

SÚLYOZÁSI RENDSZER KIDOLGOZÁSA TERMIKUS ÁRTALMATLANÍTÁSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHOSONLÍTÁSÁRA VONATKOZÓAN

COMPARISON BETWEEN THE THERMIC TREATMENT PROCESSES WITH WEIGHTING SEQUENCE

Dr. Mannheim Viktória, Bodnár István***

ABSTRACT

This paper summarises thermic treatment processes with a comparison between the different technologies. Pyrolysis, conventional incineration, gasification and plasma-based technology can be considered on the basis of three viewpoints: environmental burden, energy efficiency and economic viewpoint. The Life Cycle Assessment (LCA) can play an important role in this research. These could be the most innovative methods in the area of environmental management. With the application of Life Cycle Assessment method for thermic processes, their energy and environmental efficiency can be determined. This research can set out alternatives, which can extend a priority order with help of weighting sequence for thermic treatment technologies.

1. BEVEZETÉS

A veszélyes hulladékok megfelelő ártalmatlanítása érdekében (a veszélyes hulladéklerakókban történő deponálást kiváltva) elengedhetetlen feladat a rendelkezésre álló termikus kezelési eljárások összehasonlítása, mivel a keletkező szilárd és gáz halmazállapotú végtermékek sokszor nagyobb veszélyt jelenthetnek környezetünkre, mint maguk a feladásra kerülő hulladékok. Előzetesen felállított elméleti modell alkalmazása és a rendelkezésre álló kutatási eredmények birtokában megfelelően járhatunk el az egyes hulladékkezelési eljárásokra vonatkozó döntéshozatal kapcsán. Az elsősorban szerves, ipari hulladékok kezelésére irányuló termikus technológiák összehasonlítása kapcsán a legcélszerűbben úgy járhatunk el, ha egyidejűleg mérlegelünk környezetterhelési, energiahatékonysági és ökonómiai szempontokat. A három szempont együttes figyelembevételével és konkrét vizsgálati eredmények birtokában, optimális döntést hozhatunk az egyes termikus eljárások kiválasztásáról. Az egyes ártalmatlanítási technológiákat környezetterhelési szempontból elsősorban

életciklus-elemzéssel vizsgálhatjuk, a környezeti hatások kiértékelésével. Az energiahatékonyság vizsgálata kapcsán energiahatékonysági paraméterek bevezetése célszerű. A fentiekben felsoroltak mellett, az ismertetésre kerülő kutatási eredmények a technológiák környezet-gazdaságtani elemzésére és egy egységes súlyozási rendszer kidolgozására irányulnak, ami egy prioritási piramison keresztül vezet a könnyebb döntéshozatalhoz.

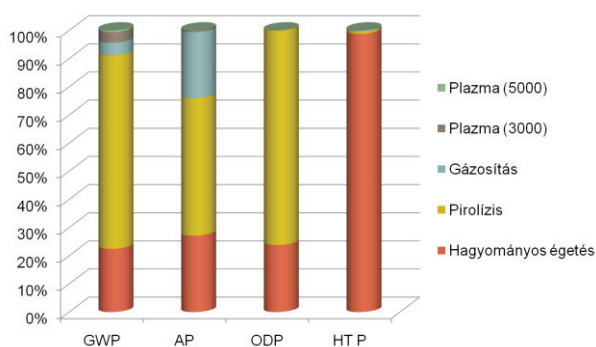
2. TERMIKUS ÁRTALMATLANÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK KÖRNYEZET- ÉS ENERGIAHATÉKONYSÁGI VIZSGÁLATA

Minden termikus ártalmatlanítási technológia előnye természetesen a lerakók tehermentesítése és az előállított energia hőenergia vagy villamos energia formájában történő hasznosítása. Az égethető szerves, ipari hulladékok termikus kezelése során az elsődleges szempont a hulladékban lévő veszélyes anyagok ártalmatlanítása, amely mellett természetes igény a képződő energia kinyerése és hasznosítása. A termikus ártalmatlanításra irányuló alternatívák összehasonlítását a 3T szabály (time-turbulence-temperature) függvényében célszerű elvégezni. A különböző hulladékok termikus ártalmatlanítási technológiáinak/energetikai hasznosításának prioritásai ma még nem teljesen egyértelműek. Környezetterhelési szempontból elsősorban életciklus-elemzések birtokában nyílik lehetőségünk az egyes technológiák közötti prioritási sorrend meghatározására. A Miskolci Egyetemen ez irányban folyó kutatómunka során négy ismert termikus eljárás (pirolízis, hagyományos égetés, gázosítás és plazmaeljárás) került vizsgálatra életciklus-elemzéssel (CML 2001 értékelési módszerrel), különböző környezeti hatáskategóriák alapján. Az életciklus-értékelés (Life Cycle Assessment, LCA) napjainkban, az egyik legjobban teret hódító környezetmenedzsment rendszereszköz, amelynek alkalmazása elsősorban az egymást helyettesítő termékek és technológiák esetén a legcélravezetőbb. Alkalmazása során számszerűsítést és becslést végzünk arra vonatkozóan, hogy egy termék teljes élettartama során (előállítása,

* egyetemi docens, ME Vegyipari Gépek Tanszéke

** PhD hallgató, ME Vegyipari Gépek Tanszéke

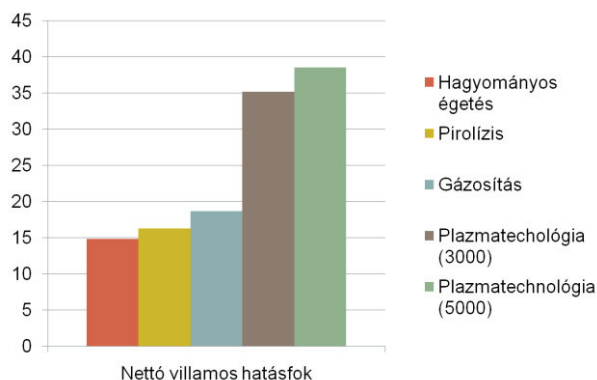
annak elosztásán, felhasználásán át a belőle képződő hulladék ártalmatlanításáig) milyen környezeti terheléseket okoz, illetve milyen és mennyi természeti erőforrást használ fel (beleértve az energiakiadásokat is). Az Országgyűlésnek 2011 decemberében benyújtott hulladéktörvény-javaslat meghatározásra került fogalmi körébe bekerült az életciklus-szemlélet, amelyet a hulladék-keretirányelv (HKI) a hulladékhierarchiától történő eltérés indokoltságának igazolásánál használ. A kutatómunka során az egyes termikus technológiákat négy környezeti hatáskategória tekintetében vizsgáltuk meg. Az eredmények alapján elmondható az, hogy a vizsgált termikus technológiák környezeti hatásai igen széles határok között mozognak. Kiugróan magas környezeti hatásokat 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. 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 (GWP) 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 különböző hőmérsékleten megvizsgált plazmaeljárások képviselik a legkedvezőbb értéket. A vizsgált technológiák környezeti hatásokra vonatkozó eredményeit az 1. ábra szemlélteti a környezeti hatáskategóriák százalékos megoszlásában.



1. ábra Környezeti hatáskategóriák százalékos megoszlása az egyes termikus kezelési eljárásoknál

A 2. ábra a termikus kezelési eljárásokra vonatkozó nettó villamos hatásfokot (η_{NV}) ábrázolja. A környezeti hatások (GWP, AP, ODP, HTP) és a nettó villamos hatásfok tekintetében összefoglalóan elmondható az,

hogy a hagyományos égetéses technológiák és a pirolízis, a feladásra került szerves ipari hulladékok (veszélyes hulladék nehézfém és PCB tartalommal) energia-termeléssel egybekötött ártalmatlanítására kevésbé megfelelőek.



2. ábra Termikus kezelési eljárások nettó villamos hatásfok (η_{NV}) értékei százalékban

3. TERMIKUS ÁRTALMATLANÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK KÖRNYEZET-GAZDASÁGTANI ÉRTÉKELÉSE

Az egyes hulladékkezelési technológiák különböző iparágazatok fejlődésére vonatkozó hatásait elsősorban input-output elemzések segítségével követhetjük nyomon. A konkrét életciklus-elemzések input-output anyag- és energiamérlegekre épülnek. A technológiai alternatívák összehasonlítása nem egyszerű feladat, de többletnevezős döntéstámogató és értékelési módszerekkel elősegíthető. Amennyiben a környezeti hatások nem azonosíthatók be statisztikai adatok által (az externáliák, mint külső hatások nehezen számszerűsíthetők), akkor az értékelést benchmarking módszerrel végezhetjük el. Benchmarking módszerrel ökológiai, technológiai és ökonomiai szempontból végezhetünk vizsgálatokat. Ennek kapcsán indikátorokat határozhatunk meg, amelyek segítségével sorba rendezhetővé válnak az egyes technológiai megoldások. A módszer kapcsán a költségek és a teljesítmények összehasonlíthatók, feltárhatók és kijelölhetők a fejlesztési lehetőségek. Az elemzéshez szakirodalmi háttér és elemzési adatok szolgálnak. Alapesetként a hagyományos égetéses technológiát vehetjük figyelembe és a többi termikus technológiát ezzel vethetjük össze az által, hogy a keletkező pozitív externáliák mennyiségeit összehasonlítjuk az egyes technológiáknál. Egy jól kidolgozott többletnevezős-többkritériumos módszer segíthet abban, hogy az alternatívák közötti választáskor a műszaki és gazdasági feltételek változásait párhuzamosan vehessük figyelembe. Egy kidolgozásra kerülő döntéstámogató-értékelési rendszer vizsgált aspektusai a következők lehetnek:

1. Környezeti aspektusok
2. Energetikai-technológiai aspektusok
3. Ökonómiai aspektusok

1. táblázat. Benchmarking-módszernél figyelembe vehető főbb indikátorok

Indikátorok megnevezése	1	2	3
Fosszilis energiaforrások kiváltása megújuló energiahordozókkal (input áramoknál)	x	x	
Energiatermelő egységek (gázmotor, gázturbina stb.) megválasztása	x	x	x
Egyéb eszközök megválasztása	x		x
Környezeti határértékek betartása	x	x	x
Levegőben történő üvegházhatású és egyéb gázok emissziós kibocsátása	x	x	
Energiafelhasználás		x	x
Technológiából származó végtermékek mennyisége és minősége	x		x
Technológiák bővíthetősége/kombinálása	x	x	x
Környezetileg értékes területek elvonása	x		
Biodiverzitás fenntartása	x		
Keletkező végtermékek kezelése	x		x
Üzemeltetési költség			x
Fenntartási költség	x		x
Piaci igények			x
Versenyképesség	x	x	x

A termikus kezelési eljárásokra alkalmazható benchmarking-módszer kapcsán figyelembe vehető főbb indikátorokat a fentiekben felsorolt három aspektus függvényében az 1. táblázat foglalja össze.

4. SÚLYOZÁSI RENDSZER KIDOLGOZÁSA TERMILKUS ÁRTALMATLANÍTÁSI TECHNO- LÓGIÁKRA

A termikus kezelési technológiák közötti választást és a több aspektusból álló döntéstámogató rendszert (ld. 1. táblázat) egy egységes súlyozási rendszer kidolgozása segítheti. Egy súlyozási rendszer kidolgozásánál az alábbi paraméterek kerülhetnek bevezetésre:

- Környezeti hatáskategóriák paraméterei
- Energiahatékonysági paraméterek
- Tömegalapú paraméterek

A termikus kezelési eljárásokra vonatkozó súlyozási rendszer kidolgozása során az energiahatékonysági és a tömegalapú paramétereket (ld. 2. táblázat), illetve az életciklus-elemzés konkrét eredményeit vehetjük figyelembe.

2. táblázat. Energiahatékonysági és tömegalapú paraméterek

Eljárás	Energiahatékonysági paraméterek [%]		Tömegalapú paraméterek [kg/1 kg hulladék]	
	η_{NV}	η_{NH}	Δm_{hull}	K_{fg}
Égetés (1100°C)	14,93	10,82	0,725	0,875
Pirolízis (500°C)	15,54	66,33	0,884	0,958
Gázosítás (1200°C)	17,29	65,34	0,725	0,833
Plazma (3000°C)	34,98	62,04	0,80	1,231
Plazma (5000°C)	37,48	59,02	0,83	1,142

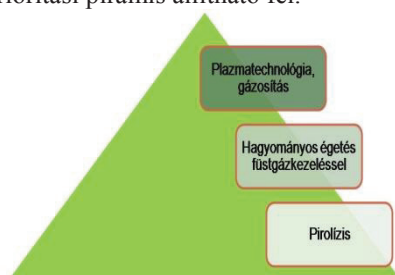
A vizsgált paraméterek súlyozása során az egyes paraméterek közötti függőségi viszony értelmezéséből indultunk ki. Mivel a környezet védelme mellett az emberi élet védelme a legfontosabb, ezért legnagyobb súllyal a humán toxicitási potenciált (HTP) vettük figyelembe, amelyet „x” ismeretlen értéknek neveztük el az elemzés kapcsán. A második legnagyobb súlyt a nettó villamos hatásfokhoz (η_{NV}) rendeltük, mert amennyiben a hulladékot energetikai céllal hasznosítjuk, akkor egy-egy hulladékból a lehető legtöbb villamos-energiát szeretnénk megtermelni. Mivel az emberi szervezetre káros anyagok kibocsátásának átlagosan 90 százaléka az energiatermeléssel függ össze, ezért ez az érték a HTP 90%-os értékével lesz egyenértékű. Mivel napjainkban a villamos energia piaci ára csaknem ötször nagyobb, mint a hőenergia ára, ezért ezt a kapcsolatot a két hatásfok kapcsán is figyelembe kell vennünk. Ennek megfelelően lett a nettó hőhatásfok (η_{NH}) súlya az $\eta_{NV}/4,72$. Mivel a termikus kezelési eljárások helyes megválasztása során akár 84%-kal is csökkenthető a hulladéklerakók terhelése (a technológiák kombinálásával ez az arány akár 98% is lehet), ezért a hulladék tömegcsökkenés mértéke (Δm_{hull}) a HTP súlyának 84%-át éri el. A füstgáz kibocsátás mértékének súlya (K_{fg}) a hulladék tömegcsökkenés mértékének és a nettó hőhatásfok súlyainak különbsége. A szén-dioxid kibocsátás a villamos energiatermeléssel függ össze, ezért a két tényező között értelmeznünk kell egy arányt. Ha a keletkezett szén-dioxid mennyiségéből levonjuk a szállítás során felszabaduló szén-dioxid mennyiséget, akkor az energiatermelés szén-dioxid mennyiségét kapjuk eredményül. Ha ebből az értékből kifejezzük az energiatermelés részeseését, akkor megkapjuk a GWP arányosító tényezőjét. A vizsgált termikus technológiák esetén (veszélyes hulladékok szállítására vonatkozóan) el-

mondható az, hogy a szén-dioxid kibocsátás csaknem ötöde a hulladékok szállítására szolgáló teherautók kipufogófüstjéből származik. Ennek megfelelően az energiatermelés csak mintegy 82%-ot tesz ki, így a GWP súlya az η_{NV} súlyának 82 százaléka. Mivel a keletkező, ózonbontó képességgel rendelkező gázok jelentős része a füstgázzal távozik, értelmeznünk kell az ODP és K_{fg} közötti kapcsolatot is. Átlagosan ez az arány 96%. Az AP hatása elsősorban a savas esők gyakoriságában, a termőföld elszikesedésében, ill. a talajerózióban jelentkezik. E hatás bekövetkezési valószínűsége az ózonréteg vékonyodásától megközelítőleg 50%-ban függ. Fentiek függvényében egy megoldandó matematikai egyenletet kapunk, ahol az egyenlet jobb oldalán a súlyok összege értelemszerűen egységnyi: A megoldott matematikai egyenlet együtthatóit a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat. A megoldott matematikai egyenlet együtthatói

HTP 0,19	GWP 0,14	ODP 0,12	AP 0,06
η_{NV} 0,17	η_{NH} 0,036	Δm_{hull} 0,16	K_{fg} 0,124

A rendelkezésre álló matematikai összefüggések és értékek meghatározásával a kutatómunka elsődleges célja a veszélyes hulladékok termikus ártalmatlanítására szolgáló technológiák közötti prioritási sorrend felállítása volt. A komplex, súlyozási rendszerben a legtöbb pontot elért technológia a legjobb megoldást képviseli, valamennyi általunk vizsgált szempontból. Az életciklus-elemzéseket és a további vizsgálatokat minden egyes technológiánál azonos mennyiségű szerves ipari hulladékáramra (funkcionális egység: 1 kg veszélyes hulladék nehézfém és PCB tartalommal) végeztük el. A kidolgozásra került súlyozási módszer alkalmazásával, az egyes technológiákra adott pontok szerint, a 3. ábrán vázolt prioritási piramis állítható fel.



3. ábra Prioritási piramis termikus technológiákra

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A termikus hulladékkezelési technológiák kapcsán, a vizsgált szempontok és paraméterek tekintetében összefoglalóan elmondható az, hogy a prioritási sorrend szerint a legjobb eljárás az 5000 °C hőmérsékletet alkalmazó plazmatechnológia. Jó megoldásnak tűnik az ultra magas hőmérsékletű pirólízis tartományának alsó hőmérséklet határértékén (1200 °C) történő gázosítás is. Mivel azonban a szerves ipari hulladékok a hagyományos 300-1600 °C között nem bonthatóak le teljes mértékben (és a véggázok nem lekötött klórszármazékokat tartalmaznak), ennél a hulladékáramnál az ultra magas hőmérsékletű pirólízis hőmérséklet tartományát célszerűen növelni kell. A termikus kezelési technológiák értékelésére általunk meghatározott súlyozási rendszer hasonlóképpen egyéb hulladékkezelési eljárásokra is kidolgozható. Az így felállított prioritási sorrendek eddig ismeretlenek a hulladékgazdálkodás területén és egy új irányt képezhetnek a hulladékgazdálkodás jövőjében.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MANNHEIM V.: Komplex modell bevezetése POP tartalmú hulladékok termikus ártalmatlanítási technológiáinak mérlegelésére. *GÉP.* LXIII. évf. 2 (2012) pp. 45-48.
- [2] MANNHEIM V., BODNÁR I.: Veszélyes hulladék-kezelés és LCA. Termikus hulladék-kezelési eljárások vizsgálata életciklus-elemzéssel *Zöld Ipar Magazin.* 12 évf. 8 (2012) pp. 27-29.
- [3] MANNHEIM V.: Termikus kezelési technológiák vizsgálata veszélyes hulladékokra, életciklus-elemzés módszerrel. *Energiagazdálkodás.* 53. évf. 5 (2012) pp. 2-5.