

SZERVES IPARI HULLADÉKOK KEZELÉSÉRE SZOLGÁLÓ TECHNOLÓGIÁK VIZSGÁLATA KÖRNYEZETTERHELÉSI, ENERGIAHATÉKONYSÁGI ÉS GAZDASÁGOSSÁGI ASPEKTUSOKBÓL

Bodnár István

PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

Mannheim Viktória

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: vegybod@uni-miskolc.hu

3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: mannheim@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A cikk az életciklus-értékelés módszerével állít fel új eredményeket a szerves, ipari hulladékok termikus kezelésére, illetve egy konkrét biogáz technológiára vonatkozóan. A termikus kezelési eljárások tekintetében az LCA eredmények a hagyományos égetésre, a gázosításra, a pirolízisre és a plazmatechnológiára vonatkoznak, különböző hőmérsékleten. Az életciklus-elemzést megvalósító, általunk alkalmazott LCA-szoftver konkrét bemutatása kapcsán egy biogáz-technológia került megtervezésre, szerves biomassa feladása mellett. A termikus kezelési eljárások és a biogáz-technológia vizsgálata során a környezetterhelés mellett, az energiahatékonysági és gazdaságossági szempontok is érvényesülnek. A környezeti terhelésekre vonatkozó eredmények a Globális felmelegedési Potenciál (GWP), az Ózon elvékonyodási Potenciál (ODP), a Savasodási Potenciál (AP) és a Humán Toxicitási Potenciál (HTP) kapcsán kerülnek bemutatásra az egyes technológiákra vonatkozóan.

Kulcsszavak:

termikus kezelési eljárások, biogáz-technológia, életciklus-elemzés

Abstract

This paper provides new information related to the thermic utilisation and biogas processes. The research study worked out prognoses with LCA method. The LCA data represents the conventional incineration, the gasification, the pyrolysis and the plasma-based technology for organic industrial waste. The energy efficiency and economic viewpoints also prevails, during the assessment of thermic treatment processes and biogas processes besides environmental burden. The investigations show the Global Warming Potential (GWP), the Ozone Layer Depletion Potential (ODP), the Acidification Potential (AP) and the Human Toxic Potential (HTP) by thermic treatments and biogas process.

Keywords:

thermic treatment processes, biogas technology, Life Cycle Assessment

1. Bevezetés

A szerves, ipari hulladékok ártalmatlanításának leggyakoribb módját napjainkban a veszélyes hulladékégetőkben történő égetés jelenti. A reakciók során azonban a bomlástermékekből veszélyes vegyületek (dioxin- és furán származékok, PCDD, PCDF) keletkezhetnek, ezért a keletkező szilárd és gáz halmazállapotú termékek – nem megfelelő füstgáztisztítás, illetve a füstgáztisztítási maradékok helytelen kezelése esetén – sokszor nagyobb veszélyt jelenthetnek környezetünkre, mint a feladásra kerülő hulladékok. E problémák kezelésére a rendelkezésre álló összes termikus hulladékkezelési eljárás számbavétele, mérlegelése, illetve megfelelő és optimális kiválasztása kínálhat megoldást, az adott technológia szerves kémiai hátterének alapos ismeretében. Az ártalmatlanítási/energetikai hasznosítási lehetőségek gondos vizsgálata kapcsán ma már nélkülözhetetlen feladat a rendelkezésre álló termikus kezelési eljárások komplex módon történő összehasonlítása. A termikus eljárások összehasonlítását nem csak az ismert 3T szabály (time-turbulence-temperature) függvényében célszerű elvégezni, hanem egy a környezetterhelés, az energiahatékonyság, ill. a társadalmi-gazdasági szempontok együttes figyelembevételével kidolgozott komplex modell alapján is, ahol feltárássra kerülhetnek a vizsgált technológiák előnyei és hátrányai. Az égethető szerves, ipari hulladékok termikus kezelése során az elsődleges szempont a hulladékban lévő veszélyes anyagok ártalmatlanítása, amely mellett természetes igény a képződő hőenergia kinyerése és hasznosítása is. Az elméleti modellt kiegészítő életciklus-elemzések birtokában megfelelően és optimálisan járhatunk el az egyes termikus kezelési eljárások kiválasztása kapcsán, mindhárom szempont érvényre juttatásával.

2. Termikus kezelési technológiák bemutatása

A *hagyományos égetési eljárásokat* illetően összefoglalóan elmondható, hogy az egy MWh előállított energia itt jár a legtöbb üvegházhatású gáz kibocsátásával, amit nagyobb nettó energetikai határfok jellemez. A póttüzelés fosszilis energiaforrásokkal (olaj/földgáz) történik. A szénhidrogének tökéletes égéséhez szükséges tartózkodási idő meglehetősen rövid, illetve nem kívánatos vegyi reakciók (klórkötések lebomlása sósavvá, fém-kloridok, szulfátok képződése) jellemzik a folyamatot. A *pirolízis és az elgázosítási technológiák* vizsgálata kapcsán megállapítható az, hogy kevés a nagyüzemi, kipróbált technológia és az igazán megbízható adat, ami gátolja az összehasonlíthatóságot. A pirolízissel és a gázosítással kezelt hulladékok fosszilis tüzelőanyagot váltanak ki. Pirolízisnél – anyagában és energetikai úton is – hasznosítható végtermékek (pirogáz, piroolaj) képződnek, és az oxigénhiány miatt kisebb a nehézfém-kibocsátás. A piroolaj felhasználása azonban emisszióval jár, jelentős mennyiségű pirokokszt képződik, a salakban magas a nehézfém koncentráció, s a füstgáztisztítási maradékanyagok ártalmatlanításáról is gondoskodni kell.

Az elgázosítás tekintetében a szintézisgáz kalóriaértéke a földgáz alatti értéket képviseli, így a hasznosító üzem működéséhez szükséges energia alig kevesebb, mint a megtermelt gáz energiatartalma. Az elgázosítás talán kiforrottabb technológia, mint a pirolízis. Egyes szakemberek állításai szerint viszont viszont a hamura és egyéb emisszióra megkövetelt értékek a pirolízist és az elgázosítást integráló (P&G) technológiákra vonatkozóan könnyebben teljesíthetőek, mint a hagyományos égetésnél. A nagyobb energiahatékonyságú integrált technológiák kW-onként jelentős üvegházhatású gáz

meztakarítást idéznek elő. A hulladék előkezelése (aprítás, szárítás stb.) jelentős energiaigényt és gyakran külső energiaforrást igényel. Igen elgondolkodtató az *ultra magas hőmérsékletű pirolízis* hőmérséklet tartománya (1200-2000 °C), ahol a szerves anyagok meglágyulnak, összeolvadnak és szilikátos végtermékek képződnek (környezeti hatásuk semleges, hasznosíthatók).

A termikus hulladékkezelés egyik ígéretes és sokoldalú lehetősége, a *plazmaeljárás*, amely technológiáról a hazai hulladékgazdálkodás még meglehetősen kevés információval és szakirodalmi háttérrel rendelkezik. A technológiának tudományos érdekességén túlmenően igen jelentős gyakorlati vonzatai is vannak, hiszen a plazmák alkalmazása jelentősen csökkentheti az adott folyamatok energiaigényét. A plazmatechnológia a szerves vegyipar hulladékaira is alkalmazható. A plazmás eljárások mind vegyipari alapanyag (szintézisgáz) előállítására, mind energiatermelésre alkalmasak lehetnek. A felhasznált alapanyag tulajdonságaitól, a villamos energia árától, környezeti megfontolásoktól és természetesen gazdasági szempontoktól függ, hogy egylépcsős (csak plazmában történő) vagy kétlépcsős (az anyag egy részének lebontása alacsonyabb hőmérsékleten végzett pirolízissel a plazmakezelést megelőzően) eljárást alkalmazunk. Amíg a hagyományos hulladékégetők levegővel (közel 80 százalék nitrogén, azaz az égetés szempontjából ballasztanyag) és nagy gázfelesleggel dolgoznak, addig a plazmatechnológiánál sokkal kisebbek a gázáramok. Mivel a hulladékégetők beruházási és működési költségeinek egyik legnagyobb részét a füstgáz-kezelő rendszer kiépítése, illetve működtetése teszi ki, a fentiek figyelembevételével plazmatechnológiánál e költségek lényegesen alacsonyabbak lehetnek.

1. táblázat: Termikus kezelési eljárások főbb jellemzői

Eljárás	Hőmérséklet (Celsius fok)	Égéslevegő	Segédanyagok Segédáramok	Főbb végtermékek
Pirolízis	250-900	$\lambda = 0$	inert gáz (pl. nitrogén)	pirogáz, piroolaj, pirokoks
Elgázosítás	500-1800	$\lambda < 1$	oxigén, vízgőz, levegő	gáznemű anyagok, szilárd maradékanyag
Plazma technológia	> 3000	oxidáló közeg	mosófolyadék, hűtővíz, semleges/oxidáló és redukáló gázok	szintézisgáz, üvegesített salak
Hagyományos égetés	800-1450	$\lambda > 1$	olaj/földgáz póttüzelés	füstgáz (5-10% éghető gáz), salak/pernye

Az „új” termikus hulladékkezelési technológiákat elsősorban az különbözteti meg a hagyományos égetéstől, hogy a hulladék kezelése oxigénszegény, illetve oxigénmentes környezetben, bizonyos esetekben valamilyen segédáram felhasználásával történik (ld. 1. táblázat). Bár az energetikai hasznosítás önálló lépcsőt kapott az integrált hulladékgazdálkodási piramisban, de a veszélyes hulladékok energetikai hasznosítását megvalósító termikus kezelési eljárások prioritási sorrendje ma nem teljesen ismert a hazai hulladék-

gazdálkodásban. Az új termikus kezelési technológiákat elsősorban a hagyományos égetéssel érdemes összehasonlítani, bár alapvetően a hagyományos égetési technológiák nyújtotta lehetőségek között sem mindig könnyű egy világos sorrendet felállítani.

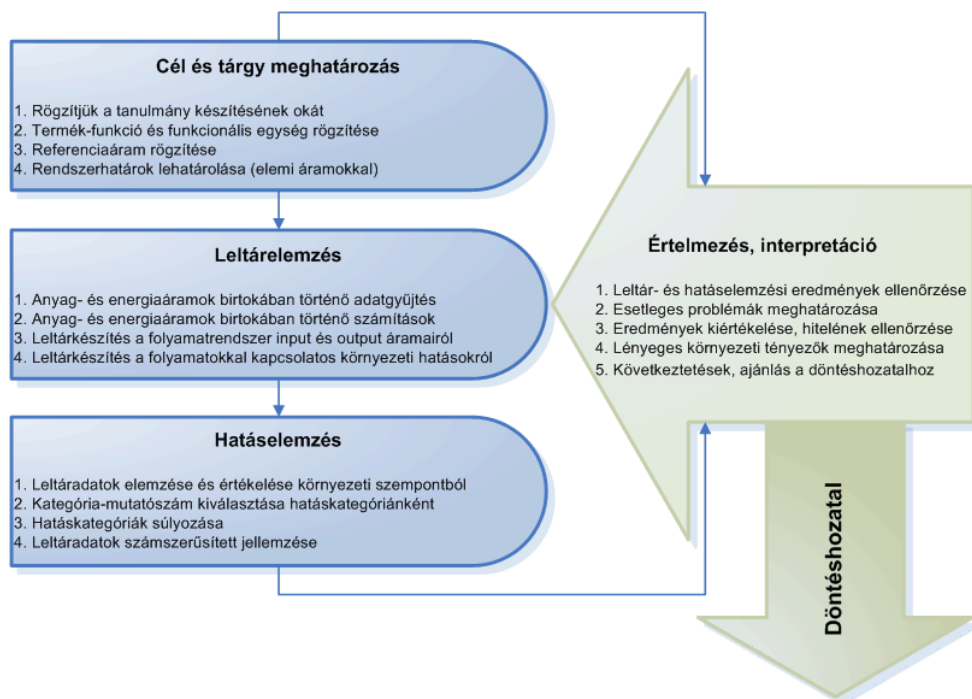
A termikus kezelési alternatívák összehasonlítása során a környezetterhelési, az energiahatékonysági, valamint a gazdaságossági szempontokat egyidejűleg célszerű figyelembe vennünk. Az egyes szempontok kulcskérdéseit, a vizsgálatok tárgyát, az alkalmazható módszereket és modelleket a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: Vizsgálati szempontok csoportosítása a vizsgált paraméterek függvényében

Szempont	Kulcskérdések	Vizsgálat tárgyai, paraméterei	Lehetséges módszerek, modellek
Környezeti terhelések	Emissziók Környezeti megbízhatóság Maradékanyagok kezelése	Input-Output anyagáramok Szén-dioxid ekv. emissziók Egyéb emissziók	Anyagmérleg folyamatvázlat és anyagmérleg egyenletek Sankey-diagram Életciklus-elemzés (LCA) Gazdasági Input-Output LCA (angol betűszóval: EIO-LCA)
Energia-hatékonyság	Energetikai hasznosság	Input-Output energiaáramok Energiakinyerési fok Javító és gátló tényezők	Energiamérleg folyamatvázlat és energiamérleg egyenletek Sankey-diagram LCA EIO-LCA
Gazdaságosság	Értékes alapanyagok kinyerése és hasznosítása Technológián belüli recirkuláció Költség-hatékonyság Megtérülési idő	Együttes input-output anyag- és energiaáramok Kinyerés, visszanyerés, hasznosítás mértéke Befektetett költségek, fenntartási költségek, egyéb költségek	Anyag- és energiaegyenletek, folyamatvázlatok Költség-haszonelemzés Költség-hatékonyságelemzés Életciklus költségek elemzése LCC és LCCA

3. Termikus kezelési eljárások összehasonlítása életciklus-értékeléssel

Az életciklus-értékelés (Life Cycle Assessment, LCA) kapcsán számszerűsítést és becslést végzünk arra vonatkozóan, hogy egy termék teljes élettartama során (előállítás, annak elosztása, felhasználása át a belőle képződő hulladék ártalmatlanításáig) milyen környezeti terheléseket okoz, illetve milyen és mennyi természeti erőforrást használ fel (beleértve az energiakiadásokat is). A 2012. évi XXVIII. törvényben kiemelkedő szerepet kap az életciklus-szemlélet, ami ez által a hulladékgazdálkodás szerves részévé vált. Az életciklus-értékelés során a legeredményesebb szakasznak a hatáselemzési szakasz mondható (ld. 1. ábra). A hatásértékelésnél (ISO 14044:2006 szabvány szerint) a folyamatrendszer input és output áramait környezeti hatáskategóriákba soroljuk, az előző szakasz leltáreredményeinek hozzárendelésével. Minden egyes hatáskategóriára vonatkoztatva meghatározunk egy referencia egységet, majd súlyozzuk őket a rendelkezésre álló hatásvizsgálati módszer segítségével. Az életciklus teljes anyag-, ill. energiamérlegének ismeretében, adott hatásvizsgálati módszer kiválasztásával a kívánt eredményhez jutunk. Az integrált hulladékgazdálkodási piramis szerint a termikus ártalmatlanítási technológiák nem versenyképesek a jobban preferált hasznosítással, de a veszélyes hulladékokat illetően a preferáltabb megoldások egyszerűen nem kerülhetnek előtérbe. A termikus kezelési eljárásokra vonatkozó kutatómunka környezeti hatáskategóriáit és az alkalmazott módszert a 3. táblázat foglalja össze. A CML 2001, 2010. novemberi kiértékelési módszer szerinti környezeti hatáskategóriák értelmezése a 4. táblázatban olvasható.



1. ábra: Az életciklus-értékelés szakaszai

3. táblázat: Alkalmazott értékelési módszer és vizsgált eljárások

Vizsgált termikus kezelési eljárások	Hatásvizsgálati módszer és paraméterei	Vizsgált hatáskategóriák
Pirolízis	<u>Értékelési módszer:</u>	GWP
Hagyományos égetés	CML 2001, 2010. novemberi	AP
Gázosítás	<u>Funkcionális egység:</u>	HTP
Plazmatechnológia	1 kg veszélyes hulladék	ODP

4. táblázat: Környezeti hatáskategóriák (CML 2001, 2010. novemberi módszer)

Hatáskategóriák megnevezése	Hatáskategóriák értelmezése	Egyenérték
Globális felmelegedési Potenciál (GWP)	A különböző üvegházhatású gázok globális felmelegedéshez való hozzájárulásának a mértéke egységnyi CO ₂ -hoz viszonyítva.	kg CO ₂ -egyenérték
Savasodási Potenciál (AP)	A SO ₂ -hoz viszonyított savasodás.	kg SO ₂ -egyenérték
Eutrofizációs Potenciál (EP)	Az eutrofizáció mértéke.	kg Foszfát-egyenérték
Humán Toxicitási Potenciál (HTP)	Az emberi szervezetre mérgező hatású anyagokra vonatkozó, maximálisan megengedett koncentráció mértéke 1,4 diklórbenzol (DCB) egyenértékben.	kg DCB-egyenérték
Fotokémiai Ózonképződési Potenciál (POCP)	Az illékony szerves vegyületek ózontermelő képessége.	kg Etilén-egyenérték
Ózonréteg elvékonyodás (ODP)	Főként a halogénezett szénhidrogének rovására írható, referens összetevőként az R11 került kiválasztásra.	kg R11-egyenérték
Földi öko-toxicitás (TETP)	Növény és állatvilágra vonatkozó mérgező anyagok, DCB egyenértékben.	kg DCB-egyenérték
Tengervízi öko-toxicitás (MAETP)		
Édesvízi öko-toxicitás (FAETP)		
Abiotikus kimerülő források (ADP)	Magába foglalja a nagyszámú fémércet.	kg Ólom-egyenérték
Abiotikus kimerülő fosszilis források (ADP)	Magába foglalja a kimerülő fosszilis energiaforrásokat.	kg MJ

A kutatómunka életciklus-értékelés eredményei alapján elmondható az, hogy a vizsgált termikus kezelési technológiák környezeti hatásai igen széles határok között mozognak. Kiugróan magas környezeti hatásokat általában a pirolízis esetén tapasztaltunk, amelynek oka az alkalmazott alacsonyabb hőmérsékletre vezethető vissza. Kivételt ez alól az ózonréteg vékonyodási potenciál (ODP) jelent, amely hatáskategória kapcsán a füstgáztisztítás nélküli hagyományos égetés képviseli a legmagasabb értéket.

5. táblázat: Vizsgált termikus kezelési eljárások paraméterei

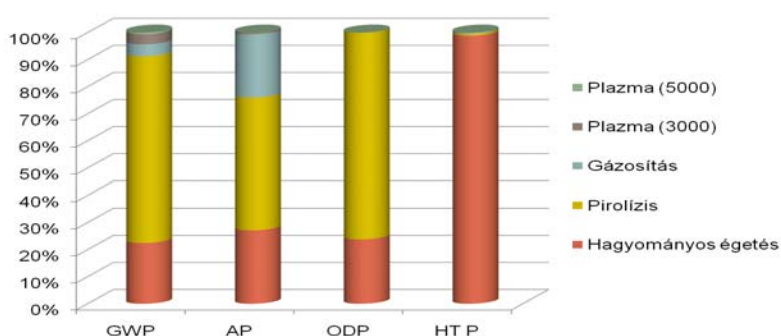
Termikus kezelési eljárások megnevezése	Energiahatékonysági paraméterek [%]		Tömegalapú paraméterek [kg/1 kg hulladék]	
	η_{NV}	η_{NH}	Δm_{hull}	K_{fg}
Hagyományos égetés (1100°C) (füstgáztisztítás nélkül)	14,93	10,82	0,725	0,875
Hagyományos égetés (1100°C) (füstgáztisztítással)	14,93	10,82	0,725	0,875
Pirolízis (500°C) (energiatermelés kazánban)	15,54	66,33	0,884	0,958
Gázosítás (1200°C) (energiatermelés kazánban)	17,29	65,34	0,725	0,833
Plazmatechnológia (3000°C) (energiatermelés gázmotorban)	34,98	62,04	0,80	1,231
Plazmatechnológia (5000°C) (energiatermelés gázmotorban)	37,48	59,02	0,83	1,142

A plazmatechnológiák kivételével (ahol Diesel körfolyamat valósul meg), minden eljárásnál Rankine-Clausius körfolyamat játszódik le, ezzel magyarázható a kisebb villamos-energetikai hatékonyság. A hagyományos égetést alkalmazó hulladékhasznosítónál kondenzációs gőzturbina került beépítésre, amely nem teszi lehetővé a teljes keletkezett hőenergia hasznosítását, ez által csak 10,82%-os nettó hő hatékonyság figyelhető meg. Ezzel ellentétben a pirolízist és a gázosítást alkalmazó hulladékhasznosító erőműveknél már ellennyomásos gőzturbina az erőgép, ami által a keletkezett hőenergia nagyobb, mint 65%-a kerülhet az ipari fogyasztók általi felhasználásra. A plazmatechnológiák esetében hő visszanyerő került beépítésre, ennek köszönhető a kiemelkedő hő hatékonyság. A füstgázkibocsátás tekintetében célszerű megjegyezni, hogy amilyen mértékben csökken a hulladéktömeg, olyan mértékben nő a kibocsátott füstgáz mennyisége, hiszen a termikus kezelési eljárások során a feladásra került szilárd és folyékony halmazállapotú hulladék legnagyobb része átment gázfázisba. A plazmatechnológiáknál a füstgáz-kibocsátásra jellemző 1 feletti értékek azzal magyarázhatók, hogy a plazmareaktorokban keletkező szintézisgáz gázmotorban került hasznosításra, ahol a tökéletes égéshez relatíve nagy mennyiségű levegőre volt szükség.

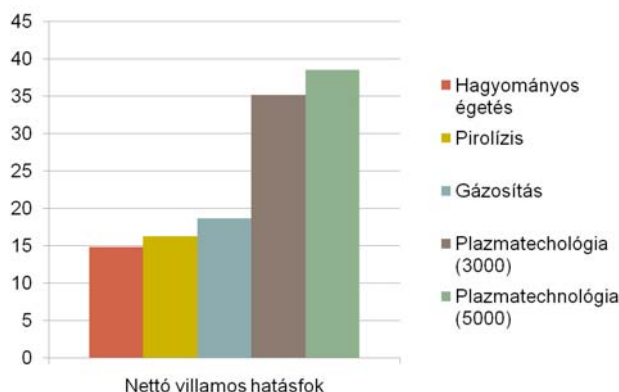
A plazmatechnológiát valamennyi hatáskategória tekintetében, kedvezőbb eredmények jellemzik, az alkalmazott magasabb hőmérsékletnek és a segédgázoknak (oxigén és szén-dioxid) köszönhetően. A füstgáztisztítást elhanyagoló és a füstgáztisztítást alkalmazó hagyományos égetéses technológiák összehasonlítása alapján megállapítható az, hogy a globális felmelegedéshez való hozzájárulás szén-dioxid egyenértékben csaknem egy egész nagyságrendben különbözik. A savasodási potenciált (AP) jellemző kén-dioxid egyenértékek, a plazmatechnológia kivételével azonos nagyságrendben helyezkednek el. Az emberi szervezetre gyakorolt toxikus hatás (HTP) esetén a gázosítás és a plazmaeljárások képviselik a legkedvezőbb értéket. A kapott értékeket a 6. táblázat foglalja össze.

6. táblázat: Vizsgált termikus kezelési eljárások környezeti hatáskategóriák értékei

Termikus kezelési eljárások megnevezése	Környezeti hatáskategóriák [kg -hatás egyenérték-]			
	HTP	GWP	ODP	AP
Hagyományos égetés (1100°C) (füstgáztisztítás nélkül)	96,7	5,03	1E-3	0,209
Hagyományos égetés (1100°C) (füstgáztisztítással)	28,5	0,707	1E-4	0,259
Pirolízis (500°C) (energiatermelés kazánban)	0,645	15,4	3,2E-3	0,376
Gázosítás (1200°C) (energiatermelés kazánban)	0,433	0,989	4,09E-11	0,18
Plazmatechnológia (3000°C) (energiatermelés gázmotorban)	3,66E-2	0,836	4,03E-08	4,48E-3
Plazmatechnológia (5000°C) (energiatermelés gázmotorban)	1,858E-3	0,128	4,48E-10	1,37E-4



2. ábra: Környezeti hatáskategóriák százalékos megoszlása az egyes termikus kezelési eljárásoknál



3. ábra. Energiahatékonyság a termikus kezelési eljárásoknál

Az 2. ábra egy összefoglaló diagramban ábrázolja valamennyi környezeti hatáskategória százalékos megoszlását, minden egyes termikus kezelési eljárásnál. A 3. ábra a termikus kezelési eljárásokra vonatkozó nettó villamos hatásfokot (η_{NV}) ábrázolja. A termikus kezelési technológiák életciklus-értékelése során a fentiekben említésre került környezeti hatáskategóriák mellett, energiahatékonysági és tömegalapú paraméterek is bevezetésre kerültek. Ez által az egyes technológiák nem csak környezetterhelés, hanem energiahatékonyság szempontjából is vizsgálatra kerültek (5. táblázat). A vizsgált termikus kezelési technológiák kapcsán, a környezeti hatások (GWP, AP, ODP, HTP) és a nettó villamos hatásfok (η_{NV}) tekintetében összefoglalóan elmondható az, hogy a hagyományos égetéses technológiák és a pirolízis, a feladásra került szerves ipari hulladékok (veszélyes hulladék nehézfém és PCB tartalommal) energiatermeléssel egybekötött ártalmatlanítására kevésbé megfelelőek.

4. Biogáz-technológia vizsgálata életciklus-értékeléssel

Az integrált hulladékgazdálkodási piramis szerint az energetikai hasznosítás ugyan nem versenyképes a jobban preferált újrahasználattal, de a szerves hulladékáramokat illetően, napjainkban az energetikai célú hasznosítási alternatívák kerülhetnek előtérbe, a hulladékból energia elv érvényesítése kapcsán. Az állati trágya, mint megújuló energiaforrás központi szerepet kaphat a fosszilis energiahordozók kiváltásában. Ezzel a megközelítéssel nem csak a kimerülőben lévő energiahordozóinkkal tudnánk hatékonyabban gazdálkodni, hanem jelentős mértékű károsanyag-kibocsátástól lehetne megkímélni a létünknek színteret adó bioszférát. E tézis helyességét egy általunk tervezett biogáz-technológia életciklus elemzésén keresztül szeretnénk igazolni. A technológiára vonatkozó kutatómunka környezeti hatáskategóriáit és az alkalmazott módszert a 7. táblázat foglalja össze. Az életciklus-elemzések során funkcionális egység-ként 1000 kg szerves hulladékot választottunk, ami két fő komponensből tevődik össze. Az egyik fő összetevő a baromfi-trágya, amelynek mennyisége 922 kg, a másik összetevő a fű szilázs, amely 78 kg-os

mennyiségben került feladásra. Az alapanyagok egy fermentorba kerülnek, ahol a fermentációs folyamat során 309 kg biogáz és 691 kg fermentátum keletkezik. A biogáz fejlesztési eljárás során termelt biogáz lakossági felhasználásra is alkalmassá tehető, például szerepet játszhat a földgáz és az üzemanyag kiváltásban. Éves szinten, mintegy 72.000 m³ földgézt lehet ezzel az eljárással megspórolni, emellett a környezetet szennyező anyagok koncentrációja is csökken. A 60%-os metántartalomnak köszönhetően földgázminőségű biometán állítható elő. Számos technológia létezik, melynek segítségével a biogázban található szén-dioxidot és egyéb olyan gázokat le lehet választani, melyek eltávolítása után a földgáz minőségével megegyező ún. biometánt kapunk. A biometán, amennyiben megfelel az MSZ 1638-ban közölt földgáz minőségi paramétereknek, a földgáz hálózatba betáplálható. Magyarországon még nem valósítottak meg biogáz tisztító berendezést és földgáz hálózati betáplálást.

7. táblázat: Alkalmazott értékelési módszer és vizsgált eljárások

Feladásra kerülő anyagáramok	Hatásvizsgálati módszer és paraméterei	Vizsgált hatáskategóriák
Szerves baromfitrágya: 922 kg	Értékelési módszer: CML 2001 (2010. november) (2011. évi adatbázissal)	GWP AP HTP
Frissen vágott fű: 78 kg	Funkcionális egység: 1000 kg szerves hulladék	ODP

A fermentáció után visszamaradt anyag sokkal jobban alkalmazható, a talaj szervesanyag-utánpótlásának a biztosítására, mint maga az a trágya, amit a fermentorba betápláltak. A fermentáció eredményeként a hulladék elhelyezéssel járó közegészségügyi problémák csökkennek, mert az anaerob fermentáció során az emberre veszélyes patogén baktériumok jelentős része elpusztul, a termofil folyamatban pedig teljes fertőtlenítés következik be. A termék térfogata számottevően csökken, tehát könnyebben és biztonságosabban tárolható, szállítható, elhelyezhető. A termelő biogáz legkorszerűbb, és egyben energetikailag leghatékonyabb hasznosításának módszere a kogenerációs egységben (150 kW elektromos teljesítményű gázmotor-generátor szett) történő elégetés.

8. táblázat: Biogáz-technológia paraméterei

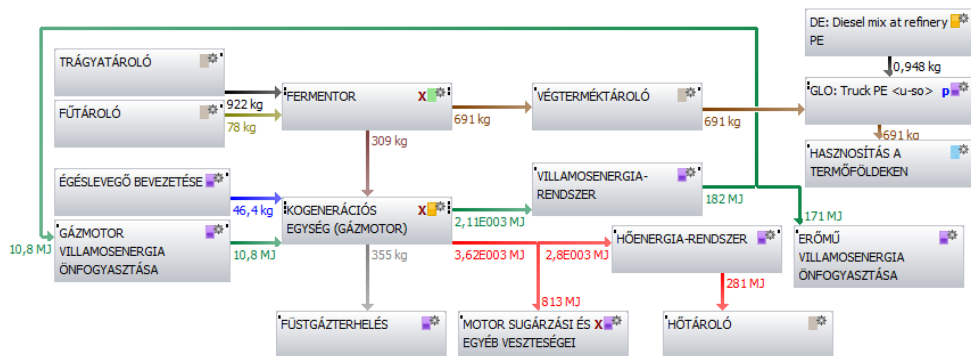
Feladásra kerülő anyagáramok	Paraméterértékek
GWP	3,94 kg CO ₂ -egyenérték
HTP	3,17 kg DCB-egyenérték
AP	1,3 kg SO ₂ -egyenérték
ODP	csak a végtermék szállítása esetén jelentkezik
Nettó hőhatásfok	44,16 %
Nettó villamos hatásfok	33,71 %
Megtérülési idő	3,5 év

A biogáz-technológiára jellemző input-output anyag- és energiaáramokat, illetve magát a technológiát igen jól tükrözi a GaBi 5 LCA-szoftverrel elkészített ún. LCA-Plan (4. ábra). A technológia környezetterhelésére, energiahatékonyágára és gazdaságosságára vonatkozó, számított paramétereket a 8. táblázat foglalja össze. Az 5. ábra a szén-dioxid kibocsátás egyenértéket ábrázolja kibocsátónként. Látható, hogy a kibocsátott szén-dioxid csaknem 77%-a, a végterméket szállító teherautó kipufogófüstjéből származik.

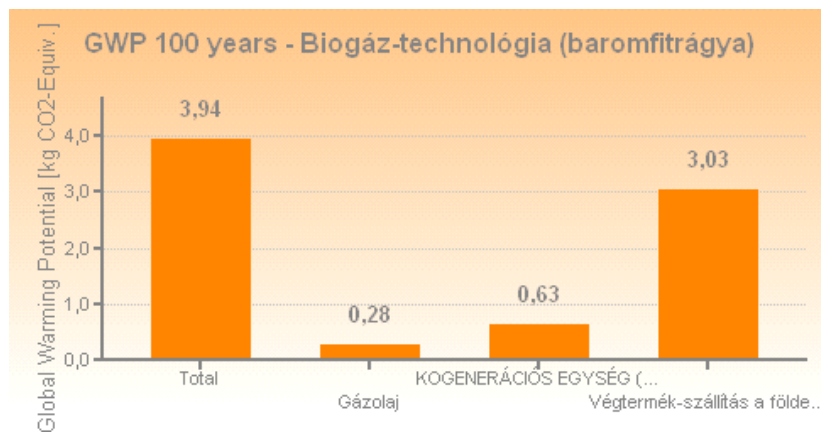
A keletkező fermentációs végtermék talajjavító anyagként szolgál a termőföldeken. Ennek mennyisége 691 kg. A technológia tervezése kapcsán 5km-es szállítási távolságot feltételeztünk a keletkezett végtermékre vonatkozóan, mivel az üzem közvetlenül egy baromfitartó-telep mellett valósulna meg (ezáltal is csökkentve a felmerülő környezeti terhelések értékét).

Biogáz-technológia (baromfitrágya)

GaBi 5 process plan: Reference quantities
The names of the basic processes are shown.



4. ábra: LCA-Plan biogáz technológiára



5. ábra: Biogáz-technológia GWP környezeti terhelései

5. Összefoglalás

A környezetterhelési, az energiahatékonysági és a gazdaságossági szempontok együttes figyelembevételével, valamint az életciklus-értékelés során kapott konkrét eredmények függvényében prioritási sorrend állítható fel az egyes termikus hulladékkezelési eljárásokon belül. A vizsgált termikus kezelési technológiák kapcsán, a környezeti hatások (GWP, AP, ODP, HTP) és a nettó villamos hatásfok (η_{NV}) tekintetében összefoglalóan elmondható az, hogy a hagyományos égetéses technológiák és a pirolízis, a feladásra került szerves ipari hulladékok (veszélyes hulladék nehézfém és PCB tartalommal) energiatermeléssel egybekötött ártalmatlanítására kevésbé megfelelőek. Az általunk tervezett és kicsi környezeti terheléseket mutató (minden hatáskategória tekintetében) biogáz-technológia kapcsán a kogenerációs egység által termelt villamos- és hőenergia az energetikai hálózatokon keresztül közvetlenül eljuttatható a fogyasztókhoz. Az üzem villamosenergia-önfogyasztása 8,6%, amelynek jelentős részét a villamos segédberendezések, valamint a vezérlés használ fel. A tervezett technológia nemcsak a környezetterhelés, hanem az energiahatékonyság területén is megállja helyét. A teljes erőmű nettó villamos hatásfoka 33,71%, és mivel a keletkező hőenergiának csak 10,3%-a fordítódik a fermentor fűtésére, így a nettó hőhatásfok értéke 44,16%. A kidolgozásra került komplex elméleti modell és az erre épülő, általunk alkalmazott módszer új döntéshozatali irányt képezhet a környezetvédelem jövőjében, ahol az említett szempontok (környezetterhelés, energiahatékonyság és gazdaságosság) együttes érvényesítése kizárólag a közös nevezők és kompromisszumok megtalálásával működhet.

6. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 jelű és a TÁMOP- 4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projektek részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. Irodalom

- [1] Kósi, K., Valkó, L.: *Környezetmenedzsment*. Typotex Kiadó, Budapest (2008).
- [2] Mannheim, V.: *Komplex modell bevezetése POP tartalmú hulladékok termikus ártalmatlanítási technológiáinak mérlegelésére*. GÉP. LXIII. évf. 2 (2012) pp. 45-48.
- [3] Mannheim, V., Bodnár, I.: *Veszélyeshulladék-kezelés és LCA. Termikus hulladékkezelési eljárások vizsgálata életciklus-elemzéssel*. ZIP. 12 évf. 8 (2012) pp. 27-29.
- [4] Mannheim, V., Siménfalvi, Z.: *Determining a priority order between thermic utilization processes for organic industrial waste with LCA*. Waste Management and the Environment VI. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 163, WIT Press. ISBN: 978-1-84564-606-6. ISSN: 1743-3541. (2012) pp. 153-166.
- [5] Mannheim, V.: *Termikus kezelési technológiák vizsgálata veszélyes hulladékokra, életciklus-elemzés módszerrel*. Energiagazdálkodás. 53. évf. 5 (2012) pp. 2-4.
- [6] Mannheim, V., Bodnár, I.: *Súlyozási rendszer kidolgozása termikus ártalmatlanítási eljárások összehasonlítására vonatkozóan*. GÉP. LXIII. évf. 10 (2012) pp. 37-40.