

# KOMPLEX MODELL BEVEZETÉSE POP TARTALMÚ HULLADÉKOK TERMIKUS ÁRTALMATLANÍTÁSI TECHNOLÓGIÁINAK MÉRLEGELÉSÉRE

## PRIORITY ORDER FOR THERMIC TREATMENT PROCESSES WITH COMPLEX MODEL BY POPS WASTES

Dr. Mannheim Viktória\*

### ABSTRACT

*The persistent organic pollutants (POPs) wastes take the main place in the group of organic industrial waste and the residues of the POPs waste generated in the processes of the chemical industry. There are green chemistry methods and some other treatment approaches for decreasing the quantity of the organic industrial waste, but currently thermic treatment processes are the most popular alternatives. This paper summarises thermic utilisation processes with a comparison between the different technologies, stressing factors affecting their applicability and operational suitability. With the application of Life Cycle Assessment (LCA) method for technologies, their economic and environmental efficiency can be determined. Their advantages and disadvantages are examined in such a multi-component matrix. The research can set up prognoses and models with LCA analyses and the conscious application of scientific methods, which can offer a prognosis for untested situations.*

### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban a modern mezőgazdasági termelés és a növényvédelmi eljárások hatékonysága elképzelhetetlen növényvédő szerek használata nélkül. A növényvédő szerek gyártása a „vegyipari alapanyag és termékgyártás” vegyipari főágazatban foglal helyet. Az Európai Unióban egyre nagyobb mennyiségben használnak fel növényvédő szereket. Magyarországon az elmúlt 50 évben összesen közel 2,4 millió tonna növényvédő szert használtak fel, amelynek csaknem 20 százaléka olyan hatóanyagot tartalmazó készítmény, amely a természetben tartósan megmaradó, ún. perzisztens szerves szennyező anyagot (angol rövidítéssel POP) tartalmaz.

Előzetes felmérések szerint, a mezőgazdasági üzemek a selejtté vált növényvédő szerek nagyobb részét hosszú ideig tárolják, és csak kisebb hányaduk kerül ártalmatlanításra. A növényvédő szer hulladékok, maradékok, csomagolásaik és a lejárt szavatosságú „elfekvő” peszticidek 2001 óta a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagokról szóló - Magyarországon a 2008. évi V. törvénybe kihirdetett - Stockholmi Egyezmény tárgyát képezik. Veszélyes hulladékként bejelentés-kötelesek és ártalmatlanításukról gondoskodni kell.

### 2. TECHNOLÓGIAI IRÁNYVONALAK MEGHATÁROZÁSA

A növényvédő szerek gyártásának melléktermékeként dioxinok, furánok és a poliklórozott bifenilek képződnek. A dioxinokat valójában a poliklórozott-dibenzo-p-dioxinok és a poliklórozott-dibenzo-furánok vegyületsorozatjai alkotják. A két vegyületsorozatban 210 egymástól eltérő szerkezetű molekula található, 75-135 arányban. Ezek a molekulák különböző kémiai és fizikai-kémiai tulajdonságokkal rendelkeznek, ezáltal különböznek az élő szervezetekre gyakorolt hatásokban is. A dioxinokkal együtt előforduló poliklórozott-bifenilek (PCB-k) több klórt tartalmazó szerves vegyületek, ahol a klóratomok a két benzolgyűrű összekapcsolódásából létrejött bifenilt alkotnak, amely toxikus, mutagén, reprotoxikus, degradációnak ellenálló tulajdonságokkal rendelkezik. Bioakkumulálódik, sőt biomagnifikációra is képes a tápláléklánc mentén. Megállapítható, hogy a növényvédőszer-gyártás melléktermékeinek, csomagolóeszközeinek és hulladékainak kezelése komoly problémát és környezeti kockázatot rejt, ezért nemcsak a növényvédő szerek gyártási folyamatára vonatkozóan (elsődleges technológiai megoldások), hanem hulladékainak,

---

\* egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

maradékainak és csomagolóeszközeinek kezelési eljárásait illetően is megoldásokat szükséges keresnünk (másodlagos technológiai megoldások). Azaz a fellépő környezeti terhelések és kockázatok redukálására vonatkozóan két fő irányvonalat célszerű követni:

(1) A növényvédőszer-gyártás folyamatának átalakítása a „zöld kémia” jegyében (tisztább termelés technológia).

(2) Megfelelő technológia kidolgozása és optimalizálása a korábban keletkezett, elfekvő és a jövőben keletkező peszticidek kezelésére és ártalmatlanítására vonatkozóan (csővégi technológia).

Jelen cikk a második kutatási irányvonalhoz, ezen belül is a termikus kezelési eljárásokhoz kapcsolódóan szolgál új információkkal. A veszélyes hulladékok termikus kezelését a jogi szabályozás jelenleg ártalmatlanításnak tekinti az Európai Unióban, és ebből adódóan hazánkban is. A növényvédő szer hulladékok, maradékok, csomagolásaik és az elfekvő peszticidek termikus ártalmatlanítási lehetőségeinek gondos vizsgálata kapcsán elengedhetetlen feladat a rendelkezésre álló valamennyi kezelési technológia alapos és komplex összehasonlítása, elsősorban a környezetterhelési, az energiahatékonysági, valamint a gazdaságossági szempontok együttes figyelembe vételével.

### 3. TERMIKUS ÁRTALMATLANÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Környezetterhelési és energiahatékonysági szempontból minden termikus ártalmatlanítási technológia előnye természetesen a lerakók tehermentesítése és az előállított energia hő- vagy villamos energia formájában történő hasznosítása. Az égethető szerves, vegyipari hulladékok termikus kezelése során az elsődleges szempont a hulladékban lévő veszélyes anyagok ártalmatlanítása, amely mellett természetes igény a képződő hőenergia kinyerése és hasznosítása is. A termikus ártalmatlanításra irányuló alternatívák összehasonlítását a 3T szabály (time-turbulence-temperature) függvényében célszerű elvégezni. A növényvédőszer-maradékok és csomagolóeszközeik ártalmatlanításának leggyakoribb módját napjainkban a veszélyes hulladékégetőkben történő *hagyományos égetés* jelenti. A hagyományos égetési eljárásokat illetően összefoglalóan elmondható, hogy az egy MWh előállított energia itt jár a legtöbb üvegházhatású gáz kibocsátásával, amit nagyobb nettó energetikai hatások jellemez. A pöttüzelés 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 reakciók során 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 maguk a feladásra kerülő hulladékok. E problémák kezelésére „új” *termikus ártalmatlanítási eljárások* számbavétele, mérlegelése, illetve megfelelő és optimális kiválasztása kínálhat megoldást, az adott technológia szerves kémiai hátterének alapos ismeretében. 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. Elsősorban az különbözteti meg őket a hagyományos égetéstől, hogy a hulladék kezelése oxigénszegény, illetve oxigénmentes környezetben történik. Környezetterhelés és energiahatékonyság szempontjából, 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 kapcsán 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 a hamura és egyéb emisszióra megkövetelt értékek a pirolízist és az elgázosítást integráló technológiákra (P&G technológiák) vonatkozóan könnyebben teljesíthetőek, mint a hagyományos égetésnél. A nagyobb energiahatékonyságú integrált technológiák kW-onként jelentős üvegházhatású gáz megtakarítást idéznek elő. A hulladék előkezelése (apritás, 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). Mivel 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 pirolízis

hőmérséklet tartományát célszerűbb tovább szűkíteni. 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, ezen belül a növényvédőszer-maradékokra és csomagolóeszközökre is megoldást kínálhat. A plazmás eljárások mind vegyipari alapanyag (szintézisgáz) előállítására, mind energiatermelésre alkalmasak lehetnek. A felhasznált alapanyag tulajdonságaitól, a villamos energia árártól, 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 (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 plazma technológiánál e költségek lényegesen alacsonyabbak lehetnek.

A halogénezett aromás szénhidrogének ártalmatlanítása a hagyományos égetőművekben és klinkerégető kemencékben történő együttégetés mellett, katalitikus dehalogénezéssel is történhet. Klórtartalmú aromások ártalmatlanítása célszerűen katalitikus lebontással valósítható meg, ahol fontos szempont a katalizátor megfelelő stabilitása és élettartama. Szükségszerű lenne e területen olyan katalitikus aktivitással rendelkező anyagokat alkalmazni, amelyek az ártalmatlanítás során értékes és klórmentes vegyületeket eredményeznek.

#### **4. ÚJ MODELL FELÁLLÍTÁSA ÁRTALMATLANÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK KOMPLEX VIZSGÁLATÁRA**

Életciklus-elemzések (LCA) függvényében lehetőség nyílik az egyes ártalmatlanítási technológiák közötti prioritási sorrend felállítására. A környezetmenedzsment egyik legjobban teret hódító rendszereszközének alkalmazása során számszerűsíthető és megbecsülhető az, hogy egy termék teljes élettartama során (előállítása, 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). Azaz, az LCA az alkalmazásra kerülő ártalmatlanítási technológiák közötti mérlegelést teszi lehetővé. A környezetterhelés, az energiahatékonyság, illetve a gazdaságossági szempontok alapján felállított komplex modellben mérlegelésre kerülnek az adott termikus technológia előnyei és hátrányai. A három szempont vizsgálata kapcsán azonban egy olyan matematikai módszer kidolgozása célszerű, ami az életciklus-elemzés módszere által vizsgált paraméterek mellett, egyidejűleg az időt és a valószínűséget is figyelembe veszi. Az elméleti matematikai statisztika háttérén (relatív gyakoriság-valószínűség) alapuló MATLAB (Matrix Laboratory) speciális programrendszer keretén belül minden egyes környezeti hatás egy termikus ártalmatlanítási folyamat karakterisztikus változóját jelenthetné egy technológiai sorozat keretén belül. Minden vizsgált technológia eredménye egy meghatározott valószínűségű esemény bekövetkezése, vagy be nem következése. MATLAB környezetben lehetőségünk van egyenletes eloszlású véletlen számok generálására zárt intervallumon. Meg kell vizsgálnunk, hogy az egyenletes eloszlással generált véletlen szám hogyan viszonyul egy valószínűség értékéhez, és ennek megfelelően könnyebb döntést hozunk. Természetesen az intervallum szélső értékeit és a szórásnégyzetet is szükséges meghatározni. A kutatómunkát nagymértékben elősegítő, 2011 novemberében piacra került GaBi 5 LCA-szoftver számos előnnyel rendelkezik korábbi társaihoz képest. Egyszerre kínál a felhasználóknak frissített, a 2011-es évre vonatkozó adatbázist; egyszerűsített és gyorsított életciklus modell felépítést; valamint hatékonyabb, interaktív LCA tanulmánykészítő funkciót. A kidolgozásra került komplex modell egyes vizsgálati szempontjainak főbb kulcskérdései, vizsgálati paraméterei és alkalmazható módszerei az alábbiak lehetnek:

##### Kulcskérdések:

- Emissziók mértéke
- Környezeti megbízhatóság
- Maradékanyagok kezelése
- Energetikai hasznosság
- Értékes alapanyagok kinyerése, hasznosítása
- Technológián belüli recirkuláció
- Költségek, költséghatékonyság
- Megtérülési idő

##### Vizsgálati paraméterek:

- Input-output anyag- és energiaáramok
- Emissziók
- Energiakinyerési fok
- Energiahatékonyságot javító és gátló tényezők
- Kinyerés, visszanyerés, hasznosítás mértéke

- Befektetett költségek, fenntartási költségek, egyéb költségek

#### Alkalmazható módszerek:

- Anyag- és energia mérlegegyenletek, folyamatvázlatok
- Sankey-diagram
- Életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, röviden LCA)
- Gazdasági Input - Output LCA (EIO-LCA)
- Költség-haszonelemzés
- Költség-hatékonyságelemzés
- Életciklus költségek elemzése (Life Cycle Cost és Life-Cycle Cost Analysis, röviden LCC és LCCA)

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kutatási tanulmány környezetterhelési, energiahatékonysági, illetve gazdaságossági szempontok alapján ismerteti és hasonlítja össze a hagyományos és „új” termikus ártalmatlanítási technológiákat a növényvédő szer hulladékok, maradékok és csomagolásaik kapcsán. A szempontok bevezetése során felsorolásra kerülnek a felmerülő kulcskérdések, a vizsgálatok tárgyai és az alkalmazható módszerek. A szempontok bevezetését és bemutatását követően egy olyan kidolgozott, komplex vizsgálati modell kerül ismertetésre, ami napjainkban a környezetvédelem és a környezetmenedzsment területén teret hódító életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, LCA) által vizsgált környezeti hatások mellett, egyidejűleg az időt és a valószínűséget is figyelembe veszi. A különböző LCA szoftverek matematikai programnyelvekkel történő kombinálásával, egy új és a jövőben eredményesen alkalmazható megoldási-döntési irányvonal adható meg a vegyipari környezetvédelem és ezen belül is a vegyipari hulladékok kezelési kérdéseit illetően. Az elemzésre került termikus kezelési technológiák, mint energetikai hasznosítási eljárások a deponálás előtt foglalnak helyet az ún. integrált hulladékpiramisban, de a vizsgált eljárások nem versenyképesek az integrált hulladékgazdálkodás által jobban preferált anyagában történő hasznosítással. (A

hulladék hasznosításával 3-5-ször annyi energiát takarítunk meg, mint amennyit a termikus kezelési eljárásokkal nyerünk). A vizsgált hulladékaromat illetően azonban a preferáltabb megoldások egyszerűen nem jöhetnek szóba. Az ártalmatlanítást illetően még számos kérdés vár feleletre a jövőben. Bizom benne, hogy a folyamatban lévő TÁMOP- 4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt további kutatási eredményei által sikerül további értékes, összevethető következtetéseket levonni mind környezetvédelmi, mind energiahatékonysági, mind pedig gazdaságossági téren. Magyarország meglehetősen kevés információval és szakirodalmi háttérrel rendelkezik az új termikus kezelési technológiák területén, így a rendelkezésre álló információk további bővítése és az esetleges pilot megvalósítások nagy előrelépést jelenthetnének a hazai hulladékgazdálkodás és a vegyipari környezetvédelem területén.

*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.*

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KÓSI K., VALKÓ, L.: Környezetmenedzsment, Typotex Kiadó, 2006.
- [2] MANNHEIM V.: Szerves vegyipari hulladékok termikus kezelése plazmatechnológiával. *Energiagazdálkodás*. 2010. (51. évf.) 3. sz. p. 21-23.
- [3] MANNHEIM V.: Life Cycle Assessment (LCA) a hulladékgazdálkodásban. *Hulladékgazdálkodási Tanácsadó Kézikönyv*. 9. rész/ IV. sz. melléklet. Dashöfer Kiadó. Budapest, 48. aktualizálás, 2011. november. pp. 187-198.
- [4] MANNHEIM V.: Veszélyes peszticidek kezelése. Növényvédőszer-maradékok és csomagolásaik ártalmatlanítása termikus kezeléssel. I.-II-III. rész. *Zöld Ipar Magazin*. Hulladékgazdálkodás, megújuló energia és környezetvédelem szakmai lapja. 12 (2011) Nr. 3, 4, 11.

### **Köszönet a lektoroknak**

*A GÉP jelen számában szereplő cikkek lektoráltak. Ezúton is köszönetet mondunk a lektoroknak a szakmai segítségükért. Dr. Bányai Tamás, Bokros István, Bordás Róbert, Dr. Csernák Gábor, Dr. Döbröczöni Ádám, Dr. Dömötör Ferenc, Dr. Farkas József, Dr. Fáy Árpád, Dr. Gyulai László, Dr. Hornyák Margit, Dr. Kovács Béla, Dr. Kovács György, Dr. Kovács Miklós, Dr. Mikó Balázs, Dr. Molnár András, Dr. Orbán Ferenc, Dr. Rác Pál, Dr. Szabó Ferenc, Dr. Szemmelveiszné Dr. Hodvogner Katalin, Dr. Szirbik Sándor, Dr. Varga Gyula*

### **Köszönet a támogatóknak**

*Ezúton mondunk köszönetet TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt kapcsán a támogatásért, mely az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg a Miskolci Egyetemen. Továbbá a Fireplace Kft., a FUX Zrt., SAVACAD Vegyipari Gépészeti Kft., valamint a Froweld Kft. támogatását szintén nagyon köszönjük.*