Bartha István tervei alapján (Bai 2005).

2.5.2 A biogáz jellemzői

Biogáznak nevezzük a szervesanyagok mikrobiológiai anaerob bomlása során keletkező túlnyomórészt metánból, széndioxidból és egyéb gázokból álló keveréket. Mivel a gáztermelés a szerves anyagok fehérjéinek, szénhidrátainak, zsírszármazékainak hosszú szénhidrogén láncából állít elő egyszerű szerkezetű metánt illetve széndioxidot (és hidrogént), ezért nyilvánvalóan a különböző anyagokból előállítható gázok összetétele és mennyisége is diverzifikált.

Megállapítható, hogy ha nem teremtjük meg az adott fázisok optimális lejátszódásához a megfelelő életkörülményeket a baktériumok számára, akkor a gázhozam kicsi lesz, vagy esetleg teljesen el is maradhat. A következő körülmények teremtik meg a biogáztermelés optimális feltételeit:

- I. nedves, fénymentes környezet (>50 tf%),
- II. levegőtől mentes (anaerob) körülmények (legalább is az utolsó fázisban),
- III. adott hőmérséklet: (a metántermelő baktériumok a nagyüzemi gáztermelésre leginkább a termofil, illetve a mezofil törzseket használják, hiszen a termofil törzsek termelik fajlagosan a legtöbb gázt. A gáztermelés ideje szintén a termofil zóna alkalmazásakor a legrövidebb. Ugyanakkor e hőmérséklet (55-60 °C) tartomány tartós fenntartásához kell a legtöbb hőenergia befektetés,
- IV. gyengén lúgos környezet. A második szakaszban ez az ammónia keletkezése miatt magától kialakul, savas alapanyagok esetén oldott meszet szoktak az anyagokhoz hozzákeverni,
- V. tápanyagellátás (C/N részarány, szerves/szilárd anyag részarány, fermentor terhelés, ol-tás, receptura, stb.),
- VI. nagy anyagfelület (rothasztási idő csökkentése).

Mivel a metánbaktériumok életműködését károsan befolyásolja a metán jelenléte (túl nagy metánkoncentráció) ezért a termelt gázt el kell távolítani. Másfelől a gyakorlatban szerzett ta-

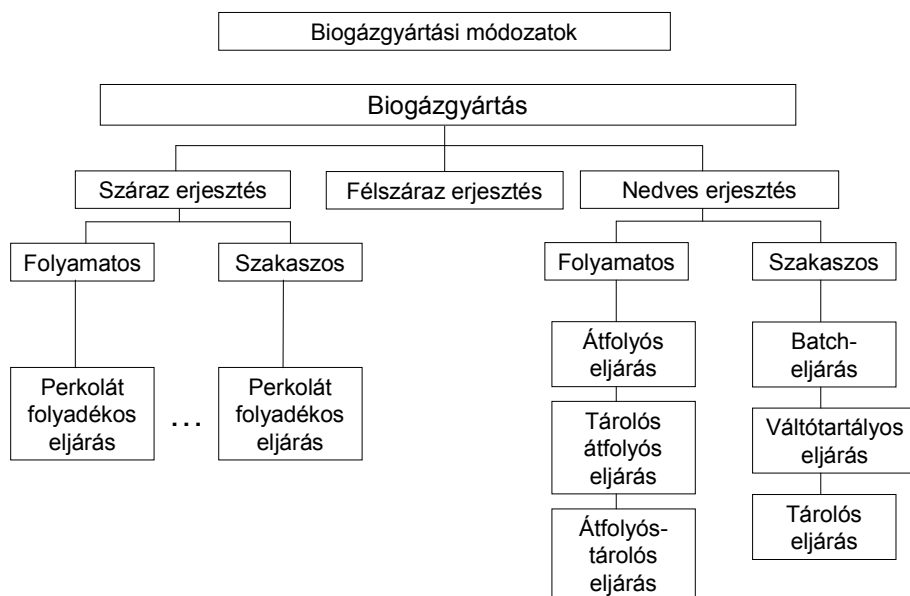
paszttalok azt mutatják, hogy az alapanyagokat nem célszerű 100%-os mértékben lebontani, hiszen:

- a gáztermelés sebessége időben nem állandó (egy adott idő után csökken), ezért a teljes kigázósításhoz hosszú időre van szükség, ami nagy marginális költségeket eredményez,
- a ligninből és cellulózból álló anyagokat a metánbaktériumok nem, vagy csak nehezen tudják bontani.

A kigázósodást a bomlási fokkal lehet jellemezni, amely megmutatja, hogy a szerves szárazanyag hány százaléka bomlik le a rothasztási idő alatt (lásd Kovács *et al* 2002). Általában 40-60%-os bomlási fok eléréséig hagyják lejátszódni a folyamatokat. A kisebb bomlási fok ugyanakkor a pozitív mellékhatások (pl. szaghatás) csökkenését eredményezi.

2.5.3 Biogázgyártási módok

Alapjában három féle eljárást különböztethetünk meg: a száraz, a félszáraz illetve a nedves erjesztéses eljárást. Ezekben belül a különböző biogázgyártási módokat az 16. ábra szemlélteti



16. ábra: Biogáz gyártási módok sematikus áttekintése (Kaltwasser 1983; Fuchsz 2008)

A száraz erjesztéses eljárás (szárazanyag tartalom nagyobb, mint 30%) ma még nem ipari termelésre „megérett” eljárás. Az egyes szakirodalmak által említett félszáraz eljárás lényege a

15-30 térfogatszázalék közötti szárazanyag-tartalom. Bár az inputanyag nagy fajlagos szerves anyag tartalma miatt nagyobb a fajlagos gáztermelés, de az oltás hiánya és a nedves módszerhez képest bonyolultabban megoldható keverés miatt az eljárást ipari termelésben nem alkalmazzák. Mindezek mellett a kirohasztott anyag nehezen ömleszthető, ezért a reaktorból való eltávolítása meglehetősen munkaigényes. Bár a kutatások a száraz erjesztés irányába mutatnak, jelenleg a nedves erjesztésnek van ipari méretekben alapja, ezért ezt az erjesztés típust ismertetem részletesebben. Az alapanyagok fajtája ugyanakkor bizonyos mértékben meghatározza az alkalmazott erjesztés-technológiát (13. táblázat).

13. táblázat Az alapanyagok hatása az anaerob elgázosítás technológiájára (Bai 2007)

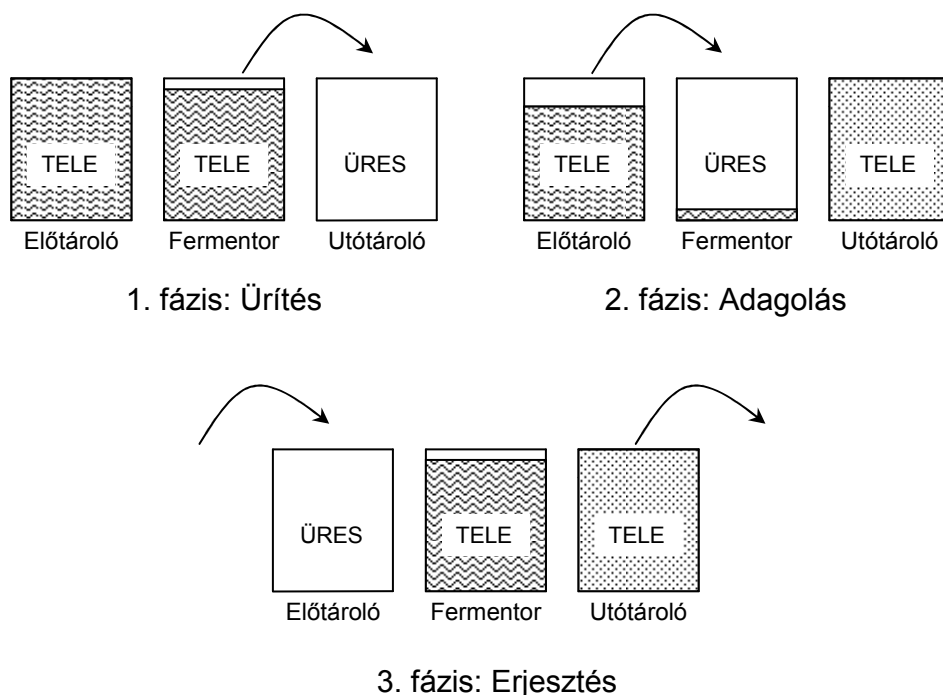
Alapanyag		Javasolt technológia	
Fajta	Jellemző	Megnevezés	Jellemző
Növényi	Nagy szárazanyag-tartalom, kevés mikroorganizmus	Szakaszos erjesztés	nagyobb fajlagos gázkihozatal, jól kezelhető és értékesebb szilárd biotrágya
Almos trágya	Nagy szervesanyag-tartalom, jelentős mikróbatartalom, gyommagvak, paraziták		
Kommunális hulladék	kicsi szervesanyag-tartalom, jelentős ballasztanyag		
Szennyvíz	kicsi szervesanyag-tartalom, esetleges nehézfém szennyezés	Folyamatos erjesztés	kisebb energiaveszteség a fermentor fűtésénél,
Hígtrágya	kicsi szervesanyag-tartalom, korlátozott felhasználhatóság		egyszerű lecsapolás, újratöltés, nem igényel sátoztető mozgatást, a teljes automatizáció lehetősége

2.5.4 Szakaszos üzemű eljárások

Batch-eljárás

A Batch-eljárás (17. ábra) lényege, hogy a fermentorba táplált anyag egy adott ideig tartózkodik a tartályban anélkül, hogy a tartózkodási ideje alatt eltávolítanánk, vagy hozzáadnánk újabb alapanyagokat. Ürités után egy kevés iszapot a rendszerben kell hagyni (kb. 5-10 % (Kaltwasser 1983)), amely oltóiszapként fog a következő töltetnél funkcionálni. A minél gördülékenyebb betöltés végett a rohasztótartály mellett szükség van egy előtartályra is. Ugyanakkor az egyenetlen gáztermelés csökkentése két vagy több, $1/n$ ciklusidővel eltoltan működő erjesztőtartály használatával lehetséges (n – pozitív egész szám, az erjesztőtartályok száma). Az eljárás hátránya az előzőekből adódik: egyszerűségéhez képest a több tartály elhelyezése

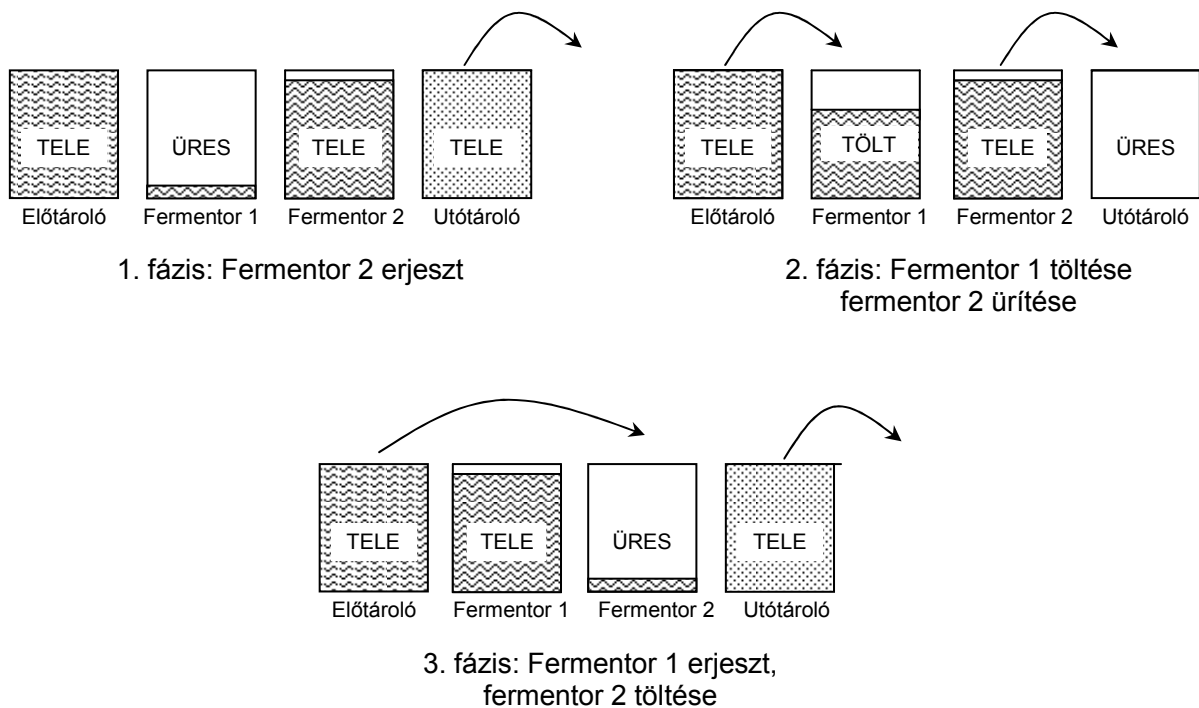
növeli a beruházási költségeket, több hőenergia szükséges pl. két tartály adott hőfokon tartásához, mint az egytartályos megoldásnál, a hosszú tartózkodási idő miatt a várakozó input-anyag már az előtartályokban elkezd bomlani, ami nitrogén és metánvesztéssel jár (Olessák et al. 1984). Előnye viszont az, hogy homogén output-anyagot szolgáltat, mivel csak egyszeri betáplálás van, nincs keveredés friss inputanyagokkal az erjesztőtartályban, ezért általában jellemzően a laborkísérleteknél a mai napig használják.



17. ábra: Batch-eljárás fázisai (Kaltwasser 1983; Schultz 2005)

Váltótartályos eljárás

A váltótartályos eljárás minimálisan két rothasztótartályból és egy előtárolóból áll. A beérkező inputanyag az előtárolóban áll 1-2 napig, majd onnan egyenletesen át lehet tölteni az egyik rothasztótartályba. A töltés ideje alatt a másik rothasztótartályban lévő anyag erjed. Az első rothasztótartály töltésének befejezése után kezdődik el az első tartályban lévő anyag rothasztási fázisa, ugyanakkor a második tartályból a kiejert anyagot eltávolítják az utótárolóba, és megindul a második tartály folyamatos feltöltése (18. ábra). Az eljárás előnye az egyenletes és higiénikus gáztermelés, hiszen az erjesztési folyamat szakaszokban történik (fermentoronként időben eltolva), nincs alapanyag – erjesztett anyag keveredés. Hátránya – a Batch-eljáráshoz hasonlóan – az egytartályos rendszerhez képest nagy hőenergia-vesztés. Probléma továbbá az ürítés folyamata alatti kiszellőzés.

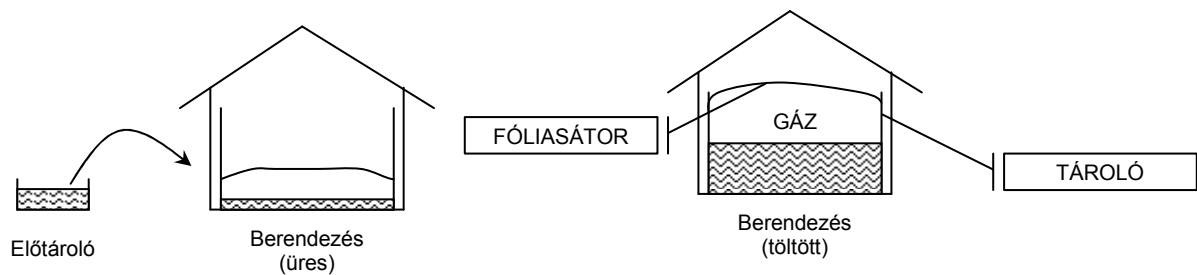


18. ábra: Váltótartályos eljárás fázisai (Kaltwasser 1983; Schultz 2005)

Tárolós eljárás

A tárolós eljárásnál (19. ábra) az erjesztő egyben tárolótartály is. Hasonlóan a Batch-készülékekhez ürítésnél ennél az eljárásnál is egy kis mennyiségű maradékot hátrahagynak – oltás céljából. A kombinált erjesztő- és tárolótartályt lassan újra feltöltik az előtárolóból. Kétféle típusát különböztethetjük meg: a szilárd fődémmel ellátott illetve a fóliasátras megoldást. Ez utóbbinál megkülönböztethetünk egyrétegű, illetve dupla fóliasátras típust. Az eljárás előnye, hogy csak egy nagy tartály szükséges, emellett a tárolóberendezéseket egyszerűen lehet üzemeltetni, a felül nyitott trágyatárolókat viszonylag egyszerűen biogáz erjesztőkkel lehet alakítani (Olessák et al. 1984). A fóliával fedett tárolótartályok egyik problémája a nagyobb hőenergia-veszteség, ezért általában alacsonyabb hőmérsékleten – 20-25 °C –on - üzemeltetik őket. Gondoskodni kell továbbá az időjárás viszontagságai elleni védelemről is.

A szilárd fődémmel és külső gáztárolóval ellátott berendezés – felépítésükből adódóan – természetesen drágábbak. Ugyanakkor a trágya kiemelésénél figyelni kell arra is, hogy ne kerüljön levegő a gáztárolóba.



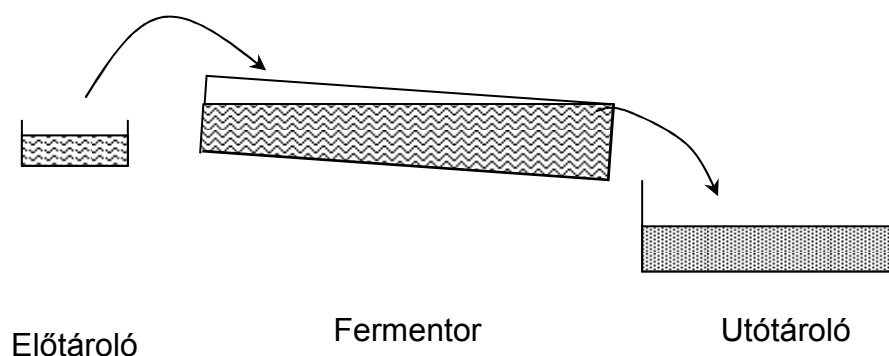
19. ábra: Tárolás eljárás (Kaltwasser 1983; Schultz 2005)

2.5.5 Folyamatos üzemű eljárások

Átfolyós eljárás

A legtöbb biogázüzem átfolyós rendszerben (20. ábra) működik vagy tiszta formájában, vagy a tárolás módszerrel kombinálva. Ennél az eljárásnál a rothasztótartály mindig tele van és csak bizonyos alkalmanként (pl. javításhoz) kell kiüríteni (Schultz *et al.* 2005). A kisebb méretű előtárolóból az alapanyag a nagyobb méretű rothasztótartályba áramlik meghatározott időközönként – általában naponta egyszer-kétszer. A friss inputanyag beáramlásakor ugyanakkora térfogatú trágya áramlik ki a tartályból.

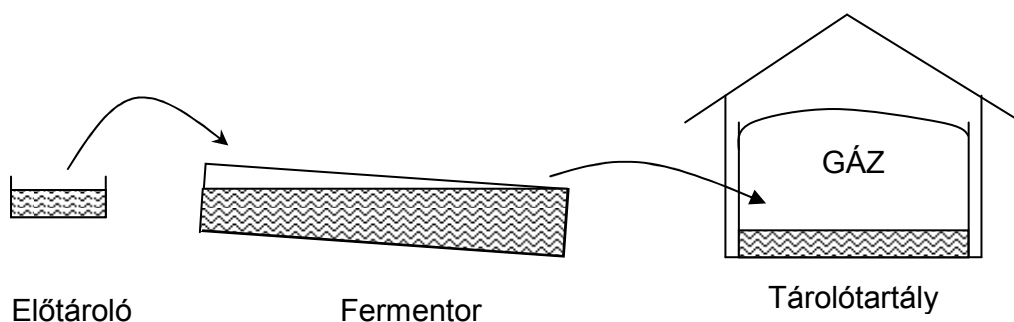
Az eljárás előnye az egyenletes gáztermelés, a tartály jó kihasználtsága, kevés hőenergia veszteséggel járó építési mód és a folyamatok (egészét vagy részét tekintve) automatizálhatósága. Természetesen hátrány a szakaszos üzeműekkel szemben a friss és a kiejesztett anyag keveredésének a lehetősége, ezért higiéniai szempontokból kedvezőtlen.



20. ábra: Az átfolyós eljárás folyamatábrája (Kaltwasser 1983; Schultz 2005)

Kombinált átfolyós-tárolás eljárás

Ez az eljárás a biogázgyártás legfejlettebb módszere. A módszer lényegében az átfolyós rendszerből származtatható, ahol a kiejesztett-trágyatárolót lefedték egy szilárd fóliával vagy szilárd födémmel. Ennek szükségességét indokolta a rendszerint több hónapig is eltartó trágyatárolás, amely következtében jelentős nitrogéncsökkenés következne be. A gyakorlati tapasztalatok szerint egy 7 hónapos tárolási idő mellett a gázhozam 20-40%-a származik a tárolótartályból. Ez utóbbit általában nem szokták fűteni, illetve keverni, így a járulékos gázmennyiség viszonylag csekély kiadással jár. Különleges esetekben – pl. ha növénytermesztés miatt egyszerre sok trágyát kell kivenni - elképzelhető, hogy az átfolyótartály tárolóként is funkcionálhat. Ez esetben ügyelni kell, hogy az ürítésnél külső levegő ne szivárogjon be. Az eljárást a 21. ábra szemlélteti.



21. ábra: Kombinált (átfolyós-tárolás) eljárás (Kaltwasser 1983; Schultz 2005)

Száraz erjesztés

Az eljárás még jórészt kísérleti fázisban van, nagyüzemi alkalmazása és hasznosítása még nem terjedt el. Sorozatosan folynak olyan kísérletek, amelyben nem folyékony (folyós) trágyát vagy egyéb szilárd anyagot hasznosítanak. Mindazon fermentációs eljárásokat, amelyek esetében 30%-nál nagyobb szárazanyag tartalmú anyagokat fermentálnak külső forrásból származó folyadék hozzáadása nélkül száraz fermentációs/szilárdanyag eljárásnak nevezzük. Eredetileg ezeket a módszereket a hulladékkezelésben alkalmazták, majd a tapasztalatokat adaptálták a mezőgazdasági anyagok kezelésére (Molnár 2007). Hasonlóan a nedves eljáráshoz a száraz eljárás alkalmazásakor is beszélhetünk termofil, vagy mezofil rendszerről, valamint szakaszos és folyamatos eljárásról.

A száraz eljárások közül a szakaszos üzeműt részesítik előnyben a kutatások végzése során vagy a kísérleti üzemekben, mivel a folyamatos eljárás esetében elő kell teremteni a szivattyúzatóság feltételrendszerét, ami költséges. Másrészt – e módszer alkalmazásakor – jelentős mennyiségű oltóanyagra van szükség, amely – mivel helyet foglal el a reaktorban – csökkenti a kiejeszthető anyag mennyiségét.

A szakaszos eljárások közül a perkolát folyadékös rendszer az egyik legismertebb, ahol az ideális körülmények megteremtése érdekében a friss inputanyagot perkolát folyadékkal (a kiejedt inputanyag csurgaléklevével) nedvesítik vagy pedig a már lebomlott anyaggal keverik el a friss szubsztrátumot. A keverési aránya 1/1 vagy 2/1 (friss/kiérlelt anyag). Ezen kívül még más eljárást is feltüntet a szakirodalom, de erre – gyakorlati jelentőségének hiánya miatt –nem térek ki. A szakaszos száraz eljárás előnye a kevés mozgó alkatrész miatti alacsony energiaigény és fenntartási (javítási, kezelési) költség, hátránya viszont, hogy egyenletes biogáz-termelés megvalósítása (még több váltótartállyal/reaktorral sem) lehetséges, kialakulhatna nem termelő helyek a reaktoron belül a keverés hiánya következtében. A nagyobb gázkihozatalhoz több oltóanyag szükséges, mint a nedves eljárásoknál, valamint a be- és kitarozásokhoz – a robbanásveszély elkerülése miatt – biztonsági rendszer szükséges (Fuchsz 2006).

Nagyüzemi körülmények között elmondható, hogy a biogázgyártás 5-15% szárazanyag tartalom közötti értékek között kifizetődő. Az ettől eltérő szárazanyag tartalmú recepturák esetében a (metán)gázkihozatal fajlagos értéke alacsonyabb az 5-15%-oshoz képest, ezért összességében nem költséghatékony megoldás. A jövő fejlesztései közé tartozik az olcsó, most még nehezen emészthető anyagok (pl. szaruszármarazékok, lignocellulóz anyagok) gazdaságos anaerob bontása vagy fermentációra való előkészítése (pl. enzimikus előkezeléssel) (Bai 2007).

Egy- vagy többlépcsős eljárás

Az alapanyag erjesztése és a biogázgyártás lehet egy- illetve többlépcsős aszerint, hogy a biogáztermelés négy folyamata egyetlen tartályban megy végbe vagy az egyes fázisok (teljesen vagy részlegesen) szeparáltan, külön vagy elválasztott térrészben játszódnak le. Gazdaságossági szempontokat figyelembe véve a többlépcsős eljárások közül általában csak a kétlépcsős jöhet szóba. Például egyes berendezéseknél a kiejesztett trágya előmelegíti a hőcserélő felület kamrájában a friss trágyát, és itt megy végbe a savas fázis. A második fűtött fázis már a lúgos térben zajlik. Többlépcsős eljárás során a folyamatok (teljesen vagy részben) külön egységben

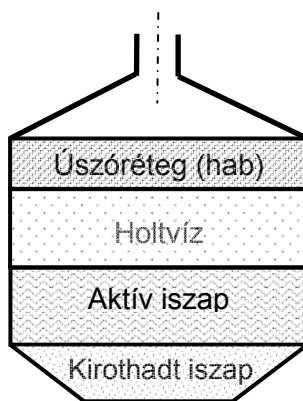
követik egymást, így a széndioxid nagy részét már a gáztermelési folyamat alatt el lehet távolítani.

2.5.6 A Bioreaktorok részei és berendezései

Előtároló, adagoló, keverő és előfűtő akna

Az előtároló berendezésre már az előzőekben utaltam. A nedves eljárásnál az előtárolóból ki-sebb biogáz erőműveknél 2-3, közepes és nagy berendezéseknél 3-4 alkalommal kell betáplálni az előkészített biológiai anyagot (recepturát). Általában a homogenizálásra „propellerkeverők”, vagy maguk az adagoló szivattyúk szolgálnak.

Az előtárolók feladata a betáplálendő inputanyagok megfelelő előkészítése és homogenizálása. A homogén állapot elérés és fenntartása keveréssel történik. A homogenizálás azért szükséges, mert a recepturát alkotó inputanyagok különböző sűrűsége miatt kiülepedés és felúszás következhet be a reaktorban. Ezen úszóréteg nem szüntethető meg, de jó előkészítéssel minimalizálható a hatása. Már az előtárolókba történő betáplálás előtt is megfelelő figyelmet kell fordítani arra, hogy a bioreaktorba lehetőleg szervesanyag (kiváltképp kavics) ne kerüljön, hiszen ezek a biogáz-erjesztő gépészeti berendezéseinek károsítása mellett a hasznos reaktortérfogatot csökkentik.



22. ábra: Rétegződés a keverés nélküli reaktorban (Kaltwasser 1983)

A 22. ábra bemutatja, hogy a metántermelő baktériumok nagy része a reaktor aljában található és a feljebb lévő szerves anyagok csak a kirothadt iszap felszínén lévő baktériumok számára érhetők el. Így a tápanyagok és a baktériumok közötti érintkezés korlátolt. Ráadásul az alsórétegben lévő baktériumok anyagcsere termékei nagyon gyorsan felhalmozódnak, gyengítik élet-

feltételeiket. Továbbá túlmenően a környezetük növekvő koncentrációja rontja a baktériumok ozmotikus szívóhatását is, amelynek következtében a baktériumok „kiszáradnak”.

Ebből következik, hogy a fermentáció optimális feltételeinek biztosításához a rothasztóteret át kell keverni. A keverés így szétrombolja az úszóréteget (termelő gázt el lehet szállítani), egyenletes lesz a tápanyagellátás, az alsó rész koncentrációja csökken, amely serkentőleg hat a baktériumokra. Elkerülhető az első rothasztási szakasz savtermelésének helyi felszaporodása, biztosítva ezzel a 3. és a 4. szakasz optimális lefolyását. Főleg az 1940-1970-es évek között épült ázsiai telepeken a keverőszerkezeteket mellőzték. Ennek oka a keverőszerkezetek kialakításának költségével illetve a betáplált alapanyagok (hígtrágya, fekália) nagyarányú használata magyarázza (Kissné Quallich E. 1983)

Ugyanakkor az utóbbi évek kutatásai szerint a túlzott mértékű keverés hátrányosan hat a metángáz termelésre. (Bai 2007). Összességében elmondható, hogy a keverés nagymértékben hozzájárul az egyes gáztermelési szakaszok - technológiai szempontú - lefutásához, amely során cca. 10% gázhozam növekedés érhető el a keverés nélküli technológiákhoz képest.

További 10% gáznyereséget eredményez az úszórétegek kialakulásának megakadályozása.

Keverőberendezések közül a mechanikus keverőberendezéseket részesítik előnyben. Kisebb (100 m³ fermentortérfogat alatti erjesztőkben) propellerkerekes keverőket. Ezek általában egy függőleges tengelyen axiálisan elmozdíthatóak illetve e tengely körül is elforgathatóak. A hajtást általában valamilyen villamos motor, a fordulatszám változtatását pedig lánckerék-áttétel vagy bolygóműves hajtómű biztosítja. Ezen berendezések tervezésénél nagy figyelmet kell fordítani a berendezések javíthatóságára, hiszen jelentős költségekkel jár a keverőberendezés javítása miatti reaktorürítés. A metángáz – kompresszor segítségével történő – visszavezetésével is lehetséges a keverés. Ez többletberuházást jelent, ugyanakkor az úszórétegek szétrombolására az ilyenfajta berendezések nem alkalmazhatóak.

Töltő- és ürítőberendezés

A bioreaktorok töltő- és ürítőberendezéseit tekintve megkülönböztethetünk szivattyús töltésű és szabad hozzáfolyású készülékeket. Általában folyékony trágya szállítására centrifugál szivattyúkat használnak. A rostanyagokban gazdag recepturák esetében különleges szivattyúkra van szükség, amelyek a receptura betöltése mellett még aprítják is a szálalékos anyagokat. Ezeknél

a szivattyúknál a járókerék lapátozása egyben mozgó vágóél is, míg az álló ellenél a házban található. Elterjedt még a forgódugattyús szivattyúk használata; ezek ovál alakú 2-4 ágból álló dugattyúja a nagyobb idegen testek szállítására is alkalmas. Egyszerűbben végezhető a töltés szabad hozzáfolyással, ugyanakkor ez a töltési módot nagyobb rothasztótérfogatú fermentor típusoknál nem alkalmazzák (egyenetlenebb keveredés).

Erjesztőszerkezet

Az erjesztőszerkezeteket építési módjuk szerint két csoportba sorolhatjuk: megkülönböztetünk álló, illetve fekvő erjesztőket. A vízszintes tengelyű (fekvő helyzetű) erjesztőkre jellemző, hogy a hosszuk lényegesen nagyobb, mint az átmérőjük. Előnye, hogy kedvezőbb paraméterekkel rendelkező keverőszerkezetet lehet az erjesztőkben alkalmazni (megbízhatóság, energiafelhasználás, stb.), mint a függőleges kivitelűeknél. Az áramlási irányra merőlegesen lehet keverni, a tartály hosszában nem keveredik az anyag, ezért általában higienizálásra használják. Hátrányuk viszont a nagy felülettel járó hőenergia-veszteség, a nagy helyszükséglet, valamint az, hogy a kirothasztott iszap baktériumflórájával nem lehet közvetlenül az erjesztendő anyagot beoltani. Általában ezért az oltás külön erjesztőgödörben vagy oltóanyag visszavezetéssel történik. A kevés baktériumot tartalmazó alapanyagokat (pl. sertéstrágyát vagy tyúkürüléket) be kell oltani az erjesztőtérbe való bejuttatás előtt; ezzel ellentétben a szarvasmarha trágyát és annak hígtrágyáját nem szükséges külön beoltani. A vízszintes erjesztőszerkezetek felszín feletti kialakítású hengeres acéltartályok. Függőleges tengelyű (álló) erjesztők általában betonból, kör alapkeresztmetszettel épülnek. Kedvezőbb a felület-térfogat arányt lehet velük elérni a fekvő építésmódú erjesztőkhöz képest, azonban nem alakul ki az a dugóáramlás, ami a fekvő építésű erjesztőknél (Petis 2007).

Ezen kívül csoportosíthatjuk az erjesztőket aszerint, hogy felszín felett, vagy felszín alatt helyezkednek el. Akkor alkalmazzák a felszín feletti építést, ha az üzem területén magas talajvízszinttel kell számolni. Az ilyen építés hátránya, hogy az erjesztő nagy felületét éri az időjárás hatásai, nagy a téli hőenergia veszteség. A felszín alatti építési módú szerkezetek ezektől a hatásoktól védettek, de nehezen karbantarthatóak, illetve fajlagos bekerülési költségük magasabbak, mint a felszín feletti építésűeké.

Az erjesztőtartály az alábbi szerkezeti egységekből állhat:

- Tartályköpeny
- Gázgyűjtő
- Hőszigetelés
- Külső burkolat (időjárás elleni védelem)
- Kombinált kialakításúaknál fóliasátor
- Mázolások, bevonatok, szigetelőanyagok
- Műszaki berendezések (folyamatvezérlő és –regisztráló)
- Egyéb *kisegítő* berendezések (pl. kémlelőablak)

Általában a tartályokat vasbetonból vagy acélból készítik. E két építőanyag közül a vasbeton gyakoribb. Ez nem a helyszínen, hanem ilyen feladatra specializálódott üzemben készül és úgy szállítják a helyszínre. A betonozásnál – a beton gáz- és vízzárásának érdekében – ügyelni kell a munkahézagok és a zsugorodási repedések keletkezésére. Itt kell megjegyezni, hogy az erjesztő alsóbb részein nem okoznak nagy problémát a repedések, hiszen itt az erjesztendő anyag szilárd alkotói – a réseket betömve - fogják ellátni a szigetelést. Mivel a bejuttatott anyag és a földem között fog elhelyezkedni a gázzóna, ezért a földem betonozását nagy gondosságot igényel. Az erjesztő földemének hézagait – vasbeton anyagú erjesztők esetében - rugalmas hézagcsíkokkal kell kitölteni. A tartály építésének befejezte után szigetelésellenőrzést kell végezni. Ez úgy történik, hogy vízzel túlnyomás alá helyezik (0,5 vízoszlop méter). A vízoszlop szintjének változásának sebességéből lehet következtetni a szivárgás helyére és mértékére.

A vasbeton mellett az acél a legjelentősebb tartályanyag. Kisüzemi (házi) termelésnél (kisebb, mint 100 kW elektromos teljesítménynél) kiselejtezett tartályokat használnak. A kiömlőnyílás helyzetétől függően kell a tartályt vízszintes helyzetbe állítani, esetleg 1-2% lejtéssel fektetni.

Nagy hangsúlyt és figyelmet kell fordítani a recepturában keletkező folyamatok egyenletes megvalósulására. A fermentor hőenergiájának a csökkenése a folyamat hatásfokának, ebből következően a nyereség csökkenéséhez vezet. Ugyanakkor nagyobb hangsúlyt kell fektetni a baktériumok életének a fenntartására. A legkézenfekvőbb megoldás a föld felszíne alá történő elhelyezés lenne. Ebben az esetben mind a napi, mind pedig az éves hőmérséklet ingadozás mértéke kisebb, mint a talaj felszíne feletti kialakításoknál (*Kissné Quallich* 1983). Az egyik legelterjedtebb szigetelőanyag a habosított vagy extrudált polisztirollhabok, illetve hablemezek. A habosított polisztiroll lemezek közvetlenül a betonra ragaszthatóak, de figyelmet kell fordíta-

ni az időjárás elleni védelemre is, hiszen nem időjárásállóak; ezért külső fa- vagy hullámlemez borítással kell ellátni a tartályokat. Az extrudált polisztirolhab lemezek nyomószilárdsága nagy, zártcellás kialakításuk miatt időjárásállóak, tartós nedvesség esetén sem vesznek fel vizet. Az újonnan épülő tartályok alaplemezét is ilyen szigetelésre alapozzák illetve a földbe süllyesztett építésű fermentorok falait is ilyen lemezekkel borítják. Megoldás lehet még az ásványgyapot alkalmazása, hiszen ebben a környezetben minimális az egészségkárosító hatása. A poliuretánhab hővezetési tényezője kicsiny (0,025-0,035 W/m·K), alkalmazhatóságának viszont gátat szab a magas ára (*Schultz et al.* 2005).

A klímaviszonyoktól független tartós – mezo- vagy termofil – hőmérsékleti zóna eléréséhez fűtőberendezés szükséges. A fermentorokban lévő erjesztendő anyagok állandó hőmérsékleten való tartásához szükséges hőenergiát két feladatra kell, hogy fordítsuk:

- rothadóanyag felmelegítésének a biztosítása
- a hőátbocsátás következtében elvesztett hőenergia pótlása

A hőenergia igényt többféleképpen lehet fedezni. A napkollektoroknak, hőszivattyúknak a termelésbe történő bekapcsolása jelentősen megemeli a beruházás költségeit. Sokkal inkább – a kapcsolt energiatermelésnek köszönhetően – a blokkfűtőművek (hűtővíz és kipufogógázból eredő) „hulladékhőjének” – hőcserélők alkalmazásával történő – közvetett hasznosítása terjedt el. Közvetlen fűtést azért nem alkalmazzák, mivel ha az optimálisnál nagyobb hőmérséklet alakul ki a rothasztótérben, akkor a baktériumok száma – akár csak az optimálisnál alacsonyabb hőmérséklet esetén – jelentősen lecsökken. A forróvíz vagy vízgőz közvetlen bevezetése szintén befolyásolja a biológiai folyamatok lezajlását. Ezért hőcserélők közbeiktatásával hasznosítják a blokkfűtőmű hulladékhőjét. A felmelegített tápvizet a reaktor belső falában elhelyezett csőhálókon keresztül vezetik. A nagy felületű hőcserélők alkalmazása gondot okoz a bioreaktorok esetében, hiszen lerontják az üzemen belüli áramlást.

A fermentort tehát fűteni kell, amelynek fajlagos energiaigénye – Németországban - megközelítőleg 350 kWh/év a fermentor minden egyes köbméterére (*Schultz et al.* 2005).

Gáztároló

A biogáz előnye más megújuló energiával – napenergia, szélenergia, stb. – szemben, hogy tárolása a kémiai energiának köszönhetően rendkívül egyszerű, a termelt energia hosszú ideig

tárolható. Az energiaátalakítás (kémiai energiából hő- és villamos energia) során a metán széndioxidá és vízzé ég el. Ezeket a „melléktermékeket” a növények részben vagy egészben a levegőből felveszik (vö. levéltrágyázás), így a biogáz a fosszilis energiahordozókhoz képest CO₂-semlegesnek nevezhető.

Minden biogáztárolót külön-külön kell megtervezni – legalább is ami a méretét illeti – hiszen a paraméterei a gáztermelés és a fogyasztás mérlegétől függ leginkább. Kizárólagosan hőenergia termelésnél a méretnek egy napi gáztermelés befogadására alkalmasnak kell lennie, kombinált termelésnél (hő- és villamos energia) ez az érték csupán a napi gáztermelés 20-50%-a. A biogáz tárolókat az építési módjuk és a bennük uralkodó – üzemi – nyomás szerint szokás megkülönböztetni (14. táblázat).

14. táblázat: Biogáz tárolók csoportosítása (Kaltwasser 1983; Schultz 2005)

Nyomástartomány	Üzemi nyomás		Szokásos méret	Kivitelezés
	(mbar)	(bar)	(m ³)	
Kis nyomás	20-50		5-200	vízcsészés gazométer
	0,05-0,5		10-2000	fóliasátras tartály
Középnomás		5-20	1-100	acél nyomótartály
Nagy nyomás		200-300	0,1-0,5	Acélpalack

A biogázgyártás kezdetén – leginkább az 50-es évekig – a *kisnyomású tárolók* terjedtek el a leginkább – történetesen a vízcsészés gazométerek. Ez a tároló (gazométer) tulajdonképpen egy acélharang, amely vízbe (trágyába) merül. Kültéri tárolónál fagyálló adalékot kell használni. Előnye, hogy a gáz viszonylag egyenletes nyomás alatt áll, és elegendő ahhoz, hogy a kazánt kiegészítő égő nélkül üzemeltesse. Egyes fogyasztók lényegesen nagyobb nyomást igényelnek, amelyet csak nehéz gázharanggal lehet elérni. Kisebb gázüzemeknél, illetve melegebb éghajlatú helyeken használják. További általános jellemzőjük, hogy nagyon magas fal szerkezetet kell hozzájuk készíteni, ezért általában kisnyomású üzemeknél elterjedtebbek a fóliasátras tartályok.

A fóliasátras tárolók lehetnek az erjesztőre vagy külön tárolóként telepítve. Általában elemekből, a helyszínen állítják össze a kívánt formának és méretnek megfelelően. A biogáz gázmotoros hasznosításánál természetes biztonsági rendszert képez: ha a tároló üres, akkor a motor még üzem közben sem tud külső levegőt befűjni. Hátránya viszont a külső mechanikai behatolás, időjárás elleni gyengébb védelem. Hátrány továbbá a megfelelő túlnyomás fenntartása. Régebben ezt a fóliasátor tetejére helyezett pótsúlyokkal oldották meg. Gázmotoros hasznosí-

tásnál ez nem jelent problémát; a fóliasátor saját súlya által keltett nyomás illetve a motor által keltett depresszió elegendő az üzemhez. Az anyagtulajdonságok miatt figyelmet kell fordítani a túlnyomás elleni védelemre.

A *középnomású tárolók* leginkább acélból készülnek, üzemi nyomásuk: 5-20 bar. A közép- és nagynyomású gáztárolók a kisnyomású gáztárolókhoz képest kis helyigénnyel rendelkeznek. Továbbá előnyük, hogy a nyomás változtatásával arányosan változik a tárolható gáz mennyisége. A gáz kivételéhez gázreduktort használnak.

A *nagynyomású tárolók* használatát elsősorban a kedvező térfogat-kihasználás indokolja. A 200-300 bar nyomású gáz előállítására többfokozatú kompresszorral történhet, ám a sűrítendő biogáz energiatartalmának akár 20 %-át is a sűrítésre kell fordítani, tekintetbe véve az energia-termelés veszteségeit. A nagynyomásra sűrített biogázzal gépjárműveket is lehet hajtani, ugyanakkor a használata mértéknek határt szab az aktuális hajtóanyagárak alakulása (*Szendrei et al.* 2006).

A gáz előkészítése és kezelése

Az erjesztőből kikerült biogáz közel 100 %-osan telített vízgőzzel és jelentős kéntartalommal bír. Továbbá intenzív keverésnél a fellépő aeroszolképződés miatt kéregképződés jöhet létre a csövekben. A tervezésnél és a kivitelezésnél ügyelni kell a csövek fektetésére (fagymentesen) és szigetelésére. Nem szabad szifonszerű, lesüllyesztett ágakat képezni; biztosítani kell, hogy a kondenzvíz vissza tudjon folyni az erjesztőbe, tartályba vagy a tárolóba. Szükséges továbbá egy nyomás-figyelő rendszert is beépíteni, amely megakadályozza, hogy túl sok gáz elvétele vagy kiürített tároló esetén a gázrendszerben depresszió keletkezzen, illetve, hogy külső levegő kerüljön be például a kondenzvíz-leválasztó szifontömlőjén keresztül.

Nélkülözhetetlen védelmi berendezés továbbá a lángvisszacsapó is. Ha a gázkeverékben éghető gáz-levegőkeverék alakul ki, akkor a lángvisszacsapó akadályozza meg, hogy a láng továbbterjedjen a gázfogyasztók felé. A biogáz víztelenítése mellett a kéntelenítés szintén fontos gáz-előkészítési folyamat. A kénhidrogének vízzel kénsavat képezhetnek, amely rendkívül korrózív hatású. A vegyiparban használt kénmentesítő módszerek közül a következő eljárások jöhetnek szóba:

- abszorpciós eljárás, melynek folyamán a H₂S mint kénhidrogén regenerálódik (karbonátos eljárások, triaethylominnal való elnyeletés), mérgező anyagokkal folytatott eljárás (arzén-oxidos eljárás),
- az aktív szenes elnyeletési eljárás, amelynél szén-szulfid-keletkezés során robbanásveszély áll fenn,
- Claus-féle eljárás (redukció a felszabadult elemi kénig, ezért nagyon drága). A régi katalízises, száraz eljárás tulajdonképpen jól alkalmazható, amely a Fe(OH)₃-mal mint katalizátorral dolgozik.

Ez a tisztítás meglehetősen munkaigényes és drága volt, ezért ma már biotechnikai kántelenítést alkalmaznak, azaz csekély mennyiségű külső levegőt fújnak be a gáztérbe. A kén és a levegő hatására a kénbaktériumok (*Sulfobacter oxidans*) a kénhidrogéneket vízre, kénsavra, elemi kénre bontják. A levegő befúvását egy vagy több kis kompresszor biztosítja.

Szükséges lehet a gáztisztítás további folyamata is. A kántelenítés mellett esetleg eltávolítják a széndioxid jelentős részét. Ez főleg akkor bír nagy jelentőséggel, ha a biogázt komprimálni – cseppfolyósítani – akarjuk. Ez esetben a hasznosítás módja lehet belsőégésű motorok hajtóanyagaként, vagy – megfelelő szabványok megléte esetén - a földgázhálózatba történő betáplálás. Az eljárás viszonylag költséges, energiaigényes. A széndioxid eltávolítását végezhetjük abszorpcióval, adszorpcióval és membrános gázsztévválasztással. Az első két megoldás függ a gáztisztaság szükséges mértékétől, a leválasztó-berendezés üzemmódjától, a nyers, ill. a tiszta gáz nyomásviszonyától, a megengedhető üzemköltségektől és a megkövetelt biztonságtechnikai felszerelésektől. A széndioxid abszorpció alatt annak a folyadékban való oldását értjük. Ismeretes még a nyomás alatti mosás módszere. Ezt normál kompresszorral lehet végrehajtani, ugyanis a technológia elve a gázok különböző oldhatóságának nyomáshatár-különbségére támaszkodik. Az így dúsított gáznak a fűtőértéke 34 MJ/m³ lehet, amely már benne van abban a sávban, amely az országos hálózatban szállított gázok minőségi szabványában szereplő fűtőértéknek megfelel (*Maróti 2002; Barótfi 1998*).

A leválasztott széndioxid több célra is hasznosítható. Ennek egyik gyakorlati megvalósítása a természetőházakban történő levéltrágyázás. Mivel a növények a szárazanyaguk kb. 88%-át a levegőben levő széndioxidból biztosítják (*Barótfi 1998*), ám zárt térben (termesztőház, fóliasátor stb.) történő termesztés esetén a levegő természetes széndioxid-tartalma annyira csökkenhet, hogy az asszimiláció lelassul, majd le is állhat. Ezért a természetőházakban – az asszimilá-

ciós folyamat felgyorsítására - széndioxid adagolással komoly eredményre lehet számítani már akkor is, ha csak a szabad levegőhöz viszonyított (0,003 %_(V/V)) hiányt pótolják. A 0,007-0,1 %_(V/V) trágyázási tömörséggel (a levegőhöz képest) további mennyiségi és minőségi növekedés érhető el, természetesen akkor, ha a növény számára fontos élettényezők (hőmérséklet, fény, víz, ásványi anyagok) egyébként optimális szinten tarthatók. A termesztőházakba óránként és alap m²-enként 6 g széndioxid bejuttatásáról kell gondoskodni az optimális eredmény eléréséhez. A levéltrágyázás jelentősége különösen nagy, ha a megtermelt széndioxid adagolása a termesztőházakban, a fűtött fóliasátrakban megfelelő műszerezés mellett, automatikusan megy végbe. A mezőgazdaság további területein (élelmiszer-ipari, ill. gyümölcs- és zöldségtároló hűtőházak, stb.) ún. szárazjég is előállítható széndioxidból.

Erjesztett-anyag tároló

A biomasszát kierjesztést követően mezőgazdasági területek trágyázására alkalmazhatjuk. A biomassza-erjesztési eljárás során a nyersanyag jellemzőinek megfelelően két egymással egyenrangú termék keletkezik. A biotrágya mint termék fontos tényezője a biogáz gazdaságos termelésének, ezért a jó minőségű előállítása nagy figyelmet igényel.

A **nedves erjesztési** technológiával nyert folyékony biotrágya mezőgazdasági területen való hasznosításánál a szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezéseire és hasznosítására vonatkozó előírásokat kell betartani. Egészségügyi korlátozás nélkül akkor lehet vele hagyományos módon trágyázni, ha a *fekál coliform szám* 1 g-ban legfeljebb 1 db, salmonella 1000 g-ból nem mutatható ki, a biotrágya 100 g-jában bélféregpeték vagy protozoa ciszták nem fordulnak elő. A védőtávolságok folyékony biotrágyával való trágyázás esetében azonosak a normál istállótrágyával megköveteltekkel (pl. vízművédőzónák, utak, épületek közelítése) (Barótfi 1998). A nedves eljárású biogáz-, biotrágya-előállító eljárás folyadékfázisa az ún. folyékony biotrágya a koncentrált szennyvízhez vagy a különböző hígtrágyákhoz hasonló (Kerekes 2007). Ennek megfelelően mind a szennyvizekre, mind az iszapokra vonatkozó, valamint a hígtrágyakezelésre előírt rendelkezéseket figyelembe kell venni.

Különbség van a szennyvíz és/vagy biotrágya között, mivel annak származása, összetétele, fertőzősége, kémiai káros hatása különböző. A biotrágya rész a legcélszerűbben előállított szerves trágya, lényeges hatása van a termelésre, elenyésző veszélyességi faktorokkal. A folyékony biotrágya kiszórását, elhelyezését a talaj felszínén be kell fejezni:

- gabonaféléknél a virágzás kezdetéig,
- réten, legelőn pillangós és szálas takarmánynövényeknél július és augusztus hónapban 14 nappal a legeltetés vagy kaszálás megkezdése előtt
- réten, legelőn, pillangós és szálas takarmánynövényeknél július és augusztus hónapok kivételével 21 nappal a legeltetés vagy kaszálás megkezdése előtt;
- ipari és takarmányozási célra termesztett hüvelyeseknél, szemes takarmányoknál, gyökér- és gumós növényeknél, valamint olaj- és rostonövényeknél 30 nappal a betakarítás előtt.

A nedves eljárással előállított biotrágya hasznosításának lehetőségei:

- öntözéssel hasznosítás talajba való injektálással,
- tározás utáni hasznosítást,
- fázisbontás után a híg fázis tározás utáni hasznosítása öntözéssel, a szilárd fázisból komposzt gyártása.

A **félszáraz** biogáz-, biotrágya-előállító eljárás során feldolgozásra kerülő biomassa 17,5-25%-os szárazanyag-tartalommal kerül az erjesztőbe. Az eljárás végén 40-50%-os szervesanyag-lebomlás után térfogata kb. 15-20%-kal csökken. A félszáraz technológiai eljárással működő biogáz és biotrágya-előállító berendezés telephelyén kell megvalósítani a hagyományos almos biotrágya tárolót, valamint a folyamatossá tett erjesztési eljárás során a fennmaradt folyadéktöbblet biotrágyalé tározóját. A kész almos biotrágyát felhasználásig a mezőgazdaságilag művelt területen szétosztva létesített szarvasokban kell tárolni. Háztáji nagyságrendben a biogáz-, biotrágya-előállító berendezéseknél 1/2 évi kapacitású tárolókat kell létesíteni (Barótfi 1998). A biotrágya megőrzi az erjesztőbe bevitt tápanyagokat, ill. azokat a növények számára könnyebben felvehetővé változtatja biológiai eszközeivel. Ennek megfelelően célszerű a mielőbbi felhasználás. A talajtól és a növénykultúrától függően a felhasználható félszáraz biotrágya mennyisége:

- kötöttebb talajoknál 4 évenként 30-40 t/ha,
- homokos laza talajoknál 2 évenként 20-30t/ha.

A félszáraz biotrágyának biomasszából történő előállítása módot ad arra, hogy az állati trágyákon – mint alpanyagon – kívül más mezőgazdasági mellékterméket is bevonjunk az eljárásba. Ahhoz, hogy a végtermékként kapott almos biotrágya megfelelő legyen, a következő végtermékkomponens-arányokat kell figyelembe venni:

- maradék szerves anyag 15-22%,

- félszáraz biotrágya nedvesség- (víz-) tartalma 75%,
- N-tartalom 0,5% felett,
- P₂O₅-tartalom 0,25-0,6%,
- K₂O-tartalom 0,5-0,6.

Amíg a nagy víztartalmú folyékony biotrágyát több felhasználó esetében a berendezés közelében, addig egy nagyobb gazdaságnál, annak súlypontjában szükséges elhelyezni. Ezzel szemben az erjesztési folyamat végén a félszáraz biotrágyát a hagyományos konzisztenciájára tekintettel azonnal a felhasználás helyére lehet szállítani. Ezen eljárásnál mód nyílik arra is, hogy a trágyázandó terület más-más tápanyagigényét az erjesztés utolsó hetében a megkívánt beltartalomra állítsák be, és így a talaj és növény tápanyagigényeit optimálisan fedezzék.

Az erjesztett-anyag tárolók építésére és üzemeltetésére 27/2006. (II.7.) kormányrendelet (az ún. „nitrátdirektíva”) ad jogi háttérrel (*Horváth 2007*). Hasonlóan a hígtrágya tározókhoz a biogáztermelés meléktermékének (szubsztrátum) tárolását, az előírások megtartását felügyelőség illetve talajvédelmi hatóság ellenőrzi (VÁTI 2000). A biotrágya talajban történő felhasználása megfelelő eljárásokkal talaj-biokemizációt jelent, szemben a kemizációval. Ezzel a természetes ökoszisztéma nyújtotta lehetőségeket használjuk fel. Az anaerob fermentáció céljára számításba vehető anyagok közül mint potenciális környezetszennyezők az állattartó telepeken keletkező hígtrágya, valamint a vágóhídi és a kommunális szennyvíz-tisztításból származó szennyvíziszapok számítanak. Különös gondot jelent a hígtrágya elhelyezése, hasznosítása. A környezetszennyező hatást a hígtrágya nagy tömege, beltartalma és a kedvezőtlen bakteriológiai állapota váltja ki. Tapasztalatok alapján a kierjesztett maradványanyagban a patogének száma a kiinduláshoz képest jelentős mértékben csökken. Jelentős mértékben fogy a vírusok és paraziták mennyisége is. Ennek ellenére a kierjesztett maradványanyag higiénias és egyéb (bakteriológiai és kémiai) jellemzők terén különösen a nagyüzemi eljárásoknál megfelelő ellenőrző vizsgálatokat igényel, mert ez a biztonságos hasznosításhoz elengedhetetlen. Az említett környezetszennyező anyagok kezelésénél elsődleges cél a környezet egyensúlyának fenntartása. Nem mindegy azonban, hogy mibe kerül a kezelés, és milyen mértékben térül vissza költsége. Ezért van ökonómiai is létjogosultsága az anaerob fermentációnak, mivel a képződő biogáz, valamint más hasznosítható anyagok értéke kompenzálja a költségeket, trágyahasznosító változatoknál pedig gazdaságossá teszi a folyamatot. Szaghatását és sterilizáló képességét (pl. gyomogvak csírázóképeségének csökkenése) tekintve is kedvezőbb paraméterekkel bír a kierjesztett receptura, mint a normál trágya.

A nitrogén tartalmú műtrágyák használatával ellentétben a biotrágya szinte alig csökkenti a talaj metán-oxidáló képességét, így nemcsak a tápanyag-utánpótlás, hanem a környezetvédelem területén is kedvezőbb a biotrágya használata (*Willison et al.* 1995).

Energiakonvertálás, blokkfűtőmű

A keletkezett biogáz hasznosítása leginkább az alábbi módokon történhet:

- helyi, vagy országos földgázvezetékeken keresztül történő értékesítés,
- komprimálás után gépjárműmotorokban hajtóanyagként,
- gázmotorokban (blokkfűtőművekben), villamos- és hőenergia együttes előállításával.

Nagyüzemi termelésnél a biogázhasznosítás blokkfűtőművekben történik. A modulrendszerű, konténerbe épített berendezések segítik a szállítást, elhelyezést, esetleges karbantartást (cserét), csökkentik a zajkibocsátást. Egy gyártó általában többféle gáz hasznosítására kínál lehetőséget. Így pl. létezik depóniagáz, széngáz, biogáz hasznosítására kialakított egység. Az egységeknek a főbb részei:

- gázmotor,
- generátor,
- vezérlőberendezés,
- transzformáló és szinkronizáló berendezés,
- hőcserélő- és kipufogórendszer,
- egyéb berendezések.



23. ábra: Deutz gyártmányú biogáz-motor a tengelyére szerelt generátorral és blokkfűtőmű egység (Pro2) (saját forrás)

A blokkfűtőművek (23. ábra) különböző teljesítményű kivitelben kerülnek piacra, általában az elektromos teljesítményüket vagy az elektromos és a termikus teljesítményüket jelölik. Az összhatásfokuk –a termikus energia hasznosítása révén – 75-85% közötti. Ebből megközelítőleg 35-40%-nyi az elektromos, 40-45% pedig a termikus rész. A villamosenergia-termelés aszinkron- esetleg szinkrongenerátorral történik.

A hulladékhő hasznosítása általában a hideg hónapokban nem okoz gondot. Sokszor nehéz olyan gazdasági egységet találni, amelynek éves hőenergia szükséglete kiegyenlített. A hulladékhő egy részét általában felhasználják a fermentorok fűtésére. Ennek a hazai tapasztalatok szerint vett értéke mintegy 25-33%-a az összes termelt hőenergiának. Mivel a kisebb gazdaságokban ez nem oldható meg, ezért a biogázmotorokhoz tartozik egy vészhűtő, azért, hogy a távozó hőt a szabadba juttassa. Ez lehet valamilyen lamellás hőcserélő, pl. egy személy- vagy teherautó hűtője, amelynek ventilátorát a hálózatról működtetik. Mivel a motor hűtőrendszerét a termosztát 85-95 °C között szabályozza, ezért a motor alsó részén kilépő hőmérséklet nem haladhatja meg a 80 °C hőmérsékletet. Ez a feltétel nehezen teljesül, mivel a hűtővíz egy tárolóba jut általában, ezért a motor és a fűtővezeték közé egy háromutas keverőszelepet szoktak elhelyezni. A hűtővíz mellett a kipufogógáz termikus energiáját is felhasználják; hőcserélő segítségével hasznosítják. Ha a kipufogógáz hőmérséklete nem éri el a 100 °C-ot, akkor a hőcserélő jól működik. Ellenkező esetben vagy alulméretezés vagy eldugulás lehet a hiba forrása.

A jövőbeni fejlesztések a Stirling-motoros hasznosításra, illetve a tüzelőanyag-cellás megoldásokra koncentrálnak. A Stirling-motor egy „külső hőbevezetésű” hőerőgép, dugattyús-forgattyús mechanizmussal. Gyakran külső égésű motornak is nevezik – helytelenül – mivel a hőenergia bevezetése nem feltétlenül égésből kell, hogy megtörténjen. A Stirling-motor körfolyamat többféle munkaközeggel valósítható meg, a körfolyamat termikus hatásfoka nagyobb, mint a gőzgépé, sőt a dugattyús motorok (Otto, Dízel) hatásfokát is elérheti.

A 20. század végétől, a környezetvédelemi szempontok felértékelődésével, sokan a tüzelőanyag-cellákat tekintik a jövő meghatározó energia-termelő eszközeinek. Hatásfokuk elérheti a hőerőművek és hőerőgépek hatásfokának kétszeresét, károsanyag-kibocsátásuk lényegesen kisebb (Gimesi 2003).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 *A mezőgazdasági bioreaktorok logisztikai alapjai*

3.1.1 A logisztikáról általában

A logisztikának, mint tudományágnak több meghatározása is létezik. Ezek közül az egyik legismertebb: „a logisztika alapanyagok, félkész-, és késztermékek, valamint a kapcsolódó információk származási helyről felhasználási helyre történő költséghatékony áramlásának tervezési, megvalósítási és irányítási folyamata, a vevői elvárásoknak történő megfelelés szándékával” (Prezenszky 2003). A logisztika feladata az anyagok és információk rendszereken belüli és rendszerek közötti *áramlásának* tervezése, szervezése, irányítása és ellenőrzése.

A logisztikai tevékenység célja az ún. **6M**-elvvel fogalmazható meg, miszerint a logisztikai feladatokat úgy kell ellátni, hogy a

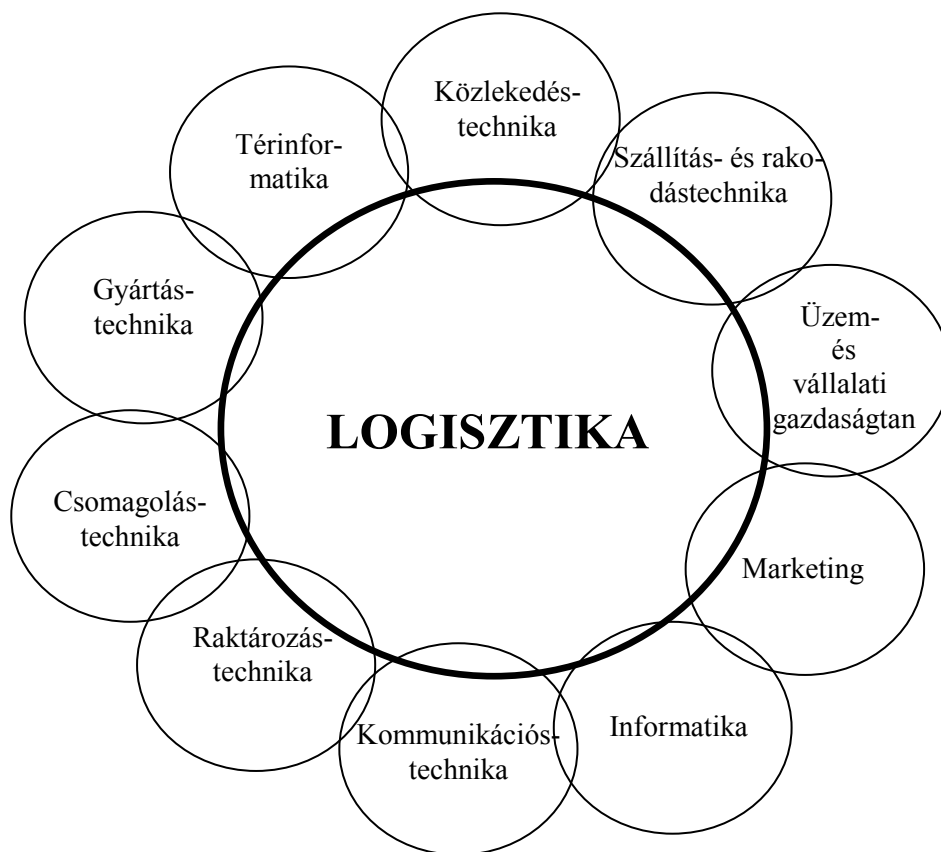
- Megfelelő árú,
- Megfelelő időpontban,
- Megfelelő helyre,
- Megfelelő mennyiségben,
- Megfelelő minőségben ,
- Megfelelő költséggel

a piaci igényeknek megfelelően eljuttatható legyen. Ezen elv szerint a cél nem a költségek minimalizálása, hanem a folyamatok optimalizálására ösztönöz (Prezenszky 2003). Önmagában a logisztika tudomány nem sorolható egyik tudományágba sem. A besorolás nem tehető meg azért, mert egyes területei mind része úgy a közgazdaságtannak (marketing, menedzsment, vállalati gazdaságtan, stb.), mint a műszaki tudományoknak (gyártástechnológia), a matematikának (operációkutatás, matematikai statisztika) vagy az informatikának (infokommunikáció). Mindezeket figyelembe véve a logisztika ún. multi- és interdiszciplináris, integratív jellegű tudománynak tekinthető (24. ábra).

A logisztikai folyamatok tervezése meghatározza egy termelő egység gazdasági és termelési paramétereit. Közvetett és közvetlen hatása van a termeléshez illeszkedő logisztikai rendszer

illesztésére, fejlesztésére, valamint a költségek (termelési, szállítási anyagmozgatási) csökkentésére. A fejlett országok már az 1970-es évek elején felismerték azt a ténytet, hogy a logisztikai költségek a bevételek 20-25%-át is elérhetik (Benkő 2000).

A logisztika hatékony működésének feltétele a logisztikai rendszer irányítására, ellenőrzésére alkalmas önálló szervezeti egység az ún. logisztikai részleg (osztály, csoport, stb.) létrehozása. Ez a szemléletmód az egyes feladatokat újracsoportosította. Azok a tevékenységek, amelyek korábban a marketing vagy a termelési menedzsment feladatkörébe tartozott az ebben az esetben a logisztikai csoport felelősségévé vált.



24. ábra A logisztika mint integratív jellegű multidiszciplináris tudomány

(Prezenszky 2003)

A logisztikát a szakirodalom (Benkő 2000; Prezenszky 2003) három nagy területre osztja fel:

- anyagellátási (vagy beszerzési)
- termelési és
- elosztási logisztika.

E három területhez különböző anyagi és információs területek kapcsolódnak (15. táblázat).

15. táblázat: Logisztikai tevékenységek csoportosítása (Benkő 2000)

	Anyagellátás	Termelés	Disztribúció
Anyagi folyamat	Beszállítás, anyagmozgatás, stb.	Anyag-, félkész- és késztermék raktározás; anyagmozgatás	Csomagolás, anyagmozgatás, kiszállítás
Információs folyamat	Tervezés, beszerzés, rendelés, ellenőrzés, kínálat-nyilvántartás	Készletgazdálkodás, termelésprogramozás, raktári nyilvántartás	Vevőszolgálati tevékenység, vevő- és rendelés-nyilvántartás

A **beszerzési logisztika** felelős azért, hogy a szervezet főtevékenységéhez szükséges alap-, segéd-, és üzemanyagok, alkatrészek a 6M elvnek megfelelően rendelkezésre álljanak. Ez jelenti az áruk (anyagok, félkész-, késztermékek) beszerzését/rendelését, a különböző földrajzi pontok közötti mozgatását a beszerzés helyétől a gyártó, vagy feldolgozó helyéig, illetve a beszerzési helytől a nagykereskedelmi vagy kiskereskedelmi raktárig. Ebből következően a beszerzési logisztika feladata az alkalmas anyagáramlás és az ehhez kapcsolódó információ áramlás tervezése, szervezése, irányítása és ellenőrzése.

A **termelési logisztika** az alapanyagraktártól a termelési folyamat különböző fázisain át a késztermékraktárig terjedő anyagáramlást, tárolást tervezi, szervezi és irányítja. Feladatai: a bemenő oldalon az anyagok, a kimenő oldalon a késztermékek készletezése, tárolása és megóvása, az üzemek és munkahelyek közötti anyagmozgatási, tárolási feladatok megoldása, a munkahelyek kiszolgálása, a termelésközi készletekkel való gazdálkodás. Míg a beszerzésnek és az elosztásnak (disztribúciónak) mindig szembe kell néznie a piac bizonytalanságaival, addig a belső áramlások mindig vállalati kontroll alatt tarthatók. A külső bizonytalansági tényezők, a véletlenszerű vevői döntések, az anyagihiány, stb. a belső folyamatokat jelentő termelési logisztikában kiküszöbölhetőek, így a belső anyag- és információáramok bizonyos fokig függetleníthetőek a be- és kifelé irányuló mozgásoktól (Benkő 2000).

Az **elosztási logisztika** (fizikai disztribúció) felelős a késztermékeknek a termőhelyről a fogyasztókhöz történő eljuttatásáért. Feladata a késztermék raktártól a felhasználóig, fogyasztóig terjedő termék- és információáramlás tervezése, szervezése, irányítása és ellenőrzése. Lényegében a disztribúció olyan híd amely fizikailag köti össze a termelőt a fogyasztóval.

A termékek életciklusa csökkent a fejlett ipari országokban, egyre gyorsabban fejlesztettek ki újabb és újabb termékfajtákat. Különösen érzékelhető ez egyes gépipari termékek esetében. Az

ellátás – termelés – elosztás kapcsolatrendszere, illetve ezek együttes átfutási ideje egyre meghatározóbb lett az életcikluson belül a piaci verseny területén (*Halászné Sipos 2004*). Ez az átfutási idő az összetevő részfolyamatok idejének, valamint a bennük hagyományosan kialakult készletek (raktárak) mennyiségének csökkentésével és megszüntetésével rövidíthető. Az összetevő részfolyamatok közül termelési átfutási idő rövidítését az adott terméket előállító vállalat saját technikai, technológiai, szervezési fejlesztéssel meg tudja oldani. Technikai, technológiai oldalról az automatizálás a műveleti idők csökkentését, szervezeti oldalról pedig a Just In Time (JIT) (épp időben, percre kész) – elv alkalmazása a termelési folyamaton belül a műveletek olyan térbeli illesztését teszi lehetővé, amellyel a folyamaton belüli várakozások, készletek minimálisra vagy nullára csökkennek. Mottója: „Ma termeld meg azt, amit holnap felhasználasz.”

A termelési folyamatok ilyen módon történő fejlesztésével diszharmónia alakult ki az beszerzés – termelés – elosztás hármasságán belül. Az ugrásszerűen lerövidült termelési időhöz ennek többszörösét kitevő ellátási, elosztási idők kapcsolódnak. Érdekesképpen megemlíthető, hogy a Siemens vállalatnál 1990-ben végzett vizsgálatok szerint a gyártási átfutási időnek mindösszesen 15%-át a termelés (gyártás), míg 60%-át a beszerzés és 15%-át az elosztás tette ki. A beszerzési oldalon a 60%-ból 25%-ot, az elosztási oldalon a 25%-ból 15%-ot, tehát mindösszesen 40%-ot tett ki a nyugalmi állapotban történő várakozás (zömben tárolás) időtartama (*Prezenszky 2003*).

A logisztika egyik legnagyobb eredménye, hogy az eddig különállóan kezelt tevékenységek integrálására törekszik. Ám sokszor ez az erény egyben gát is, mert az elterjedéséhez paradigmaváltásra van szükség.

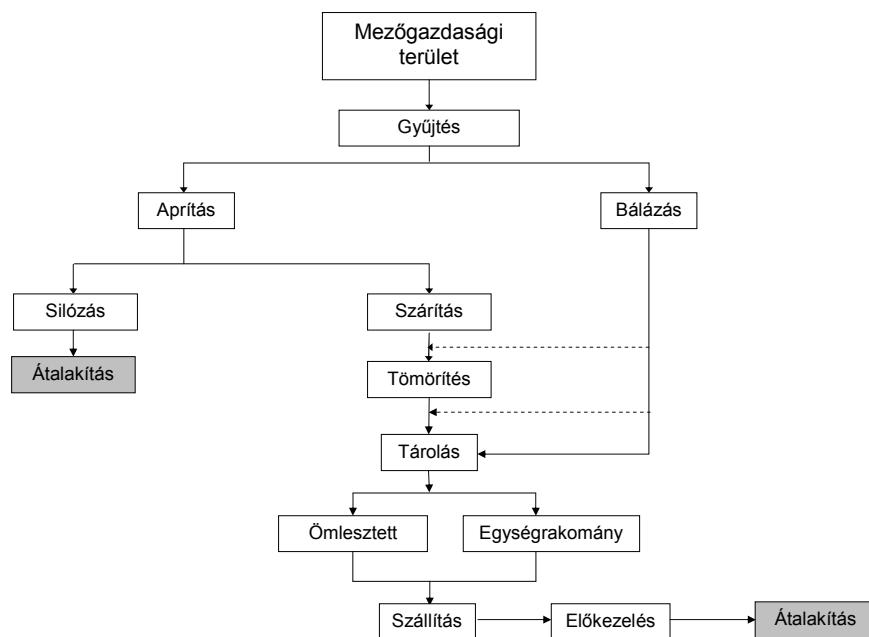
3.1.2 A bioreaktor inputanyag logisztikai alapjai

Az 1970-es évektől kezdődően az integrációra való törekvés egyre nagyobb szerepet töltött be a vállalati vezetésben. Ennek oka az volt, hogy a legnagyobb gazdasági eredményt nem az egyes részterületek költségeinek a legalacsonyabb szinten tartásával, hanem egy relatív optimum megvalósításával lehetett elérni. Ennek a relatív optimumnak a meghatározása a vállalati vezetés és a logisztika feladata. Ugyanilyen optimumot lehet meghatározni a biomassza előállító és hasznosító gazdasági egységeknél is. A világ vezető országaiban kutatások folynak a logisztikai költségek csökkentésére, így a bevétel növelésére. Ez csak abban az esetben érhető el, ha becsléssel tudunk élni a logisztikai költségekre. A költségek becslése lehetséges:

- heurisztikusan,
- modellek segítségével,
- szimulációval.

A heurisztikus közelítés sokszor sikeresen alkalmazható anélkül is, hogy megfogalmazzunk egzakt matematikai modelleket, amelyek egy rendszer kapcsolatai közötti összefüggéseket írják le – általában - matematikai összefüggések segítségével (*Nguyen et al.* 1996). Ha viszont sem heurisztikusan, sem modellekkel nem (vagy rendkívül nagy számítási háttér mellett) lehet megoldani az optimalizálási feladatot, akkor még a szimulációhoz folyamodhatunk, amely nem biztos, hogy minden problémára választ ad.

Az Egyesült Államokban kutatások folynak a biomassza hasznosítás logisztikai költségeinek csökkentésére (*Sokhansanj et al.* 2006). A kutatás konkrét tudományos célja egy új modell feltárása, illetve a modell alkalmazhatóságának bizonyítása szimuláció segítségével. Leginkább a szilárd biomassza hasznosítás problémáira koncentrálnak a kutatás, modelljeit és fejlesztéseit is e cél megvalósítására irányítja. A 25. ábra ennek a modellnek (IBSAL – Integrated Biomass Supply Analysis & Logistics) a blokkdiagramját szemlélteti:



25. ábra: Mezőgazdasági szerves hulladékok logisztikai modellje (IBSAL)

(Sokhansanj et al. 2006)

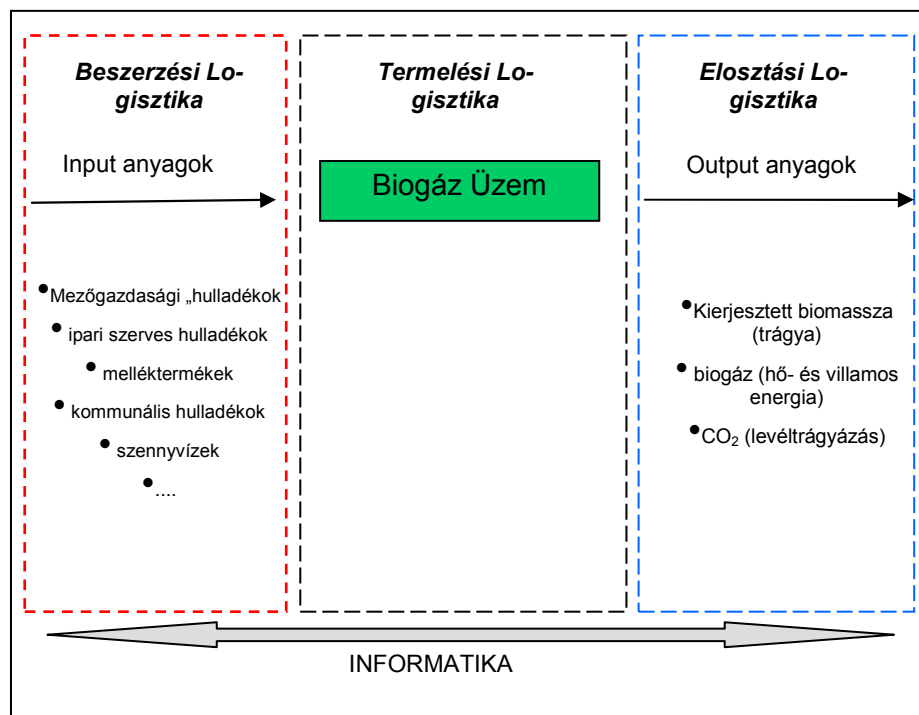
A kutatás objektív célja a 2004-es árszínvonalon számított 54 USD/tonna biomassa (szalma) manipulációs és logisztikai költségeit (bálázás, szállítás, tárolás, stb.) lecsökkentsék 35 USD/tonna szintre. A fenti ábra által szemléltetett modell lényegében a korábbi hagyományos kezelés (silózás, bálázás) és a száraz biomasszára jellemző kezelési technológiák integrációjából született meg ((szárítás - tömörítés(pelletálás)) – tárolás). Ha figyelembe vesszük a biomassa inputanyagok nedvességtartalmát, akkor azt lehet mondani, hogy a szárítás és a pelletálás után lényegében a szemes terményekkel azonos módon kezelhető, hasonló fizikai jellemzőkkel rendelkező anyagot lehet nyerni, amely a későbbiekben a logisztikai költségeket jelentősen csökkenti.

A szilárd biomassa logisztikai modelljéhez hasonló a bioreaktorok esetében is elkészíthető. A modell viszont nem tartalmazza - az ipari méretű bioreaktorok technológiájából következően – a szárítás és tömörítés technológiai alrendszerét. A biomassa hasznosítása valamint az inputanyagok beszállítására során egy sor olyan probléma lép fel, amely a hagyományos hasznosítási megoldásoknál nem tapasztalhatunk. A 16. táblázat néhány speciális szempontot vesz figyelembe. Ezeket a konvencionális eljárások során nem volt szükséges figyelembe venni.

16. táblázat: Megújuló és hagyományos energiákra épülő alapanyagok tulajdonságai
(Narodowslawsky et al. 2006)

Hagyományos (kémiai) eljárások	Megújuló alapanyagforrásokra (biomasszára) épülő eljárások
Az alapanyag minőségre szabvány	Különböző minőségű alapanyagok
Folyamatosan rendelkezésre álló alapanyagok	Alapanyagok erősen időfüggők
Centralizált alapanyagforrások	Decentralizált alapanyagforrások
A logisztikának kisebb szerepe az eljárás-struktúrában	A logisztikának jelentős befolyása az eljárás-struktúrában

Szélesebb értelmezés szerint az egész biogáztermelést logisztikai folyamatok összességével jellemezhető (26.ábra).



26. ábra: Bioreaktorok logisztikai rendszerének felosztása (ifj. Sinóros-Szabó 2007)

A fenti ábra a klasszikus logisztikai csoportosítást mutatja be. Részrendszerként funkcionál az a három logisztikai területet összekötő informatika, hiszen a közöttük lévő kapcsolat nem szétbontható. Nagyon fontos itt a biogáz termelő üzemek (bioreaktorok) működésénél az információval való ellátás, hiszen ez a biztonságos termelés és az automatizálhatóság egyik pillére. Az információval való ellátás kétirányú, jelképezve ezzel az információáram tér- és időbeli külön-

bőzségét az anyagáramhoz képest. Összességében elmondható, hogy kívánatos a logisztika „6M” elvének betartása.

A beszállítás és az elosztás logisztikai szempontból vizsgálva akkor lenne a leghatékonyabb, ha a források és az igények összhangban állnának a termeléssel. Ez a valóságban nem oldható meg, a költségek (tárolás) minimalizálása mellett a termelés optimalizálása a fő feladat. Fontos megjegyezni, hogy a beszállított anyag (inputanyag) minőségétől nagymértékben függ a termelt gáz mennyisége, így a nyereség is. Ebből adódóan a beszállításra koncentrálna elmondható, hogy az alapanyag (kofermentáció nélküli vagy kofermentációval hasznosított receptura) összetétele, minősége tér- és időbeli megoszlása jelentős tényező a jövedelmezőséget tekintve. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a biológiai lebontás mértéke a többkomponensű receptura esetében akár 40%-kal is meghaladhatja az egykomponensű inputanyagból megvalósuló lebontáshoz képest (*Barótfi* 1998). Mindhárom alrendszer tartalmazza az - előzőekben említett informatika számára nélkülözhetetlen – adatbázisok adattal való feltöltését, amely biztosítja a hibák gyors meghatározását, a rendszer monitoring és controlling rendszerének az alapját. (*Benkő* 2000; *Prezenszky* 2003)

A vállalati arculat egyik fő meghatározó szempontja a vállalat logisztikai (rendszer)szemléletű állásfoglalása (*Armbruster* 2006). Általában elmondható, hogy magas logisztikai színvonalat képviselő cég technológiailag is hasonlóan magas színvonalat képvisel. A klasszikus logisztikai feladatok mellett (készletfigyelés és beszerzési stratégia, elosztási logisztika, controlling rendszer, stb.) 2010-re döntően az árumozgásokat az információ-áramlás készíti elő és határozza meg. Másik fontos és figyelembe veendő szempont a logisztika központok kialakítása. Ezeknek a centrumoknak a szerepe a klasszikus logisztikai műveletekben oly célt szolgálnak, amelyekkel a globalizáció hatására megnövekedett szállítási távolságok mellett minél gyorsabb és biztonságosabb (minőségibb) áruforgalmat tudnak biztosítani a maximális nyereség elérésével. A logisztikai központok építése és beüzemelése, kialakítása részben mára lezajlott, ugyanakkor a fejlesztésük – beleértve esetleges újabbak létrehozását is – a mai napig is kormányzatilag támogatott. Viszont: „Amennyiben nem építjük ki magunk a logisztikai hálózatot, kiépíti más. Ezzel kevesebb lesz a vállalkozói bevétel, a hazai középpolgári réteg kialakulásának további alapját veszítjük el, nagyban esünk el az agrártermelés saját befolyásolásának a lehetőségétől, továbbá alacsonyabb lesz a nemzeti jövedelemtermelési szint.” (*Kovács* 2003)

A biotüzelőanyagok kezelése, tárolása nehezebb, mint a hagyományos fosszilis eredetűeké, amely jórészt visszavezethető az alapanyagok „élő” biológiai eredetére, mivel a bio-inputanyagok hasznosítható energiatartalma kisebb, mint az általa helyettesített hagyományos forrásúaké. A bio-energiahordozókról továbbá az is megállapítható, hogy nem elég, ha az árak alacsonyabb, mint a fosszilis energiahordozóké; a különbségnek szignifikánsnak kell lennie (35-40 %).

Az állattartó telepek – figyelembe véve a jelenlegi kisebb outputtal rendelkezők folyamatos megszűnését – trágyakibocsátása pontszerűen lép fel és lokális környezeti terhelést jelent. Ugyanakkor az állattartó telepekről való elszállítás csak kis szállítási távolságok mellett gazdaságos elvégezni. Ugyanígy megfontolás szerint lehet beszélni a bioreaktorok outputjáról is.

A nyírbátori bioreaktor (vezető: Dr. Petis Mihály) beszállítási (input anyag) logisztikai vizsgálatához szükséges fontosabb üzemeltetési alapadatai: a teljes kapacitás 6.409 m^3 . A 28 napos tartózkodási idővel és évenként 280 munkanappal számítva 64.090 m^3 , amely $228,9 \text{ m}^3/\text{nap}$ térfogatáramot jelent. Ezt tömegáramban ($\rho=0,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) $210,6 \text{ t/nap}$ beadagolható mennyiséget jelent. A következő táblázat a nyírbátori bioreaktor alapanyag adatait tartalmazza.

17. táblázat: A nyírbátori bioreaktor inputanyagainak abszolút és relatív megoszlása
(Petis 2004)

Hulladékfajta megnevezése	Mennyiség [t/nap]	Mennyiség [t/év]	Relatív megoszlás [%]
Szarvasmarhatrágya	19,4	5432	9,2
Baromfitrágya	1,5	420	0,7
Növényi hulladék	11,4	3192	5,4
Vágóhídi szennyvíz és annak iszapja	110,1	30828	52,3
Konyhai és étkezési hulladék	2,3	644	1,1
Vágóhídi hulladék (belsősegek, gyomor és béltartalom, vér, stb.)	57,3	16044	27,2
Sterilizált állati zsírok	4,6	1288	2,2
Sterilizált állati tetem	4	1120	1,9
Összesen	210,6	58968	100

Egy javarészt mezőgazdasági eredetű inputanyagokra alapozott biogázüzem gazdaságosságát nagymértékben befolyásolja az inputanyagok beszállítási távolsága. Általánosan elfogadott tény, hogy ha a távolság nagyobb, mint 10 km, akkor a gáztermelés nyereségessége nem bizto-

sítható. Természetesen egyes esetekben ettől – mind negatív, mind pozitív irányban – eltérő eredményekkel is számolhatunk.

Saját termények felhasználása esetén a szállítási távolság akár nagyobb is lehet, mivel az inputanyag beszerzési ára minimalizált (ingyen alapanyag), így a szállítás nagyobb költségeket is elbír. Ebben az esetben ugyanakkor számolnunk kell mind a pozitív (környezettudatos nevelés, reklám), mind a negatív externális hatásokkal (szaghatás, üzemszervezési problémák, veszélyes hulladékok ártalmatlanítására fordított költségek csökkenése, trágyák tápanyagtartalomvesztésének csökkenése, stb.). Ezeken túlmenően elmondható, hogy az energiatermelés gazdaságossá tételét (az „olcsón termelést”) befolyásolja a:

- korszerű géppark (teljesítmény, megbízhatóság, szervízidő és –költség, stb.),
- nagy volumenű termelés (alacsony marginális költségek),
- szakismeretek rendelkezésre állása.

A 18. táblázat néhány mezőgazdasági termény hasznosítható biogáz mennyiségét foglalja össze:

18. táblázat: Növényi és állati eredetű biogáz hasznosítható mennyisége (Bai 2007)

	Megnevezés	Biogáz (l/kg)			Hasznosítható biogáz (l/kg)
		alsó érték	felső érték	Átlag érték	
Állati eredetű forrás (trágya)	sertés	340	550	445	338
	szarvasmarha	90	310	200	152
	baromfi (csirke)	310	620	465	353
	baromfi (pulyka, liba)	455	505	480	365
	ló	200	300	250	190
	istálló almostrágya	175	280	225	171
	juh	90	310	200	152
	nyúl	380	464	422	321
	prémesállatok	347	413	380	289
Növényi eredetű forrás	búzaszalma	200	300	250	190
	rozsszalma	200	300	250	190
	zabszalma	290	310	300	228
	kukoricaszár, csutka	380	460	420	319
	napraforgószár	279	321	300	228
	repceszalma	180	220	200	152
	rizs szalma	170	280	225	171
	burgonyaszár	280	490	385	293
	paradicsomszár	361	385	373	283
	vágott cukorrépafej	400	500	450	342
	fű	280	550	415	315
	elefántfű	430	560	495	376
	nád-káka	170	260	215	163
	here	430	490	460	350
	zöldszékelyhulladék	330	360	345	262
	palántamaradék	602	638	620	471
lomb	210	290	250	190	
vegyes mg-i hulladék	310	430	370	281	
Szennyvíziszap		310	740	525	399

Előfordulhat, hogy egy adott recepturát valamelyik alkotó hiánya következtében meg kell változtatni. A fenti táblázatban látható, hogy néhány termény közül vannak ún. helyettesítő termékek, amelyek a gáztermelés szempontjából – ugyanolyan körülmények között – hasonló produktummal rendelkeznek. Ilyen pl. a búzaszalma – rozsszalma, stb. E helyettesítő termékek esetén további vizsgálatokra van szükség, amelyek biztosítják a reaktor üzemét anélkül, hogy a gáztermelésben jelentős változás következne be.

3.2 Szervesanyag hulladékok, mint alapanyagok

A hulladékokat minőségük szerint a fontos osztályozni. Ezeknek az ismerete különösen a kezelés, a feldolgozás, az ártalmatlanítás szempontjából jelentős. Általában fizikai, kémiai és bio-

lógiai jellegű paraméterek szerint végezzük az osztályba sorolást. További szempontok szerint is lehetséges a tagozódásuk hulladékok osztályba sorolása (pl. halmazállapotuk, eredetük, veszélyességük szerint), amelyek ismertetése nem tárgya a vizsgálataimnak.

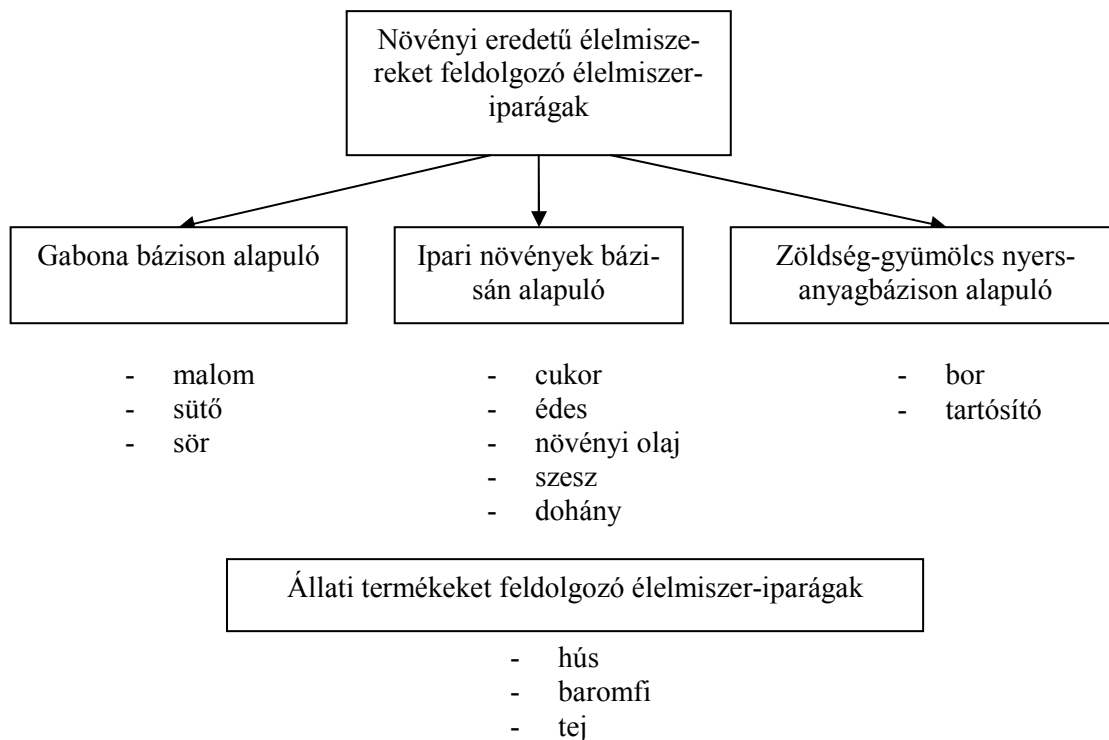
Az egyik legelterjedtebb nézőpont a hulladékok hasznosítására, hogy a keletkezett melléktermékeket keletkezési formájuk szerint kell hasznosítani, tekintettel a technológiai – manipulációs költségek minimalizálására. A Magyarországon évenként keletkező mező- és erdőgazdálkodási melléktermékeket a 19. táblázat foglalja össze. A táblázat adataiból jól látható, hogy a minél nagyobb egy melléktermék fajlagos nedvességtartalma, annál kisebb a ténylegesen hasznosítható energia értéke.

19. táblázat: Évenként keletkező mező- és erdőgazdasági melléktermékek

(Vermes 1998)

	Egység	Bálázott szalma	Kukorica-szár	Kukorica-csutka	Napraforgószár	Nyessedék, venyige	Fahulladék
Évenként termelt mennyiség	millió t	4,5-7,5	1,0-1,2	10,0-13,0	0,4-1,0	1,0-1,2	1,0-1,5
Évenként eltüzelhető mennyiség	millió t	1,5-2,0	0,4-0,6	3,0-4,0	0,3-0,4	0,5-0,7	0,5-0,7
Nedvességtartalom betakarítás-kor	%	10-20	30-40	40-65	30-35	30-45	20-45
Nedvességtartalom tárolás után	%	13-15	12-20	22-43	18-25	15-20	15-25
Fűtőérték	MJ/kg	13,5	13,5	13,0	11,5	14,8	15,0

A biogáztermelés szempontjából másik fontos nyersanyagcsoportot az élelmiszeripar termeléséből származtatjuk. Ezeknek az alapanyagoknak a túlnyomó része az élelmiszeripari technológiák mellékterméke. Az élelmiszeripar ágazatait a 27. ábra foglalja össze.



27. ábra: Élelmiszer-iparágak csoportosítása a feldolgozott nyersanyagok és a keletkezett melléktermékek alapján (Vermes 1998).

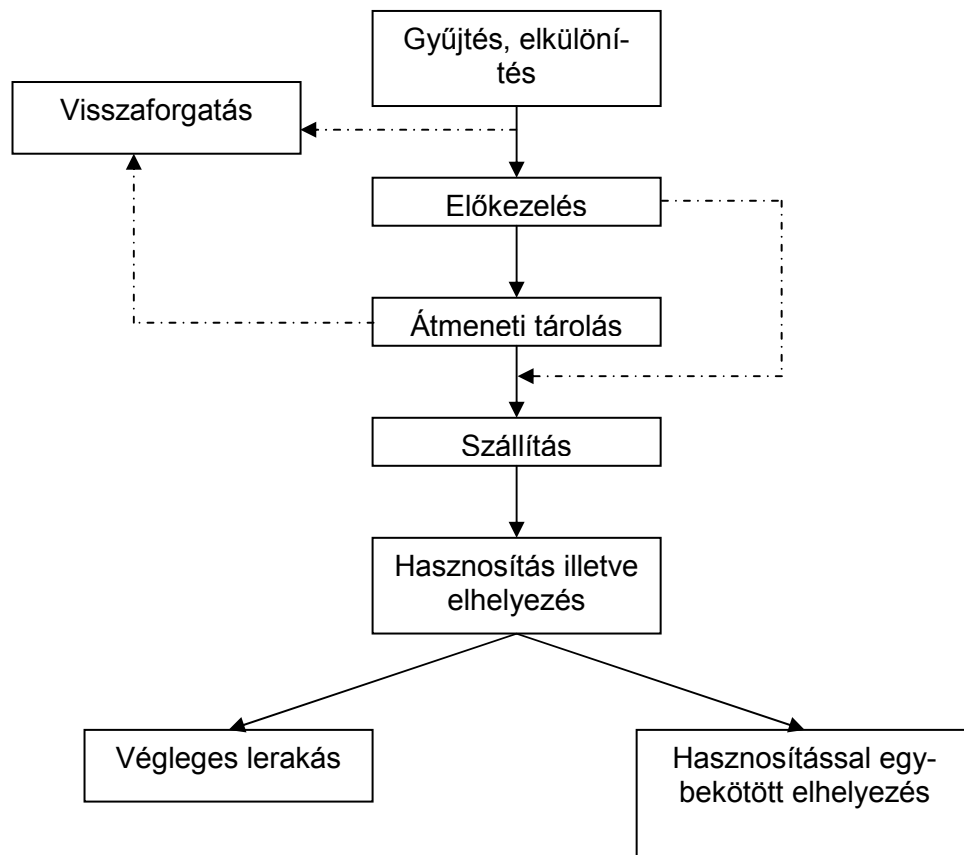
A szervesanyag hulladékok legfontosabb fizikai és kémiai jellemzői a kezelési eljárás meghatározásához a 20. táblázat tartalmazza.

20. táblázat: Hulladékok legfontosabb tulajdonságai (Vermes 1998)

Fizikai-kémiai tulajdonságok	Komplex tulajdonságok	Biológiai tulajdonságok		
		Ökotoxikológiai	Toxikológiai	Fertőzőképesség
Halmazállapot Kémhatás Összetétel és koncentrációk: - nedvességtartalom - szervesanyag tartalom - elemanalízis - kationok és anionok Fűtőérték Reakciók vízzel, savval, lúggal Oldhatóság vízben, szerves oldószerben Korrózióvitás Stb.	Lebonthatóság - biológiai degradáció - foto-degradáció - kémiai lebontás Akkumuláció - szárazföldi élőlények - emberi szervezet - vízi élőlények	Növényi Állati Mikroorganizmusok	Akut Szubakut Szubkrónikus Mutagenitás Teratogenitás Karcinogenitás	Bakteriológiai Vírológiai Parazitológiai

A szervesanyag hulladékok komplex környezeti hatásának megítéléséhez költséges vizsgálatok szükségesek, amelyeket a 16. melléklet tartalmaz (Vermes 1998). A hulladékok minősítésére

vonatkozó vizsgálatok rendjét és körét a 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet szabályozza. A szervesanyag hulladékok kezelésének általános technológiája a 28. ábra szerint vázolható.



28. ábra: Hulladékok kezelésének logisztikai blokkdiagramja (Vermes 1998)

Az előkezelés és az átmeneti tárolás felcserélődhet, sőt egyes esetekben ki is maradhat a technológiai sorból. Az átmeneti tárolás és a végleges deponálás esetén viszont a szükséges előkezelés leginkább a lerakást közvetlenül megelőző művelet. A szállítás természetesen minden technológiai lépcső között felmerülhet sokszor eltérő követelményekkel. A hulladék-visszaforgatása általában a gyűjtés vagy az előkezelés után van lehetőség. A gyűjtés legtöbbször keverten vagy szeparáltan történik. A hulladékkezelési/hasznosítási folyamat ismeretében történik a gyűjtés szervezése, tervezése. A mérgező, veszélyes anyagokat kiszűrő ún. forrás-kontroll leginkább ebben a folyamatban lehetséges. A biogáz eljárás során törekedni kell veszélyes anyagok szállítására vonatkozó irányelvek betartására.

(A veszélyes áruk szállításáról a 94/55/EK irányelv szabályozza³¹. A határozatot többször módosították (2005-ben a 2005/263/EK határozattal))³².

Az előkezelésre a tárolás, szállítás, elhelyezés, vagy az alapanyag minőségének javítása miatt lehet szükség. Az előkezelés fizikai, kémiai és biológiai módszerei vannak, amelyek közül a a biogáztermelés technológiai láncában leggyakrabban előfordulók (*Vermes* 1998):

- a hulladék aprítása, rostálása, folyadékok szűrése,
- nedves anyagok keverése száraz illetve nedvszívó anyagokkal,
- homogenizáló keverések,
- nagy víztartalmú anyagok víztelenítése szárítással, vagy gépi úton,
- híg és szilárd fázisok szétválasztása,
- erősen savas vagy lúgos anyagok semlegesítése,
- nagy szervesanyag illetve más éghető anyagokat tartalmazó hőkezelése,
- zömmel növényi anyagokat tartalmazó hulladékok érlelése komposztálással.

Az előkezelési eljárások specifikusak, tehát az inputanyag és a felhasználás módja nagymértékben meghatározza ezek technológiáját. Az előkezelések általában az ártalmatlanítást is szolgálják, ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy csak olyan (típusú és volumenű) eljárásoknak szabad az inputanyagokat alávetni, amelyeket a hasznosítási technológia feltétlenül megkövetel, hiszen minden egyes művelet a nyereséget csökkenti.

Egyes esetekben, ha az összegyűjtött hulladék nem szállítható közvetlenül a felhasználás vagy a végleges elhelyezés helyszínére, vagy a technológia megkívánja, akkor előtárolókat kell építeni és ott kell az időszakos tárolást elvégezni. A tárlóhely lehet a telepen belül, a meglévő „berendezésekben”, ha a feltételek ott megteremthetőek. A hulladékok szállítása elkerülhetetlen, ugyanakkor mindig nagy kockázattal járó tevékenység. A mozgatás során e termékek szétoszóródhatnak, vagy olyan helyre kerülhetnek, amelyek ellenőrzése nehézkes, vagy nem megoldható. A szállítás történhet: közúton, vasúton, vízi úton vagy nagy mennyiségű folyékony

³¹ Sárosi, Gy. (2005): Az EU tagállamokban alkalmazott veszélyes áruk szállítására vonatkozó eltérő előírások alkalmazása. <http://tranzit.hu/1/hirek/2005/6/2005-09-01/az-eu-tagallamokban-alkalmazott-veszelyes-aruk-szallitasara-vonatkozo-eltero-eloirasok-alkalmazasa>

³² Economic Commission of Europe: ADR. 2007, http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2007/English/02-0%20E_Part%202.pdf

halmazállapotú anyag esetén csővezetéken keresztül. A fuvarozást nemzetközi egyezmények szabályozzák, külön kitérve a veszélyes árukra.

A veszélyes áruk nemzetközi közúton történő szállítását Európában az ADR (Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route) megállapodás szabályozza és a szállított anyagokat 7 csoportba sorolja. Ezek mellett minden árunak rendelkezik egy négyjegyű azonosítóval egy úgynevezett „UN”-számmal. Ezeket a szállítmányozás során figyelembe kell venni és fel kell tüntetni a bárcákon. A biogáztermelés esetén pl. az állati eredetű anyagok – állati tetemek azonosítója: UN2814, ADR alosztályi besorolása: 6.2.³³

Ugyanakkor az ADR tagjai – bizonyos korlátozások mellett – e szabályrendszerrel eltérhetnek. A belföldi eltérések két csoportra oszthatók nyilvántartásuk szerint:

1. Közúti szállítások – kis mennyiségekre vonatkozóan (RO-SQ: Road - Small Quantity)
2. Közúti szállítások – helyi jellegű szállításokra vonatkozóan (RO-LT: Road – Local Transport)

A biogázüzemek ellátására (és egyben az outputanyagok mozgatására) jellemző a szállítás alacsonyabb színvonalra a kisáru-mozgatáshoz képest. Erre a problémára világít rá a 21. táblázat. A raksúlykihasználási tényező megmutatja egy adott jármű maximálisan terhelhető (hasznos) tömegének és az aktuális hasznos tömegét a kihasználható raktérfogat figyelembevételével (Kassai 2005). (A tudományterület által használt „raksúlykihasználási tényező” helyett pontosabb lenne, ha „rakodási tömegkihasználásról” beszélnénk, mivel a viszonyítás mértékegysége: *kg* és nem *N*.)

³³ Economic Commission of Europe: ADR. 2007, http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2007/English/02-0%20E_Part%202.pdf

21. táblázat: Néhány mező- és erdőgazdaságban előforduló anyag a fűtőolajra vonatkoztatott raksúly-kihasználási tényezője (Kassai 2003)

Megnevezés	Nedvességtartalom [%]	Fűtőérték [kWh/kg]	Sűrűség [kg/m ³]	Fűtőolajra vonatkoztatott relatív raksúlykihasználás [%]
Szalma	15	4,17	100-135	4,92%
Búza	15	4,17	670-750	29,72%
Repcemag	9	6,83	700	47,99%
Faforgács	40	2,89	235	6,82%
Hasított fa (bükk)	20	4,08	400-450	17,41%
Fapellet	6	4,9	660	32,46%
Fűtőolaj	-	11,86	840	100,00%

Az egyes közlekedési ágazatok fajlagos energiafelhasználása lényegesen különböző. Ha a tonnakilométerre (tkm) vonatkoztatott energiafelhasználást a vízi közlekedésnél 1-nek vesszük, akkor a vasúti szállítást ~10, a közúti ~100 és a légi ~1000 értékre adódik. Mindezek mellett még a továbbiakban figyelembe kell venni azt is, hogy a belsőégésű motorok hatásfoka 30-35%. Ha viszont a szállítás energiafelhasználásának hatásfokát kellene megadnunk, akkor ez az érték önmagában téves eredményt adna. Ha a szállításra fordított energiát (beleértve a lég- és menetellenállás legyőzésére fordított energiát is) viszonyítanánk a kibányászott nyersolaj előállításához szükséges energiához (ide sorolva a kitermelés, szállítás, feldolgozás energiaigényét is), akkor kb. 10%-os értéket kapnánk. Tovább rontja a helyzetet, ha a szállító eszközök üresen térnek vissza a telephelyükre. Ekkor a közlekedés hatásfoka kb. 5%-os mértékű (Glatz 2000).

A közlekedés hatékonyabbá tétele lényegében egyenértékű a fajlagos energiafogyasztás csökkentésével. E hatásfok növelése három csoportba sorolható (Glatz 2000):

- primer megtakarítás: az erőforrás (motor) hatásfokának javításával,
- szekunder megtakarítás a jármű fejlesztésével,
- terciér megtakarítás: a forgalom és a fuvar szervezésével, logisztikával.

Ezen csoportosítás alapja, hogy az egyes csoportokkal más-más szakember foglalkozik. A primer és a szekunder lehetőségek a motor- és járműkonstruktörök feladata. Mindkét megtakarítási módnak a jellemzője, hogy csak bizonyos késéssel kerülnek be a fejlesztések. A szekunder fejlesztés (hajtáslánc, klíma fejlesztése és hatásfokának növelése) a gyakorlati életbe rövidebb idő alatt kerül be, mint a primer, de az összhatófok javításának mértéke kisebb, mint a primer esetében.

Az áru- és személyszállításban a tercier megoldás eredményez leggyorsabban és legkisebb fajlagos ráfordítás mellett hatásfok növekedést. E megtakarítás eszköztára többek között a gondos fuvarszervezés és útvonaltervezés, a gyűjtő- és elosztó szállítási rendszerek kialakítása. A műholdas követő és irányítórendszer kiépítése, járatszervezés és –optimalizálás javításával, TCM szolgáltatással (kikerülve a közlekedési dugókat) is nagymértékben csökkenthető a szállításra felhasznált energia mennyisége.

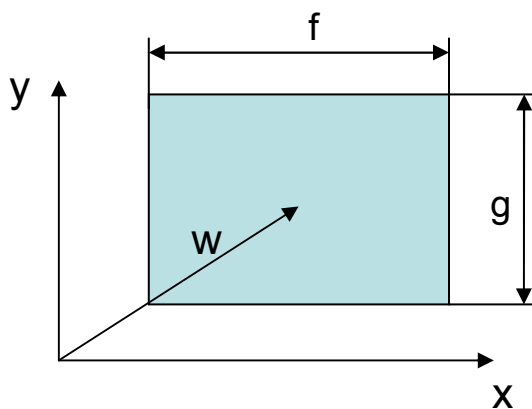
4. EREDMÉNYEK

4.1 A szállítási kapacitás meghatározása

A szállítási költségek meghatározásánál figyelembe kell venni az a tény, hogy a növekvő inputanyag szükséglet mellett növekednek a szállítási távolságok és ezáltal a szállítási teljesítmények is. Bár legtöbbször nem az az eset fordul elő, amikor kifejezetten energiatermelés céljából termelnek ún. energianövényeket és ezeket közvetlenül „biogázosítják”, hanem valamilyen mellékterméket (pl. kukoricaszárat, fertőzött növényeket, stb.) hasznosítanak. A jövőbeni támogatások és technológiai/biotechnológiai fejlesztések függvényében ezt az esetet is meg kell említeni.

A biogáztermelés inputanyagaira vonatkoztatott szállítási kapacitások meghatározásánál nyert eredmények felhasználhatóak a bioetanol, biodízel gyártásra vonatkoztatva is. A hasonlóság mellett ugyanakkor lényeges különbségek is húzódnak a technológiák jellegéből adódóan; a növényi alapú biogáztermelés alapadatait ki kell egészíteni az állati eredetűre is. Az alábbiakban figyelembe veszem mindkét inputanyag féleség hasznosításának lehetőségét is.

A Növényi biomassza hasznosítása esetén a beszállítási kapacitással arányosan növekszik az a terület, ahonnan be kell szállítani az adott terményt. Adott bioreaktortól „w” km távolságra lévő termőhely. „f” és „g” oldalú táblán megtermelt inputanyag (termőhelyi biomassza) tömege (29. ábra):



29. ábra: Bioreaktorok inputanyag-kapacitás meghatározásának jelölései

$$dM = Y \cdot a \cdot dx \cdot dy \quad (t) \quad [1]$$

ahol az

Y – termésátlag (tonna/hektár),
 a – a hasznosítható termőföld hányada,
 \bar{x} és \bar{y} – egységvektorok (m).

A teljes terménymennyiség így (figyelembe véve, hogy „ y ” és „ x ” is távolság dimenzióval rendelkezik („ s ”)):

$$M = \int_0^g \int_0^f Y \cdot a \cdot dx \cdot dy = Y \cdot a \cdot f \cdot g \cong Y \cdot a \cdot s^2 \quad (t) \quad [2]$$

A növényi input anyagok szállítási költsége a tömeg-függvényből eredeztethető:

$$dc_{1i} = dx \cdot dy \cdot Y \cdot a \cdot k \cdot b \cdot dx, \quad (Ft) \quad [3]$$

ahol a

k – fajlagos szállítási költség (Ft/t),
 b – konstans, amely figyelembe veszi az adott úthossz és a telephely és a termőhely közötti légvonalbeli és tényleges távolságának arányát.

Így a növényi input anyagok teljes szállítási költsége a költségfüggvények integrálásából adódik:

$$c_{1i} = \int_0^w \int_0^g \int_0^f Y \cdot a \cdot k \cdot b \cdot dx \cdot dy \cdot dx = Y \cdot a \cdot k \cdot b \cdot x \cdot y \cdot x \cong Y \cdot a \cdot k \cdot b \cdot x^3 = K_n \cdot x^3 \quad (Ft) \quad [4]$$

Természetesen nem egy helyről történik a beszállítás ezért

$$c_1 = \sum_{i=1}^n c_{1i}, \quad \text{ahol } i=1,2,3,\dots,n$$

Tehát a növényi biomasszából nyert biogáz szállítási költsége:

$$c_{1i} = K_n \cdot x^3$$

Vagyis adott termény szállítási költsége a szállítási távolság harmadik hatványával arányos. Ha 10 %-kal növekszik a terület nagysága, akkor $1,1^3$ – nal vagyis kb. 33 %-kal növekednek a költségek.

Az állati eredetű hulladékok logisztikai költségeit egyszerűbben határozhatjuk meg, mint a növényi eredetű inputanyagoknál, hiszen az állati eredetű termékek nagy része koncentráltan egy helyről származik, amelynek mérete nem befolyásolja a szállítási távolságot. A szállítást nagymértékben befolyásolja, hogy az állati eredetű inputanyagok évszaktól függetlenül közel azonos mértékben keletkeznek, míg a növényi alapanyagok csak időszakosan. Így a szállítási költségeket meghatározza:

$$dc_{2i} = M_{2i} \cdot k \cdot b \cdot \eta \cdot dx$$

ahol

M_{2i} – i-dik telephelyen keletkezett állati eredetű inputanyag mennyisége (t)

η - raktérfogat kihasználási tényező ($\geq 0,8$ - mezőgazdasági anyagoknál)

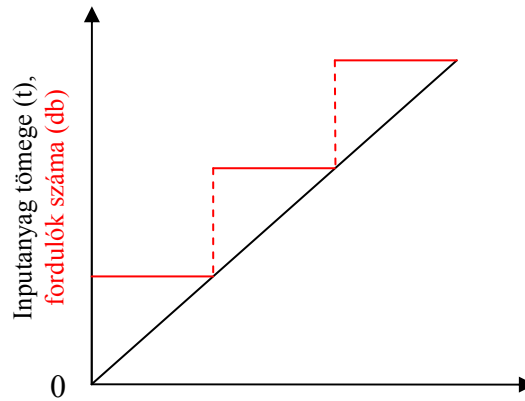
Megjegyzendő, hogy a beszállítás mértékének a növelése nem növeli közvetlenül a szállítási utat, de a napi fordulók számát igen, ami:

$$n_f = \eta_m \cdot \frac{M}{M_{\max}} + 1 \text{ (db)}$$

η_m – raksúlykihasználási tényező

M_{\max} – megengedett szállított tömeg (t)

Ezt grafikonon ábrázolva:



30. ábra: Inputanyag tömege és a fordulók számának kapcsolata

Természetesen lehetséges újabb szállító eszközök beszerzése, de ez sok esetben jelentős többletköltséggel járna, ennek vizsgálatára most nem térek ki.

Hasonlóan a növényi eredetű inputanyagokhoz:

$$c_{2i} = \int_0^{x_2} M_{2i} \cdot k \cdot b \cdot dx = M_{2i} \cdot k \cdot b \cdot x_2 = K_2 \cdot x \quad [7]$$

és

$$M_2 = \sum_{i=1}^n M_{2i} \quad [8]$$

Több állati eredetű anyag beszállítása esetén:

$$c_2 = \sum_{i=1}^n c_{2i} \quad [9]$$

Megjegyzendő, hogy a bioreaktorokat – a szállítási költség minimalizálása érdekében – az állati eredetű inputanyagok forráshelyei (állattartó telepek, vágóhidak, stb.) közelébe gazdaságos helyezni. Továbbá figyelembe kell venni azt is, hogy a folyékony (kis szárazanyag tartalommal rendelkező) anyagok szállítását szivattyúk segítségével csővezeték hálózaton keresztül is meg lehet oldani, így ennél a típusnál a figyelembe veendő költségfüggvény:

$$c_3 = \eta_{sz} \cdot P_w \cdot t \cdot k_{sz}$$

ahol

η_{sz} – a szivattyú hatásfoka,

P_w – a szivattyút működtető erőgép hatásos teljesítménye (kW),

t – a szivattyúzás ideje (h),

k_{sz} – a felhasznált energia egységára (Ft/kWh).

Ha csak vízszintesen kell az adott anyagnak áramlania (nincsenek vagy elhanyagolhatóak a függőleges akadályok), és a csővezetékben az áramlás sebességének értéke – turbulens áramlás miatti nagy veszteségek elkerülése végett - 2 m/s alatti, akkor a szivattyú által végzett munka nyomási energiára és a veszteségek legyőzésére fordítódik. A nyomást konstansnak tekintve (Szendrő 2003):

$$c_3 = \eta_{sz} \cdot P_w \cdot t \cdot k_{sz} = P_h \cdot t \cdot k_{sz} = \lambda \cdot \frac{l_e}{2d} \cdot c_s^2 \cdot \rho \cdot \dot{V} \cdot t \cdot k_{sz} \quad [10]$$

ahol

λ – csősúrlódási tényező,

l_e – egyenértékű csőhossz (m),

k_e – egyenértékű csőhossznál figyelembe veendő konstans,

d – csővezeték átmérője (m),

\dot{V} – (állandó) térfogatáram (m³/s),

P_h – hidraulikus teljesítmény (W),

ρ – szállítandó anyag sűrűsége (kg/m³),

c_s – az áramlás sebessége a csővezetékben (m/s).

Hígtrágya esetén a sűrűséget (Sitkei 1997) a

$$\rho = 1000,58 + 3,67 \cdot SZT \quad (\text{kg/m}^3), \quad [11]$$

összefüggéssel határozzuk meg, ahol az SZT a szárazanyag-tartalmat jelöli. Az egyenlet helyessége csak az $SZ > 3\%$ esetére igaz. Mivel a bioreaktorok gázkihozatala $10\% \geq SZT \geq 8\%$ esetén optimális, ezért ilyen feltételek esetén érdemes a szállítást elvégezni.

Az előbb említett két esetben a költségek a szállítási távolsággal egyenes arányban változnak. (Megjegyzés: csővezetékkel történő anyagmozgatás esetében a szállítási költséget leginkább a csővezeték hossza és átmérője befolyásolja.)

Kifejezhetjük c_3 -at M segítségével:

$$c_3 = \lambda \cdot \frac{k_e \cdot x}{2d} \cdot c_s^2 \cdot \rho \cdot V \cdot k_{sz} = K_3 \cdot M \cdot x \quad (\text{Ft}) \quad [12]$$

Tehát az [5], [7], [9], [10] összefüggéseket figyelembe véve a mezőgazdasági alapanyagokra épülő bioreaktorok teljes vertikumára vetített szállítási költségek az előzőekben ismertett inputanyag feleségek szállítási költségeinek az összege:

$$c = \sum_{i=1}^3 c_i = K_n \cdot x^3 + K_2 \cdot x + K_3 \cdot x = K_n \cdot x^3 + K'' \cdot x \quad [13]$$

A bioreaktorok produktuma a biogáz, amelyet legfőképp metán és széndioxid alkot, illetve a biotrágya. A metán hasznosítása valamilyen motor vagy turbina egységben történik. Az erőgéppel – közöttük a speciális gázmotor az elterjedtebb – tengelykapcsolatban áll a generátor, amely a villamos energiát termel. Az erőgép (motor) hulladékhőjét pedig tovább hasznosíthatják (ma már csak olyan bioreaktor építésére adnak engedélyt, amely kapcsolt hő és villamos energiát termel). Az erőgép hatásfoka 75-80%, és cca. 1/3:2/3 az arány a megtermelt villamos és a hőenergia között.

Ha egy adott bioreaktor villamos energia termelését akarjuk növelni úgy, hogy nem változtassunk a technológiai paramétereken (újabb villamos energiatermelő egységek bekapcsolása nem történik), akkor milyen összefüggés van a produktumnövekedés és a szállítási költségek növekedése között?

Ha az üzem villamos energiatermelését tekintjük és ezt P_v -vel jelöljük, az energiatermelést pedig P -vel, akkor:

$$P_v = (0,75 - 0,8) \cdot 0,33 \cdot P \text{ (kWh)}$$

Legyen ez esetünkben :

$$P_v = 0,25 \cdot P \text{ (kWh)}$$

Ahogy azt már a 19. táblázat bemutatta a különböző inputanyagokból hasznosítható biogáz mennyisége nagymértékben különbözik. Figyelembe véve, hogy a biogáz égéshője cca. 23 MJ/nm³, a termelt villamos energia:

$$P_v = \frac{M}{y} = 0,25 \cdot \frac{23}{3,6} \cdot V_h \cdot 10^{-3} \cdot M \approx 1,6 \cdot V_h \cdot M = K_g \cdot M \text{ (kWh/kg)} \quad [14]$$

y – egységnyi outputhoz szükséges input mennyisége (t/kWh)

V_h – hasznosítható biogáz mennyisége (l/kg)

K_g – fermentáció mértékét befolyásoló konstans

Ha V_h -t adottnak tekintjük, akkor a kapacitás a beszállított inputanyag tömegének a függvénye. Természetesen ugyanez elvégezhető a termikus hasznosítás esetére is, ezzel az esettel – a villamos hasznosítással analóg lévén – nem foglalkozom.

Az előzőekben láthattuk, hogy a távolsággal csak a termőhelyi biomassa volumene arányos.

Így a termőhelyi biomassa inputanyag hasznosítása során a kapacitásból kifejezhető szállítási távolság:

$$P_{vn} = K_g \cdot K_n \cdot x^2 = K_{gn} \cdot x^2 \Rightarrow x = \sqrt{\frac{P_{vn}}{K_{gn}}} \quad [15]$$

A többi inputanyagra – figyelembe véve, hogy a $P_{v\ddot{o}}$ összkapacitás a P_{vn} termőhelyi és a P_{vt} egyéb inputanyagból származó kapacitás összege:

$$P_{vt} = P_{v\ddot{o}} \cdot (1 - P_{vn}) \cdot \frac{M}{y}$$

és mivel M nem függvénye x -nek, ezért P_{vt} és M egyenesen arányos.

Így a szállítási költségek [12] és [13] felhasználásával:

$$c = K_n \cdot x^3 + K'' \cdot x = K_n \cdot \left(\sqrt{\frac{P_{v\ddot{o}}}{K_{gn}}} \right)^3 + K^* \cdot P_{v\ddot{o}} \quad [16]$$

K_n , K^* konstansok; vagyis a szállítási költségek arányosak a kapacitásnövelés 3/2-ik hatványával termőhelyi biomassa esetében illetve egyenesen arányosak az állati eredetű és csővezetékekkel szállított inputanyag esetében.

Ezek szerint ha pl. a növényi eredetű biomassa inputját 10%-kal és az állati eredetűt és a csővezetékeken szállított inputanyagok mennyiségét szintén 10%-kal növeljük, akkor a szállítási költségek: $1,1^{3/2} + 1,1 = 1,15 + 1,1 = 1,25$ vagyis 25%-kal lesz drágább az inputanyagoknak az üzembe történő mozgatása. (Feltételezve, hogy ugyanazt az eszközrendszert (gépparkot, munkaerőt, stb.), alkalmaztuk mindkét esetben.)

Ha csak egy adott anyagot dolgoz fel a bioreaktor, akkor a polinóm két tagja közül a fel nem dolgozott inputanyag tagja 0-vá válik.

4.2 Az optimális szállítási költség meghatározása

Egy vállalkozás összes költsége (TC) állandó (FC) és változó (VC) tagokból tevődik össze:

$$TC=FC+VC$$

másrészt

$$TC = A \cdot P^m + B \cdot P^n + k' \cdot P \text{ (Ft)}$$

ahol

A – szállítási költségek tényezője

m – a szállítás és a kapacitás közötti összefüggést megteremtő hatványkitevő

B – gyártási költségtényező

n - a termelés és a kapacitás közötti összefüggést megteremtő hatványkitevő (általában 0,7)

k' – kibocsátási egységekkel egyenesen arányos tényező (pl. rezsiköltségek)

ez biogáz hasznosítása során a következőképpen módosul:

$$TC = A \cdot P^m + A' \cdot P + B \cdot P^n + k' \cdot P \text{ (Ft)}$$

figyelembe véve az állati eredetű és csővezetékes szállításokat is. A fenti egyenletből egyértelműen látszik, hogy a $k' \cdot P$ és a $A' \cdot P$ formailag ugyanaz, ezért a kettő valamilyen $k^{**} \cdot P$ alakba összevonható.

A beszállított inputanyag egységnyi tömegére vonatkoztatott fajlagos költség:

$$C = TC / P = A \cdot P^{m-1} + B \cdot P^{n-1} + k^{**} \text{ (Ft/t)}$$

Bevezetem a $M=m-1$, $N=1-n$ jelölést.

Akkor a minimális a költség, ha

$$\frac{dC(P)}{dP} = 0,$$

feltétel teljesül:

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dP} &= \frac{d}{dp} A \cdot P^M + B \cdot P^{-N} + k' = \\ A \cdot M \cdot P^{M-1} + B \cdot (-N) \cdot P^{-N-1} &= 0 \\ A \cdot M \cdot P^{M-1} - B \cdot N \cdot P^{(-N-1)} &= 0 & [17] \\ A \cdot M \cdot P^{(M+N)} &= B \cdot N \\ P^{(M+N)} &= \frac{B \cdot N}{A \cdot M} \end{aligned}$$

A szállítási költségek viszonya a termelési költségek függvényében:

$$R = \frac{A \cdot P^M}{B \cdot P^{-N}} = \frac{A}{B} \cdot P^{(M+N)} \quad [18]$$

Behelyettesítve [17]-be:

$$R = \frac{A}{B} \cdot \frac{B \cdot N}{A \cdot M} = \frac{N}{M} \quad [19]$$

ez esetben $N=1-0,7=0,3$, $M=1,5-1,0=0,5$. Tehát ezen esetben a szállítási költségek 60%-ánál minimális a teljes költség.

A fentiek értelmében csak a kapacitás és a szállítás, valamint a kapacitás és a termelés között kapcsolatot létesítő hatványkitevőktől függ a termelési és a szállítási költségek viszonya.

Ha a szállítás csak csővezetékes szállítással vagy közúton történik, akkor a fenti képlet és összefüggés módosul. Ezen esetben a függvénynek nincs –a triviális megoldástól eltérő – minimuma. Ebben az esetben a bevételmaximumra való törekvés a döntő.

Másrészt figyelembe kell venni , hogy általában az alapanyag legalább 10-30%-a ideális esetben külső alapanyag. A komplex jellegű biogáztelepek működése elvileg minden közvetlen érintett számára csak előnyökkel jár:

- Térségi szinten csökkenti a már működő szennyvíz- és szeméttelpek leterheltségét, lehetővé teszi azok többlet-beruházás nélküli működtetését.

- A beszállítók részére legalább a szállítási költségek egy része megtakarítható.

- A biogáztelepet üzemeltető vállalkozás részére az idegen alapanyag két haszonnal jár. Egyrészt nem alapanyagköltséget, hanem bevételt jelent, másrészt pedig a többféle alapanyag javítja a biogáz-kihozatal mennyiségét is.

- Nagy energiaigényű vállalkozás szomszédba telepítése esetén a fölösleges hulladék hő kezeleményes értékesítése az adott vállalkozás részére jelentős megtakarítást, a biogáztelep számára árbevétel-többletet, az ott élőknek pedig munkalehetőséget jelent.

A fentiek további hatással vannak az inputanyag logisztika szállítási költségeire.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Következtetések:

1. A bioreaktorok nemzetközi helyzetelemzése és hazai környezetének értékelése alapján megállapítható, hogy az alkalmazott technológiák a különböző megvalósulási környezetekben eltérő hatásokat mutatnak, többször – látszólag – ellentmondó jellemzőket eredményeznek.
2. Komplex analízis és szintézis eredményeként dokumentálható az az egyértelmű törekvés, amely ma már ipari méretekben kialakított és az üzemi viszonyok között jól működő technológiákat egy szélesebb környezetbe helyezi. Továbbá egyre általánosabb szakmai igény a bioreaktorok kialakításának és működésének komplex rendszerekben történő vizsgálata, értékelése és elemzése. Mindezek jelentik a bioreaktorok alapanyagainak előállítását, beszerzését, az alapanyagoknak termesztését és fermentációra való előkészítését, a fermentációt, a gáznyerést valamint a kigázosított anyag hasznosítását.
3. Elemzéseimből megállapítható, hogy a bioreaktorok, biomassza-anyagfolyamatai és az ehhez kötődő energiafolyamatok meghatározó kapcsolatban vannak az időbeli változásokkal, és a természeti – földrajzi térszerkezet változásaival. Ezek a változások nemcsak a gazdasági, természeti – környezeti, hanem a társadalmi – humánkörnyezeti sajátosságokra is hatással vannak és jól leírhatók az említett biomassza anyag- és a hozzájuk kapcsolódó energia folyamatokat meghatározó jellemzőkkel.
4. A rendszerszemléletű vizsgálatok az anyag- és energiafolyamatokon át komplex kölcsönhatásaiban, folyamat- és rendszerváltozásaiban elemeztem és foglaltam össze a bioreaktorok általános összefüggéseit és Magyarországra adaptálható hatásait.
5. A kutatási cél és az alkalmazott módszerek a logisztika alapelveire épült, s ugyanakkor sajátosan új értelmezését adja a bioreaktorok alapanyagaként használt szervesanyagok keletkezésének, átalakításának és hasznosításának.
6. A biomassza termelés térbeni sajátosságai, időbeni anyagváltozásai és a bioreaktorokban történő átalakításuk lehetőségei és feltételei a logisztika módszereivel

olyan új kölcsönhatásokat mutattak, amelyek egyes részfolyamatonkénti értékelését is biztosítják, ugyanakkor a rendszerösszefüggések egészének meghatározását is lehetővé teszik.

7. A szállítási távolság és a mezőgazdasági biomasszából előállított biogáz költségire hatással van. Ennek a hatásnak a mértéke függ a szállítás módjától, a szállított anyag fajtajától és minőségétől, valamint a szállítási távolságtól.
8. Biogáztermelés kapacitásnövelése során a tervezési fázisnál figyelembe kell venni a szállítások költségeinek és a nyereség arányát. Az optimális szállítási költségeket meghatározó költségfüggvény választott paramétereit a gyakorlat mutatja meg, ennek feltárását és pontos – hazai viszonyokat figyelembe vevő – meghatározását fontosnak tartom.
9. A bioreaktorok rendszerszemléletű elemzése technológiai és környezeti sajátosságainak a meghatározása és feltárása az általam alkalmazott adaptációjában új logisztikai módszer és a hozzá kapcsolódó leírás segítségével valósulhatott meg.

Javaslatok:

Javaslat az oktatás számára

Az MSc szintű oktatás keretében javaslom az értekezésem eredményeinek szintézisét felhasználni oktatási tananyagként (a bioreaktorok rendszerszemléletű anyag – energia – költségek összefüggései).

Továbbá javaslom, hogy az oktatás során bemutatásra kerülő vagy alkalmazott szoftverek olyan modulokat vagy eljárásokat is tartalmazzanak, amelyek figyelembe veszik a vizsgálataim eredményeit.

Javaslat a kutatás és a fejlesztés számára

A bioreaktorok tervezésénél és üzemeltetésénél az általam megállapított költségfüggvényeket és relatív optimum összefüggéseket a gazdaságosság és hatékonyság előzetes tervezéséhez kiindulási paraméterekkel javaslom figyelembe venni.

Az eredmények témarészben kidolgozott matematikai összefüggések verifikációját javaslom több –egymástól függetlenül üzemelő – bioreaktorban elvégezni. Az egymástól független vizsgálatok feltétlenül segítik a módszer pontosítását. A gyakorlati igazolás segítséget nyújthat a modell hibáira, valamint a költségfüggvények paramétereinek gyakorlatorientált megállapítására.

A bioreaktorok üzeme során keletkezett outputanyagok keletkezésének és hasznosításának logisztikai összefüggéseit javaslom kidolgozásra. A matematikai modell figyelembevételénél célszerű lenne, ha a modell koherens rendszert alkotnak az általam elkészített összefüggésekkel.

6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A bioreaktorok telepítésének komplex magyarországi körülményeit feltártam figyelmet fordítva a globális és a lokális problémák magyarországi megjelenésére, mérséklésük vagy megszüntetésük csökkentésére. Többféle szempontot is figyelembe véve megállapítottam, hogy Magyarország adottságai és lehetőségei kiemelkedőek az Európai Unió viszonylatában.
2. Kutatási célkitűzésem és a választott módszerek alkalmazásával analizáltam a bioreaktorokat különböző technológiai variációkban, eltérő körülmények között. Mindezek értékelésével a komplex rendszer eredményeit szintetizálva csoportokat határoztam meg az egymással összefüggésben lévő tényezők, jellemzők és folyamatok alapján. Az általam kialakított és meghatározott csoportok jellemzői szerint lettek differenciálva, amelyek a bioreaktorok tervezésének, üzemeltetésének alapvető és meghatározó szempontjait jelentik.
3. Kapcsolatot határoztam meg a szántóföldi biomassa területnövekedése és a biogáztermelés logisztikai költségei között. A függvények meghatározásánál figyelembe vettem az inputanyagok – logisztikai szempontból meghatározó – főbb jellemzőit, a szállítási módokat, valamint a hasznosítás lehetőségeit, körülményeit.
4. A logisztikai alapösszefüggések szerint kialakított célkitűzés, módszer és tematika alapján meghatároztam a bioreaktorokhoz történő alapanyag-szállítás rendszerét, amely szerint a növényi és az állati eredetű alapanyagok, egymástól eltérő csoportokat képeznek és ez a logisztikai költségekben is megjelenik.
5. Tudományos, matematikai leírását, folyamatainak meghatározását adtam a bioreaktorok alapanyag-szállítására vonatkozóan. Megállapítottam, hogy a szállítás logisztikai költségei a lineárisan növekednek az állati eredetű alapanyagok, harmadik hatvány szerint pedig a növénytermesztésből származó inputanyagok alkalmazása ese-

tén: $(c = K_n \cdot x^3 + K'' \cdot x = K_n \cdot \left(\sqrt{\frac{P_{v\ddot{o}}}{K_{gn}}} \right)^3 + K^* \cdot P_{v\ddot{o}}$, ahol K_n, K'', K^*, K_{gn} - konstansok,

$P_{v\ddot{o}}$ - összkapacitás).

6. Komplex költségmutatót képeztem a növényi és állati eredetű alapanyag csoportok részarány-változásának kimutatására. Az inputanyag beszállítása során figyelembe vettem a változó és az állandó költségeket. A függvényelemzés eszközei által meghatároztam a minimális összköltséghez tartozó optimális szállítási tételmenyiség és szállítási költség függvénykapcsolatát.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásom az inputanyag-logisztika felépítésének ismertetésével, jellemzésével és minősítésével foglalkozik. Azonban már itt ki kell emelni azt a tényt, hogy a beszerzési logisztika nagymértékben hat nem csak a termelési logisztikára, hanem az output „termékek” tárolására, rakodására, elosztására és szállítására. A rendszerezés alapját a nyírbátori bioreaktor adja mint Magyarország legnagyobb teljesítményű energiatermelés céljából épített biogáz telepe.

Az inputanyagok beszerzési logisztikájának témájának diverzifikáltságát jellemzi a logisztikai alrendszer és az alkalmazott technológiák kapcsolata. Ezek szerint más-más tényezők befolyásolják a túlnyomó részt mezőgazdasági anyagokat (trágyát, szálas takarmány, stb.), a depóniagázra épült technológiákat, az élelmiszeripari és ipari melléktermékeket (tejsavó, bendő- és béltartalom) és hulladékokat (elhullott állatok, fertőzött egyedek és termények, stb.) (Barcsik 2006). Szintén nagyon fontos faktor az átvételi ár; ez szabja meg azokat a feltételeket (természetesen más tényezőkkel egyetemben mint pl.: támogatások, kedvezmények, bírságok, stb.), amelyek a jövedelmezőséget leginkább befolyásolják egy üzemnek illetve teret adnak a logisztikai paraméterek kedvező megválasztásának.

A kutatás kiterjedt a különböző szállítási módozatok szállítási költségének értékelésével. Kapcsolatot teremtett a bioreaktorok kapacitása és a szállítási költségek között. Ezek a költségeket külön kellett választani aszerint, hogy a szállítási távolság milyen mértékben befolyásolja a szállítási költségeket illetve a kapacitásváltozást. Megállapítást nyert, hogy az esetleges termőhelyi biomassa hasznosítása esetén a költségek a kapacitás $3/2$ -ik hatványával arányosak, míg a csővezetékes és a pontszerűen, lokálisan keletkező javarészt állati eredetű inputanyagoknál ez a függvénykapcsolat lineáris.

A teljes költségek alakulásának a minimalizálása során megállapításra került, hogy a szállítási költségek adott inputanyagoknál és termelési költségek mellett létezik egy optimális szintje, amely az összes költséget minimalizálja.

Más esetekben az összefüggés nem alkalmazható függvény. Ekkor a bevétel maximalizálása a megvalósítandó cél.

A szállítások ugyanakkor nemcsak saját termékek, hanem idegen input anyagok beszállítására is vonatkozik. Ebben az esetben nemcsak közvetlen (bevétel) hatása van az idegen anyag beszállításnak, hanem közvetett hatása is.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik a munkámat segítették. Külön kiemelném

- témavezetőm *Prof. Dr. Nagy Jánosnak*, aki a doktori tanulmányaim alatt mindenben támogatott,
- opponenseimet: *Prof. Dr. Ligetvári Ferenc* és *Dr. Juhász Csaba* Urakat, akik támogatással, hasznos tanácsaikkal, észrevételeikkel, magyarázataikkal és kérdéseikkel elláttak munkámat segítették,
- a Budapesti Corvinus Egyetem Kertészettudományi Kar Műszaki Tanszékének dolgozóit. Külön köszönetet mondok *Prof. Dr. Láng Zoltán* és *Dr. Nagy Sándor* Uraknak, akik tanácsaikkal, intéseikkel hívták fel a figyelmem az esetleges problémákra,
- *Széles Sándornénak* az adminisztrációs segítségért,
- *Családomnak* a támogatásért, megértésért.

8. SUMMARY

My research concerns biomass-base biogas plants regarding their exposition, characterization and structure qualification of their logistics system. However, it has to be considered that acquisition logistics has an effect not only on production logistics but storing, lading, distributing and shipping of the output materials. The following example of large-scale biogas production in Hungary is the biogas plant in Nyírbátor.

The diversified topic of acquisition (or input material) logistics describes the relations of logistics subsystem and applied technologies. According to this the biogas production from different input materials (materials of farming, food process or industrial, wastes from animal origin, etc.) is influenced by different factors (*Barcsik 2006*). The delivery price of electric energy and heat is also a momentous factor which specifies all the conditions of profitability being influenced and gives space for choosing the prosperous logistic factors

The research discussed the different transportation methods concentrating on transportation costs. It established connection between the capacity and the transportation costs of bioreactors. These costs have to be separated by the rate of influence on transportation cost and the change of capacity. It was proved that the function connection between transportation costs and capacity are linear in the case of input material with animal origin and on the 1,5th power in the case of vegetal biomass utilization.

The existence of the minimum total cost was proved in the course of total cost minimization and the optimal level of the transportation costs at a certain level of production and capacity of input material was also proved. There are cases where these relationships are does not allowed to adapt. In these cases the maximization of income has to be realized as purpose.

In the case of the transportation of foreign input materials there are not only direct but indirect effects which have an influence on the the relations above.

9. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

1. Sinóros-Szabó, B. Jr. (2003): Possibilities of Utilization of Biomass in Hungary. Pollution And Water Resources. Columbia University Seminar Proceedings. Vol. XXXIII – XXXIV. MTA – Pécs
2. Römer, D.; Sinóros-Szabó, B. Jr. (2004): Global Warming – New Strategies of Development in Logistics. Pollution And Water Resources Columbia University Seminar Proceedings. Vol. XXXV. MTA – Pécs
3. Sinóros-Szabó B.; Fás J.; Erdős G.; ifj. Sinóros-Szabó B. (2004): Bioreaktor. Tanulmány. Pécs
4. Sinóros-Szabó B.; ifj. Sinóros-Szabó B. (2004): Bioreaktor. Tanulmány. Budapest
5. ifj. Sinóros-Szabó B.; Maniak, S. (2005): Bioreaktorok Magyarországon. Agrártudományi Közlemények. 2005/16. Különszám.
6. ifj. Sinóros-Szabó B. (2005): Bioreaktor rendszerek megvalósítása. Lippay János Tudományos Konferencia. Kecskemét
7. Sinóros-Szabó B.; Rátonyi T.; ifj. Sinóros-Szabó B.; Sulyok D. (2005): Bioreaktor a fenntartható fejlődés szolgálatában. Agrártudományi Közlemények. 2005/17. 111-118. p.
8. ifj. Sinóros-Szabó B. (2005): Az EU szervesanyag hasznosítási rendszereinek összefoglalása, különös tekintettel a biogáz termelésre. Tanulmány. Asbóth Oszkár Húzóágazati Innovációs Program
9. Dr. Sinóros-Szabó B.; Hartges, H; Kapitány T.; ifj. Sinóros-Szabó B.; Szűcs R. (2006): Új energiasztruktúra Székesfehérvár távhőellátására; bioenergiára alapozva. Tanulmány. Budapest
10. ifj. Sinóros-Szabó B. (2007): Biogáz telepek inputanyag rendszereinek logisztikai szemléletű vizsgálata. MTA-AMB XXXI. Tematikus és Kutatási Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő
11. ifj. Sinóros-Szabó B. (2007): Biogáz telepek logisztikai folyamatainak vizsgálata. MTA-AMB XXXI. Tematikus és Kutatási Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő.
12. Sinóros-Szabó B. (szerk) (2007): Bio- és megújuló energia előállítás és hasznosítás összefüggései Hódmezővásárhely térségében. Tanulmány. Hódmezővásárhely – Budapest
13. ifj. Sinóros-Szabó, B (2007): Input anyagok és folyamatok – a nyírbátori üzemre alapozott – értékelése, különös tekintettel a logisztikai folyamatokra. Tanulmány. Asbóth Oszkár Húzóágazati Innovációs Program.

10. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Armbruster, R.: E-Commerce: Wohin geht der Weg in der Logistik? VDI-Berichte 2001. No. 1604 65-93. p.
- Bai A. (szerk.) (2005): A biogáz előállítása – jelen és jövő. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest
- Bai A. (szerk.) (2007): A biogáz. Száz Magyar Falu Könyvesháza Kht. Budapest
- Barcsik J. (2006): Biogáz tejsavóból és az üzem szennyvizéből. Agrárunió VIII. évf. 4. szám. 12-13 p.
- Barótfi I. (szerk.) (1998): Energiagazdálkodási Kézikönyv. 5. fejezet - Biogáz. http://www.undp.hu/oss_hu/tartalom/kiadvanyh/kiadvanyh_body/energazd/egk09.htm
- Benkő J. (2000): Logisztikai tervezés. Dinasztia Kiadó, Budapest
- Büki G. (2007): Biomassza energetikai hasznosítása (II.) – Földgáz kiváltás biomassza hasznosítással. Bioenergia II. évf. 5. szám. 2-5 p.
- EON energiakereskedő: Elkészült Magyarország megújuló energiaforrás stratégiája. http://www.eonenergiakereskedo.com/hireink_EON_sajto_2007_97.php
- FNR (2006): Biokraftstoffe, WPR Communication, Berlin. 29-32 p
- Fuchsz M. (2006): Német biogázüzemek gazdaságossági vizsgálata magyar árviszonyok között. Gazdálkodás. L. évf. 5. szám. 30-37 p.
- Fuchsz M. (2006): Zöld utat a biogáznak Németországban. Az Európai Unió Agrárgazdasága XI. évf. 5. szám. 27. p.
- Fuchsz M. (2008): Biogáz előállítása száraz fermentációval. Bioenergia III. évf. 1. szám. 11-14 p.
- Glatz F.(szerk.) (2000): Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák. Magyarország az ezredfordulón – Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. MTA kiadványa. Budapest
- Grabner P. (2006): A megújuló energiából termelt villamos energia átvétele, lehetőségek és kötöttségek. Mezőgazdasági Technika XLVII. évf. 2006. október 44-46 p.
- Halászné Sipos, E. (1998): Logisztika – szolgáltatások, versenyképesség. Magyar Világ Kiadó. Budapest
- Halmi P. (szerk.) (2007): Az Európai Unió Agrárrendszere. Mezőgazda Kiadó. Budapest
- Horvát H.; Hudomiet P. (2004): Munkapiaci trendek Magyarországon. <http://econ.core.hu/doc/mt/2005/hun/handh.pdf>
- Horváth Z.(2007): Hígrágyatározók az idő markában. Agrárunió VIII. évf. 4. szám. 55 p.

ifj. Sinóros-Szabó B. (2005): Az EU szervesanyaghasznosítási rendszereinek összefoglalása, különös tekintettel a biogáztermelésre. Tanulmány. Asbóth Oszkár Húzóágazati Innovációs Program. Gyöngyös.

ifj. Sinóros-Szabó B. (2007): Biogáz telepek logisztikai folyamatainak vizsgálata. MTA-AMB XXXI. Tematikus és Kutatási Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

Kaltwasser, B. J. (1983): Biogáz előállítás és hasznosítás. Műszaki Könyvkiadó. Budapest

Kassai Zs. (2003): Szervestratégia-szórók alkalmazási megoldásai.

<http://www.agronaplo.hu/index.php?rovat=6&cikk=1226&archszam=30>

Kerekes B. (szerk.) (2007): A környezetvédelem technikai alapjai – Vízelvezetés és talajvédelem. Bessenyei György Kiadó. Nyíregyháza

Kiss Á. (2007): Fizika a környezettudományban. Fizikai Szemle 2007/7. p. 232.

Kissné dr. Quallich E. (1983): A biogáz. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest

Kohlheb N.; Krausmann F.; Weisz H. (2006): Magyarország társadalmi metabolizmusa

<http://kovasz.uni-corvinus.hu/kov17/metabolizmus.html>

Kovács A.; Potori N.; Udovecz G. (2003): Közös Piaci Rendtartások – Szántóföldi növények. Budapest. <http://www.fvm.hu/doc/upload/200407/gabona.pdf>

Kovács J. (2003): Az agrárfejlesztés stratégiai elemei. Krausz Könyv Bt. Debrecen

Meadows, D.; Randers, J.; Meadows, D. (2005): A növekedés határai – harminc év múltán. Kossuth Kiadó. Budapest

Mányi I. (2004): Megújuló energiaforrások felhasználása Ausztriában. Magyar Tudomány 2004/5. 605 p.

Maróti G. (2002): Hidrogéntermelő biogázok. Élet és Tudomány. LVII. évfolyam 44. szám. 1396-1398 p.

Megújuló energiahordozó felhasználás helyzete és stratégiai szempontjai.

http://hulladeksors.hu/dokumentumok/GKM_megujuloenergiak.doc

Molnár T. G. (2007): Kommunális Hulladéktelepeken keletkező biogáz mennyiségi illetve minőségi jellemzőinek a vizsgálata. Tessedik Sámuel Főiskola Tudományos Közlemények, 2007.7.1. (1.) 211-216 p.

Nagy J. (2006): A hazai biomassza hasznosítás országos összefüggései. Megújuló Energia 3. Agrár Innovációs Szövetség – Károly Róbert Főiskola kiadványa. Budapest. 9-18. p.

Narodowslawsky, M. – Braunegg, G (2006): Logistic Considerations for Renewable Resources Processes. Workshop on Development of Environmentally Friendly Degradable Plastics From Renewable Resources. Bangkok, Thailand

Nguyen, M. H. – Prince, R.D.H. (1996): A Simple Rule For Bioenergy Conversion Plant Size Optimisation: Bioethanol From Sugar Cane And Sweet Sorghum. Biomass and Bioenergy Vol. 10. 361-365 p.

Olessák D. – Szabó L. (1984): Energia hulladékból. Műszaki Könyvkiadó. Budapest

Országos Területfejlesztési és Területrendezési Rendszer – 2000 évi ismertető. VÁTI Magyar Regionális Fejlesztési és Urbanisztikai Társaság

Petis M. (2004): Szerves hulladékok újrahasznosítása – a Nyírbátori Biogáz Üzem. Agrárágazat. V. évfolyam 9. szám. 32-34 p.

Petis M. (2007): A biogáz üzem műszaki-technológiai rendszere és gazdasági összefüggései. K+F Tanácskozás. Gödöllő. MTA Agrártudományok Osztálya Agrárműszaki Bizottság. 65-70p

Petis M. (2007): Biogázzal a gyakorlatban. Agrofórum. Extra 20 szám. Bioenergia. 21-25 p.

Prezenszky J. (szerk.) (2003): Logisztika I. BME Mérnöktovábbképző Intézet. Budapest

Prezenszky J. (szerk.) (2003): Logisztika II. BME Mérnöktovábbképző Intézet. Budapest

Sági F. (1998): A biomasszatermelés az OECD és az EU agrárpolitikájának tükrében. Mezőgazdaságunk útja az Európai Unióba. Az Országos Mezőgazdasági Könyvtár és Dokumentációs Központ kiadványa. 5. füzet. http://www.omgk.hu/MGUT5/mgut5_3.html

Schulz, H.; Eder, B. (2005): Biogázgyártás. Cser Kiadó. Budapest

Sinóros-Szabó, B. (vez. szakértő) (2007): Bio- és megújuló energia előállítás és hasznosítás összefüggései Hódmezővásárhely térségében. Tanulmány. Budapest-Hódmezővásárhely

Sinóros-Szabó B.; Rátonyi T.; ifj. Sinóros-Szabó B.; Sulyok D. (2005): Bioreaktor a fenntartható fejlődés szolgálatában. Agrártudományi Közlemények. Debrecen. 2005/17. 111-118. p.

Sitkei Gy. (szerk.) (1997): Gyakorlati áramlástan. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Budapest. 427-449 p.

Sokhansanj, S. ; Kumar, A.; Turhollow (2006): A: Biomass Supply Systems and Logistics. http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/sokhansanj/biomass_supply_systems_logistics.pdf

Sokhansanj, S.; Kumar, A.; Turhollow, A. (2006): Development and implementation of integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL).

Sokhansanj, S.; Turhollow, A. (2006): A. Integrated Biomass Supply Analysis and Logistics. http://www.biocap.ca/files/FI05/BIOCAP_sokhansanj05.pdf

Spangenberg, J. (szerk.) (1995): The Study „Towards Sustainable Europe”. Wuppertal Institute

Szendrei J.; Grasseli G. (2006): Biogázéltárás és fenntartható gazdálkodás. Östermelő. X. évfolyam 3. szám 89-90 p.

Szendró P. (szerk.) (2003): Géptan. Mezőgazda Kiadó. Győr 68-95 p.

Tamás J. (1998): Szennyvíztisztítás és szennyvíziszap elhelyezés. Egyetemi jegyzet –DATE. Debrecen. <http://gisserv1.date.hu/tamas/szennyvizjegyzet/4aresz.html>

Tóth L. (2006): Megújuló Energiaforrások időszerű kérdései. Fenntartható Jövő Konferencia. Dunaújváros

Tózsér B.; Klenovics A.; Priger, T. K.; Boucher, M.; Gyimóthy G.; Horváth P. (2007): Intenzifikálási és fejlesztési lehetőségek a bioenergetikai technológiák területén (I.). Bioenergia II. évf. 6. szám (december). 7-12 p.

Vermes L. (1998): Hulladékgyazdálkodás, hulladékhasznosítás. Mezőgazda Kiadó. Budapest

Vidal, A. (előadó) (2006): Jelentéstervezet az energiahatékonyságról, avagy többet hatékonyan. Zöld Könyv. Európa Parlament Ipari, Kutatási és Energiaügyi Bizottsága. Brüsszel

Willison, T.; Goulding, K.; Powlson, D.; Webster, C. (1995): Farming, fertilizers and the greenhouse effect. Outlook on Agriculture Vol. 24. No.4. 241-247 p.

Internetes források

A GKM legfeljebb 16% megújuló energia és 18% zöldáram részarányt vár 2020-ig
<http://www.zoldtech.hu/cikkek/20070912-gkm-megujulo-2020>

Az EU közös agrárpolitikája (KAP) I.
www.bekesmeak.hu/gtars/cikk.php%3Fev%3D2002%26szam%3D1%26link%3Dvii/1114.html+k%3B6telez%C5%91+ugaroltat%C3%A1s+1992&hl=hu&ct=clnk&cd=4&gl=hu

Az Európai Unió Agrárgazdasága. Országos Mezőgazdasági Könyvtár és Dokumentációs Központ. XII évf. 3.szám. http://www.omgk.hu/pages/euag/Ea2007/2007_3.pdf

Bai A.: Kinek éri meg előállítani a biogázt? http://www.agraroldal.hu/energia-3_cikk.html

Biomassza hasznosítás. <http://www.kekenergia.hu/bio.html>

BP Statistical Review of World Energy June 2007 (www.bp.com)

Economic Commission of Europe: ADR. 2007.
http://www.unece.org/trans/danger/publi/adr/adr2007/English/020%20E_Part%202.pdf

El Niño, La Niña, globális hatások. Atmospheric Chemistry Department.
http://www.atmosphere.mpg.de/enid/2cfe4d614eab6b64db85ef5a582e6de5,0/Service/Kezd_ol_dal_21c.html

Energiaipari „forradalmat” hirdetett Brüsszel. Bruxinfo hírlevél. 2007. január 11.
<http://www.kulugyminiszterium.hu/NR/rdonlyres/208A55DD-C6C2-4A0C-91E3-411802EB7393/0/83EUh%C3%ADrlev%C3%A91070117.doc>

EU piac (2007): Egy évig nem lesz kötelező az ugaroltatás
http://www.eupiac.eu/printable.php?lap=dokument/dokument&dok_id=22725

Európai Közösségek Bizottsága (2005): Bizottsági döntés a megújuló energiaforrásokból előállított villamos energia támogatásáról.
http://ec.europa.eu/energy/res/biomass_action_plan/doc/2005_12_07_comm_biomass_electricity_hu.pdf

EUvonal: Közös agrárpolitika.
http://www.euvonal.hu/index.php?op=kozossegi_politikak&id=1

Farkasné Csamangó, E. (2006): A biomassza mint energiaforrás.
http://www.agraroldal.hu/boietanol-biometanol-biodimetileter_cikk.html

Gimesi J.(szerk.) (2003): Tüzelőanyagcella Magyar Virtuális Enciklopédia, MTA
<http://www.enc.hu/1enciklopedia/aktualis/tuzeloanyagelem.htm>

GKM: Magyarország megújuló energiaforrás-felhasználás növelésének stratégiája 2007-2020.
http://www.gkm.gov.hu/data/cms1358659/megujulo_strategia_tars_egyeztetes.pdf

Gyurkity P. (2007): A szerverek terjedésével nő a globális fogyasztás.
http://www.sg.hu/cikkek/50462/a_szerverek_terjedesevel_no_a_globalis_fogyasztas

Kassai Zs. (2005): A növénytermesztés ágazatához kapcsolódó anyagmozgatási technológia elemei. http://www.agraroldal.hu/rendszerek-4_cikk.html

Kovács G.; Kalmár I. (2002): Zártláncú biogáz hasznosítási technológia szakosított állattartó telepekre. <http://www.nkth.gov.hu/aktualis-hirek-esemenyek/2002/kornyezetvedelmi-forum-080519>

Központi Statisztikai Hivatal: Bruttó Nemzeti Termék 2006 II. (Előzetes adatok).
<http://portal.ksh.hu/pls/ksh/docs/hun/xftp/idoszaki/gdpev/gdpevelo06.pdf>

Magyar Köztársaság Kormánya: Környezet és Energia Program 2007-2013.
http://www.kvvm.hu/cimg/documents/KEOP_070628_Hu.pdf

Magyarország -megújuló energiaforrások.
http://www.ec.europa.eu/energy/energy_policy/doc/factsheets/country/hu/renewables_hu_hu.pdf

Megújuló energia – Biogáz. <http://www.kekenergia.hu/biogaz.html>

Meteorológia Világszervezet állásfoglalása magyar nyelven:
http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=climate&pid=clwmostat&mpx=0&pri=1

Molnár J. (2001): A Föld népessége.

http://www.uni-miskolc.hu/~ecomojud/nepfoldnepes_2.ppt

Monoki Á. (2006): Biomassza energia.

<http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/Biomassza/Biomassza.html#irodalom>

Országos Területfejlesztési Hivatal honlapja: <http://www.oth.gov.hu/kistersegek.php>

Sárosi Gy. (2005): Az EU tagállamokban alkalmazott veszélyes áruk szállítására vonatkozó eltérő előírások alkalmazása. <http://tranzit.hu/1/hirek/2005/6/2005-09-01/az-eu-tagallamokban-alkalmazott-veszelyes-aruk-szallitasara-vonatkozo-eltero-eloirasok-alkalmazasa>

STAND Center: Sustainable Tropical Agriculture and Natural Development
Center for Experiential Learning. <http://www.stand-center.com/laws.html>

Statistics Austria:

http://www.statistik.at/web_en/statistics/energy_environment/energy/energy_balances/index.html

Szűnyog I. (2008): Elméleti biogáz potenciál.

<http://www.biomasszaklaszter.hu/files/Szi%20Elmeletei%20biogaz%20potencial%20200803101.doc>

11. ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra: A világ népességének növekedése földrészenként	9
2. ábra: Alapvető fejlesztési rendszerkapcsolatok	14
3. ábra: Néhány ország egy főre eső átlagos energiafogyasztása	16
4. ábra: Megújuló energiaforrások alapanyagai Ausztriában 1997-ben	17
5. ábra: A primér energia felhasználás strukturális változásának előrejelzése az EU-ban	18
6. ábra: Átlagos havi bruttó jövedelmek alakulása régióként 2005-ben.....	33
7. ábra: Keresetek és azok növekedési üteme százalékban 2004-ben	34
8. ábra Bioreaktor Nyírbátorban	35
9. ábra: A baktériumok szaporodása az idő függvényében	40
10. ábra: A hőmérséklet hatása az elérhető gázhozamra az optimális hőmérséklethez képest .	41
11. ábra: A hőmérséklet hatása a rothasztási időre az optimális időhöz viszonyítva	42
12. ábra: A szárazanyag-tartalom hatása a fajlagos gázmenyiségre.....	43
13. ábra: Gázhozam a C/N arány függvényében	44
14. ábra: A gáztermelés a kémhatás függvényében.....	45
15. ábra: Az oltatlan és az oltott iszap gázkiválási görbéje	46
16. ábra: Biogáz gyártási módok sematikus áttekintése	49
17. ábra: Batch-eljárás fázisai.....	51
18. ábra: Váltótartályos eljárás fázisai.....	52
19. ábra: Tárolós eljárás.....	53
20. ábra: Az átfolyós eljárás folyamatábrája	53
21. ábra: Kombinált (átfolyós-tárolós) eljárás	54
22. ábra: Rétegződés a keverés nélküli reaktorban.....	56
23. ábra: Deutz-gyártmányú biogáz-motor a tengelyére szerelt generátorral	67
24. ábra A logisztika mint integratív jellegű multidiszciplináris tudomány.....	70
25. ábra: Mezőgazdasági szerves hulladékok logisztikai modellje (IBSAL).....	74
26. ábra: Bioreaktorok logisztikai rendszerének felosztása.....	75
27. ábra: Élelmiszer-iparágak csoportosítása a keletkezett melléktermékek alapján	81
28. ábra: Hulladékok kezelésének logisztikai blokkdiagramja	82
29. ábra: Bioreaktorok inputanyag-kapacitás meghatározásának jelölései	87
30. ábra: Inputanyag tömege és a fordulók számának kapcsolata.....	90

12. TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: Egyes erőforrások felhasználása és szükséges változtatása az EU-ban	10
2. táblázat: Megújuló energiák projektjeinek a fejlesztése az EU-ban (1999-2003).....	16
3. táblázat: Megújuló energiák hasznosításának részaránya az Európai Unió	17
4. táblázat: Közpénzek felhasználása a megújuló energiák kutatására Ausztriában	18
5. táblázat: Egy főre jutó termőföld 2004 előtt és 2004-2008 között az Európai Unió tagországaiban	19
6. táblázat: Az biomassza és átlagos elméleti biogáz potenciál aránya az egyes országok éves szintű földgáz felhasználásához viszonyítva	20
7. táblázat: Az energiaigények alakulása Magyarországon.....	30
8. táblázat: A metántermelést végző mikróbák és tápanyagaik.....	36
9. táblázat: A metántermelés hidrolízises fázisának végtermékei	37
10. táblázat: A metántermelés második fázisa során keletkezett anyagok	38
11. táblázat: A metántermelés során keletkezett közbenső- és végtermékek	39
12. táblázat: Néhány kirohasztandó anyag C/N aránya.....	44
13. táblázat Az alapanyagok hatása az anaerob elgázosítás technológiájára	50
14. táblázat: Biogáz tárolók csoportosítása	61
15. táblázat: Logisztikai tevékenységek csoportosítása	71
16. táblázat: Megújuló és hagyományos energiákra épülő alapanyagok tulajdonságai	75
17. táblázat: A nyírbátori bioreaktor inputanyagainak abszolút és relatív megoszlása.....	77
18. táblázat: Növényi és állati eredetű biogáz hasznosítható mennyisége	79
19. táblázat: Évenként keletkező mező- és erdőgazdasági melléktermékek	80
20. táblázat: Hulladékok legfontosabb tulajdonságai	81
21. táblázat: Néhány mező- és erdőgazdaságban előforduló anyag a fűtőolajra vonatkoztatott raksúly-kihasználási tényezője	85

13. MELLÉKLETEK