

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

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS
TÉZISEI

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

BIOREAKTOROK LOGISZTIKAI
ÖSSZEFÜGGÉSEI

Készítette:
ifj. Sinóros-Szabó Botond
doktorjelölt

Debrecen
2008

1. Bevezetés, Témafelvetés

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 rendszerére 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 előállítására és használatára lesz, ám ma még az ezirányú 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 szénéromák!). 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 fejlesztéseivel 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**, biomassza 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 hasonlatosan 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 kérdéseket vizsgálni tudjuk mindenek előtt szükség van a biogáz termelés európai és hazai helyzetének tárgyalására, jelenlegi körülményeinek megalapozására, a metántermelés főbb lépéseinek ismertetésére, a technológiai megoldások részletezésére. 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 állati 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 elosztási alrendszerek meghatározása és vizsgálata. Az output anyagok logisztikai vizsgálatait csak részben tárgyalom, ezen összefüggések tárgyalásához alapot szolgáltathat kutatóm.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1 A mezőgazdasági bioreaktorok logisztikai alapjai

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**-elvvvel fogalmazható meg, miszerint a logisztikai feladatokat úgy kell ellátni, hogy a

- Megfelelő áru,
- Megfelelő időpontban,
- Megfelelő helyre,
- Megfelelő mennyiségben,
- Megfelelő minőségben,
- és 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 .

A logisztikai folyamatok tervezése meghatározza egy termelői 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 tényt, hogy a logisztikai költségek a bevételek 20-25%-át is elérhetik (Benkő 2000).

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.

2.1.1 A bioreaktor inputanyag logisztikai alapjai

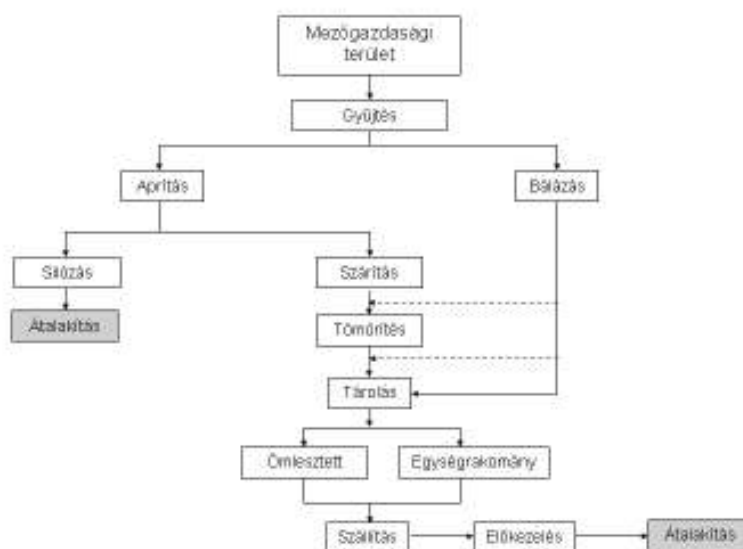
Az 1970-es évektől kezdődően az integrációra való törekvés egyre nagyobb szerepet töltött be a vállalati vezetésben. Ennek oka az volt, hogy a legnagyobb gazdasági eredményt nem az egyes részterületek költségeinek a legalacsonyabb szinten tartásával, hanem egy relatív optimum megvalósításával lehetett 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 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 koncentrál a kutatás, modelljeit és fejlesztéseit is e cél megvalósítására irányítja. Az 1. ábra ennek a modellnek (IBSAL – Integrated Biomass Supply Analysis & Logistics) a blokkdiagramját szemlélteti:



1. ábra: Mezőgazdasági szerves hulladékok logisztikai modellje

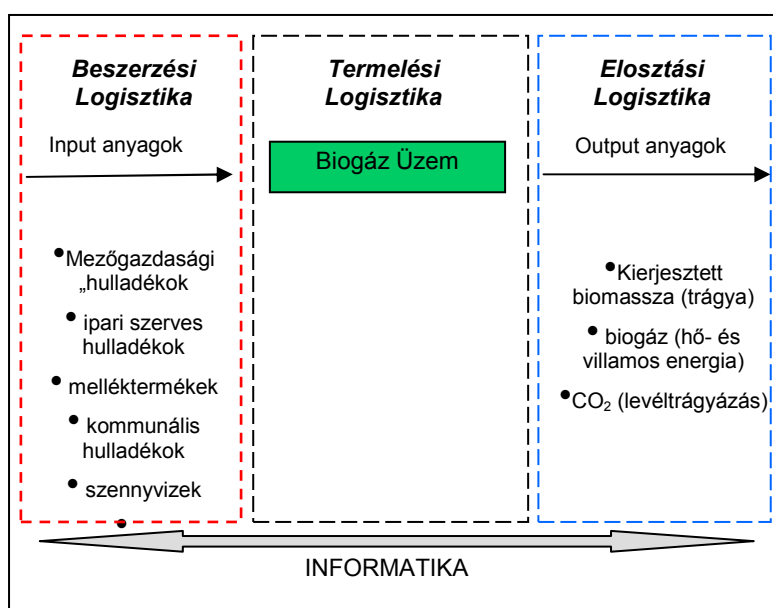
(Sokhansanj et al. 2006)

A szilárd biomassza 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 biomassza hasznosítása valamint az inputanyagok beszállítására során egy sor olyan probléma lép fel, amely a hagyományos hasznosítási megoldásoknál nem tapasztalhatunk. Az 1. táblázat néhány speciális szempontot vesz figyelembe. Ezeket a konvencionális eljárások során nem volt szükséges figyelembe venni.

1. táblázat: Megújuló és hagyományos energiákra épülő alapanyagok tulajdonságai
(Narodowski 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 (2. ábra).



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

A fenti ábra a klasszikus logisztikai csoportosítást mutatja be. Részrendszerként funkcionál az a három logisztikai terület összekötő informatika, hiszen a közöttük lévő kapcsolat nem szétbontható. Nagyon fontos itt a biogáztermelő 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 különbözőségét 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. 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. Ugyanilyen 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.

2. 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, etc.)	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 biztosítható. 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 tápanyagtartalom-veszteségének csökkenése, stb.). Ezekon túlmenően elmondható, hogy az energiatermelés gazdaságossá tételét (az „olcsón termelést”) befolyásolja a:

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

2.2 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 biológiai 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 3. táblázat foglalja össze. A táblázat adataiból jól látható, hogy a minél nagyobb egy melléktermék fajlagos nedvességtartalma, annál kisebb a ténylegesen hasznosítható energia értéke.

3. 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 betakarításakor	%	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

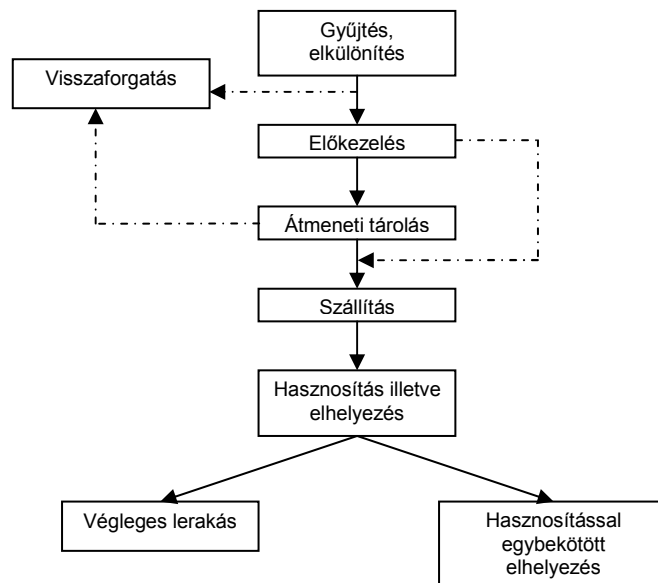
A biogáztermelés szempontjából másik fontos nyersanyagcsoportot az élelmiszeripar termeléséből származtatjuk. Ezeknek az alapanyagoknak a túlnyomó része az élelmiszeripari technológiák mellékterméke

A szervesanyag hulladékok legfontosabb fizikai és kémiai jellemzői a kezelési eljárás meghatározásához a 4. táblázat tartalmazza.

4. 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 Viroológiai Parazitológiai

A szervesanyag hulladékok komplex környezeti hatásának megítéléséhez költséges vizsgálatok szükségesek. A hulladékok minősítésére vonatkozó vizsgálatok rendjét és körét a 102/1996. (VII.12.) Korm. rendelet szabályozza. A szervesanyag hulladékok kezelésének általános technológiája a 3. ábra szerint vázolható.



3. 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 lépés 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. forráskontroll 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 szabályozza. A határozatot többször módosították (2005-ben a 2005/263/EK határozattal)).

Az előkezelésre a tárolás, szállítás, elhelyezés, vagy az alapanyag minőségének javítása miatt lehet szükség. Az előkezelésnek fizikai, kémiai és biológiai módszerei vannak, amelyek közül 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 a termékek szétszóródhatnak, vagy olyan helyre kerülhetnek, amelyek ellenőrzése nehézkes, vagy nem megoldható. A szállítás történhet: közúton, vasúton, vízi úton vagy nagy mennyiségű folyékony 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.

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 színvonalára a kisáru-mozgatáshoz képest. Erre a problémára világít rá a 5. 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 .)

5. táblázat: Néhány mező- és erdőgazdaságban előforduló anyag a fűtőolajra vonatkoztatott raksúlykihasználási 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%
Repce	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 szállítás ~10, a közúti ~100 és a légi ~1000 értékűre 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 járműkonstruktőrök 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 összhatásfok javításának mértéke kisebb, mint a primer esetében.

Az áru- és személyszállításban a terciér 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, a járatszervezés és –optimalizálás javításával, TCM szolgáltatással (kikerülve a közlekedési dugókat) is nagymértékben csökkenthető a szállításra felhasznált energia mennyisége.

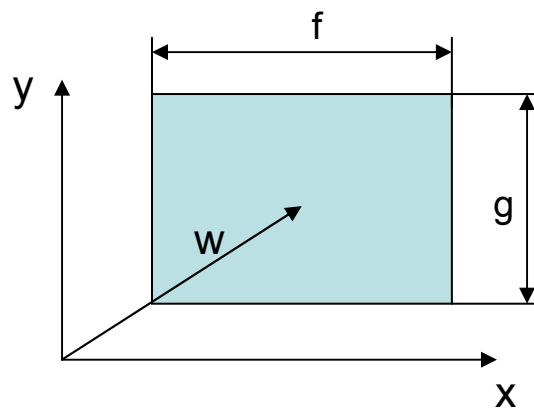
3. EREDMÉNYEK

3.1 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, etc.) 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 feleség hasznosításának lehetőségét is.

A Növényi biomassa 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 biomassa) tömege (4. ábra):



4. 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,

\vec{x} és \vec{y} - egységvektorok (m).

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

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

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

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

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:

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

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).

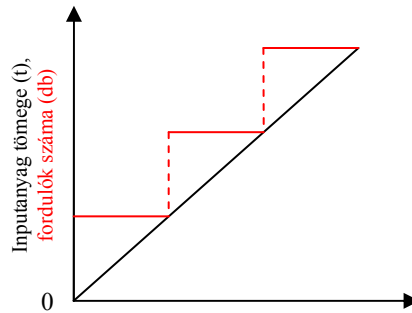
Megjegyzendő, hogy a beszállítás mértékének a növelése nem növeli közvetlenül a szállítási utat, de a napi fordulók számát igen, ami:

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

η_m – raksúlykihasználási tényező

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

Ezt grafikonon ábrázolva:



5. 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, etc.) 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 (m^3/s),

P_h – hidraulikus teljesítmény (W),

ρ - szállítandó anyag sűrűsége (kg/m^3),

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

Hígtrágya esetén a sűrűséget (Sitkei 1997) a

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

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:

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

Tehát az [5], [7], [9], [10] összefüggéseket figyelembe véve a mezőgazdasági alapanyagokra épülő bioreaktorok teljes vertikumára vetített szállítási költségek az előzőekben ismertetett 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 változtatunk 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:

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

Figyelembe véve, hogy a biogáz égéshője cca. 23 MJ/nm^3 , 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.

3.2 Az optimális szállítási költség meghatározása

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

$$TC = FC + VC$$

másrészt

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

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:

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

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:

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

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

Akkor a minimális a költség, ha

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

feltétel teljesül:

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

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 kedvezményes 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.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Következtetések:

- 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.
- 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.
- Elemzéseimből megállapítható, hogy a bioreaktorok, biomassa-anyagfolyamatai és az ehhez kötődő energifolyamatok 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 biomassa anyag- és a hozzájuk kapcsolódó energia folyamatokat meghatározó jellemzőkkel.
- A rendszerszemléletű vizsgálatok az anyag- és energifolyamatokon át komplex kölcsönhatásaiban, folyamat- és rendszerváltozásaiban elemeztem és foglaltam össze a bioreaktorok általános összefüggéseit és Magyarországra adaptálható hatásait.
- 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.
- A biomassa 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.
- A szállítási távolság és a mezőgazdasági biomasszából előállított biogáz költségire hatással van a szállítási távolság. Ennek a hatásnak a mértéke függ a szállítás módjától, a szállított anyag fajtájától és minőségétől, valamint a szállítási távolságtól.
- Biogáztermelés kapacitásnövelése során a tervezési fázisnál figyelembe kell venni a szállítások költségeinek és a nyereség arányát. Az optimális szállítási költségeket meghatározó költségfüggvény választott paraméterei a gyakorlat mutatja meg, ennek feltárását és pontos – hazai viszonyokat figyelembe vevő – meghatározását fontosnak tartom.
- 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 az értekezésem eredményeinek szintézisét oktatási tananyagként javaslom a bioreaktorok rendszerszemléletű anyag – energia – költségek összefüggéseinek oktatását
- 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.

5. 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 esetén:
$$(c = K_n \cdot x^3 + K'' \cdot x = K_n \cdot \left(\sqrt{\frac{P_{v\ddot{o}}}{K_{gn}}} \right)^3 + K^* \cdot P_{v\ddot{o}}, \text{ ahol } x - \text{távolság (m), } K_n, K'', K^*, K_{gn} -$$

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.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

Armbruster, R.: E-Commerce: Wohin geht der Weg in der Logistik? VDI-Berichte 2001. No. 1604 65-93. p.

Bai, A. (szerk.) (2007): A biogáz. Száz Magyar Falu Könyvesháza Kht. Budapest

Barótfi, I. (szerk.) (1998): Energiagazdálkodási Kézikönyv. 5. fejezet - Biogáz.
http://www.undp.hu/oss_hu/tartalom/kiadvanyh/kiadvanyh_body/energazd/egk09.htm

Benkó, J. (2000): Logisztikai tervezés. Dinasztia Kiadó, Budapest

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

Glatz, F.(szerk.) (2000): Közlekedési rendszerek és infrastruktúrák. Magyarország az ezredfordulón – Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián. MTA kiadványa. Budapest

Halászné Sipos, E. (1998): Logisztika – szolgáltatások, versenyképesség. Magyar Világ Kiadó. Budapest

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

Kassai, Zs. (2003): Szervestrágya-szórók alkalmazási megoldásai.
<http://www.agronaplo.hu/index.php?rovat=6&cikk=1226&archszam=30>

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

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.

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

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

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

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

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

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

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

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. Rómer, 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.