

A műanyag hulladékok hasznosításáról reálisan

A műanyag hulladékok közül azokat érdemes újra feldolgozni, amelyek jól elkülöníthetők és nagy mennyiségben fordulnak elő; jelenleg ilyenek a használt PET és PE-HD palackok. A biodegradálható műanyagok közül az ipari méretben rövid idő alatt komposztálhatók számíthatnak sikerre. A nehezen újrafeldolgozható vagy kis mennyiségben megjelenő műanyagok hulladékának hasznosítására a termikus eljárások, ezen belül a pirolízis és gázosítás – anyaguk szintézisgázzá vagy üzemanyaggá alakítása – tűnik járható útnak.

Tárgyszavak: műanyag hulladék; hasznosítás; újrafeldolgozás; komposztálás; pirolízis; szintézisgáz; üzemanyag.

Már 6500 évvel ezelőtt is szemeteltek

Archeológiai kutatások igazolják, hogy az észak-amerikai Colorado őslakosai már időszámításunk előtt 6500 évvel ezelőtt is egy helyen halmozták fel a szemetet, a feltárt csoport lakóhelyén naponta fejenként kb. 2,4 kg-t. *Az amerikai középosztály tagjai ma naponta 1,2 kg szemetet „termelnek”.* Az Európában feltárt legrégebbi szemétdomb Athénben van i.e. 500 körülről. Ezek a szemétdombok azt igazolják, hogy az ember az idők kezdete óta szemetel. A nomád vándorlások korában ez nem okozott problémát, mert ha a törzs továbbment, szemetét egyszerűen hátrahagyta. A népesség növekedésével és különösen városokban koncentrálódása után azonban a szemét mennyisége egyre több lett, és bár már a kezdetektől próbálták a „szemétügyet” valahogy kezelni, a növekedés mindig gyorsabb volt, mint a kezelésére tett intézkedések. A közelmúltban a nagyvárosokban drámaivá vált a helyzet, ezen belül is a műanyag hulladék aránya. Az USA-ban a lakossági szemét 55%-át ma is lerakókban helyezik el.

Állami és helyhatósági intézkedésekkel próbáltak a szemétdömpingen úrrá lenni, a hasznosítható anyagokat pl. visszaforgatni, de ezzel sem sikerült a növekedést lényeges mértékben lassítani. Pedig ma már mindenki tisztában van azzal, hogy a szemét értékes anyagokat, de mindenekelett energiát tartalmaz. Sokan dolgoznak azon, hogy ezt az energiát kinyerjék a szemétből, mégpedig „zöld” energia formájában. Ennek egyik módja lehet a szemét elégetése, de még inkább pirolizálása és gázosítása, amelynek során – az alkalmazott technológiától függően – CO-ból és H₂-ből álló szintézisgázt állíthatnak elő a hulladékból. Mindkét gáz sokféle hasznos célra alkalmazható.

Mit lehet tenni a mindent elöntő műanyag hulladékkal?

A műanyag hulladék hasznosításában elsősorban a hulladékból visszanyert polimer újrafeldolgozását szorgalmazzák, sokan pedig abban reménykednek, hogy a lassan de biztosan terjedő biodegradálható polimerek legalább részben megoldják a műanyag hulladék okozta gondokat. Vannak olyan műanyagok, amelyeket könnyű felismerni, elkülöníteni, és elég nagy tömegben jelennek meg hulladékként, hogy érdemes legyen őket újrafeldolgozni. Ilyen a PET és a nagy sűrűségű polietilén (PE-HD), amelyből palackot gyártanak, és amelynek újrafeldolgozása ma már ipari eljárássá vált. Sokféle műanyag újrafeldolgozása nem lehetséges vagy túlságosan költséges volna (ilyenek a hőre keményedő, az erősen töltött vagy erősített műanyagok, a többféle műanyagból felépülő kompozitok, a hulladékban csak kis tömegben előforduló műanyagok). A biodegradálható műanyagok ugyan nem váltották be teljesen a korai reményeket, de ezeket bizonyos területen a jövőben is alkalmazni fogják, mennyiségük azonban mindig is csak egy kisebb hányadát képezi majd az összes műanyagnak. Az olyan műanyag hulladék hasznosítására, amely nem biodegradálható és nem dolgozható fel újra, jó megoldást adhat a pirolízis. Ennek korszerű technológiáival szintézisgázt, olajat, üzemanyagot lehet előállítani.

Ha lehet, újra fel kell dolgozni

Az egyes országokban nagyon különböző módon kezelik a műanyag hulladékot. Néhány európai országban, mindenekelőtt Németországban, Ausztriában és Svédországban jól működő szelektív hulladékgyűjtő rendszer, szétválogatási technológia és hulladékkezelő ipar teszi lehetővé, hogy az újrafeldolgozható hulladékból visszaforgatható másodnyersanyagot állítsanak elő. Itt is bőven marad olyan hulladék, amely erre alkalmatlan. Ezt korábban lerakókban helyezték el, de ennek lehetősége részben törvényi szabályozás, részben a növekedő költségek miatt, részben pedig a lerakóhelyek hiánya miatt egyre szűkül.

Hogyan állunk a biodegradálható műanyagok hulladékával?

Az elmúlt években számos megújuló forráson (kukorica, burgonya, pálmazöld, cellulóz stb.) alapuló biobázisú műanyagot fejlesztettek ki, amelyekkel egyrészt a kőolajbázisú műanyagokat akarják helyettesíteni, másrészt arra gondoltak, hogy az ilyen műanyagok a természetben rövidebb idő alatt bomlanak le (biodegradálhatóak), mint a kőolajból készítenek. Az USA-ban 2010-ben a világon előállított biobázisú anyagok 37,5%-át (300 ezer tonnát) használták fel, és 2016-ra 1,2 millió tonnás fogyasztást várnak.

„*Biodegradálható*” az a műanyag, amelyet a természetben található mikroorganizmusok (gombák és baktériumok) bizonyos idő alatt lebontanak. Ma inkább „*komposztálható*” műanyagról beszélnek, amelyet az *ASTM D 6400*, ill. az *EN 13432 szabvány* úgy jellemez, hogy „a komposztálás alatt olyan degradációs biológiai folyamat

zajlik le benne, amelynek terméke CO₂, víz és szervesetlen vegyületek, a visszamaradó biomassza hasonló más komposztálható anyagok biomasszájához, és nem tartalmaz nem látható vagy megkülönböztethető toxikus anyagokat”. A két meghatározás közötti különbséget főképpen a toxikus anyagok (esetleges) jelenléte és a komposztálás időtartama jelenti. A komposztálást főképpen a rövid időtartamú használatra szánt és a hulladékot nagyon nagy mennyiségben megnövelő csomagolóanyagok hasznosítására szeretnék alkalmazni, amelyek 54,2%-át az USA-ban 2010-ben lerakókban helyezték el. A komposztálás visszaforgatná a műanyag csomagolószerek anyagát a szerves anyagok körforgásába és csökkentené a lerakók szervesanyag-tartalmát, amelyből anaerob bomlása során üvegházhatású metángáz kerül a levegőbe. A biobázisú műanyagok sok előnye mellett ezeknek hátrányai is vannak, pl. megnehezítik az újrafeldolgozható műanyagok elkülönítését. Az újrafeldolgozható anyagok közé kerülő degradálható anyag vagy a komposztálható műanyagok közé kerülő stabil műanyag egyaránt megzavarja a hasznosítási folyamatot.

Az USA-ban működő komposztáló üzemek korábbi lelkesedése a komposztálható műanyag csomagolóanyagok iránt csökkent. Ennek egyik oka, hogy a háztartási szemét szétválogatása nem elég gondos, a komposztálható szerves frakcióba nem komposztálható műanyagok is bekerülnek, másik oka, hogy a magas költségek és a szigorú előírások miatt nincs elegendő élelmiszer-maradékot komposztáló berendezés. Emellett nincs megfelelő kapcsolat a csomagolásokat tervezők és a komposztálók között, hogy összehangolhassák munkájukat, és kiépíthessenek egy zárt láncú szervesanyag-visszaforgató rendszert.

Egy 2010-es tanulmányban (Compostable Packaging: The Reality on the Ground) átvilágították az USA-ban azt a 40 komposztálót, amely átveszi komposztálható csomagolásban az élelmiszermaradékot. Kiderült, hogy ezek csomagolása többnyire száralapú, de ha műanyagból készült, azt nem fogadják el, mert félnek a bekerülő nem komposztálható műanyagoktól és a hosszú komposztálási időtől. (A komposztálhatóságot igazoló bizonylatok 180 napos vagy 25–26 hetes időtartamot engednek meg.) Kifogásolják azt is, hogy a komposztálható műanyagoknak nincs egyértelmű, szabványos jelölésmódja. Emiatt a komposztálható anyagok többsége ma is a lerakókba kerül.

Hogy ezen a helyzeten változtassanak, a komposztálható műanyagokra kidolgoztak néhány szabványt, és több ország szabványosítási testülete (USA: ASTM, Kanada-Quebec: BNQ, Európai Unió: CEN, Németország: DIN, Japán: JIS, Nemzetközi Szabványosítási Szervezet: ISO) dolgozik ezek továbbfejlesztésén.

Azoknak az USA-ban forgalomba hozott komposztálható csomagolóanyagoknak, amelyeket be akarnak juttatni az ipari komposztáló üzemekbe, ki kell elégíteniük a következő szabványok követelményeit:

- *ASTM D6400*, ill. *EN 13432*, Standard Specification for Compostable Plastics (A komposztálható műanyagok szabványos jellemzői),
- *ASTM D6868*, Specification of Biodegradable Plastic Used as Coatings on Paper and Other Compostable Substrates (Papírbevonatként vagy más komposztálható összetevőként alkalmazott biodegradálható műanyag jellemzői),

- *ISO 16929*, Plastics – Determination of the Degree of Disintegration of Plastic Materials under Defined Composting Conditions in a Pilot-Scale Test (Egy műanyag kísérleti üzemi méretű berendezésben, előre kiválasztott körülmények között végbement leépülési fokának meghatározása).

Ezekben a szabványokban előírják a biodegradációra, a leépülésre, a nehézfém-tartalomra, a komposztálási folyamatra és a komposzt minőségére vonatkozó követelményeket. Az *ASTM D6400* szabvány szerint minősített komposztálható műanyagokat címkével jelölik, amely szavatolja a szabvány szerinti minőséget. Az USA Komposztálási Tanácsa (**Composting Council**), a Biodegradálható Termékek Intézete (**BPI, Biodegradable Products Institute**) az *ASTM D6400* szabvány követelményeinek megfelelően közösen készített el egy minősítési tervezetet. Azok a vállalatok, amelyek termékei megfelelnek az *ASTM D6400* és/vagy az *ASTM D6868* szabvány követelményeinek, termékeikre rátehetik a „komposztálható” logót. Ha a minősítést a BPI végezte el, a termék megjelenik a BPI honlapján található listán.

A hulladék mint energiaforrás?

A más módon nem hasznosítható szerves hulladék kezelésének módja lehet az *elégetés*. Ennek egyik előnye, hogy a visszamaradó hamu a lerakókban sokkal kevesebb helyet foglal el, mint az eredeti hulladék, emellett a a felszabaduló hőmennyiséget fűtésre, esetleg áramtermelésre lehet felhasználni. A hulladék hőkezelésének ez a formája bőséges oxigén jelenlétében megy végbe.

A hőkezelés másik formája a *pirolízis*, a szénbázisú anyagok oxigénhiányos atmoszférában végzett endoterm hőbontása, amelynek során szintézisgáz képződik. A csekély vagy teljesen hiányzó oxigén következtében közvetlen égési folyamat egyáltalán nem játszódik le.

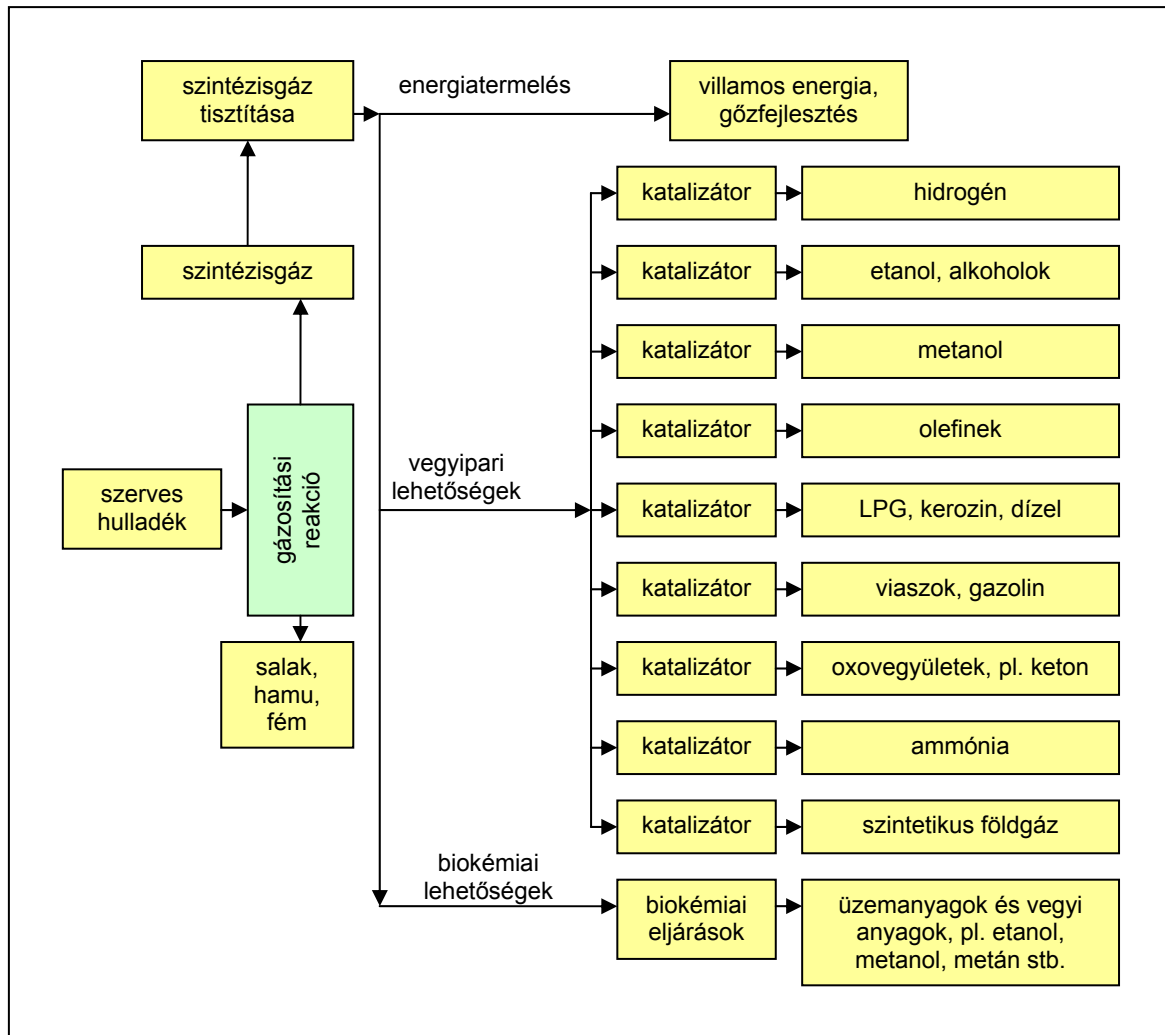
Ha a pirolízis elsőrendű célja a *gázosítás*, a hőbontást magasabb hőmérsékleten és meghatározott mennyiségű oxigén jelenlétében végzik. A pirolízisen alapuló gázosításnak többféle technológiája van. Ilyen a sima pirolízis, a gázfejlesztést célzó pirolízis, a hagyományos gázfejlesztés és a plazmaíves gázfejlesztés. Célja elsősorban az ún. szintézisgáz előállítása, amelynek magas a szén-monoxid- és hidrogéntartalma, és energiatermelésre, a legkülönbözőbb vegyi anyagok és alapanyagok, ill. üzemyanyagok gyártására alkalmazható (*1. ábra*).

A pirolízis egyik változata a *gázfejlesztést célzó pirolízis*. Az erre szolgáló reaktort a pirolizáló reaktorhoz csatolják, ebben az előző hőkezelési lépésben képződött kokszból vagy folyékony pirolízis-termékből oxigén, levegő és/vagy vízgőz jelenlétében fejlesztenek gázokat.

A *hagyományos gázfejlesztés* ugyancsak termikus eljárás, amelyben széntartalmú anyagból, pl. lakossági hulladékból vagy műanyag-hulladékból korlátozott mennyiségű oxigén vagy levegő jelenlétében, 790–1650 °C-os hőmérsékleten termelnek szintézisgázt. A CO és H₂-képződés serkentésére a reaktorba vízgőzt is injektálnak.

A *plazmaíves gázfejlesztés* új, nagyon magas hőmérsékletű pirolizáló eljárás, amelyben széntartalmú szilárd hulladékból nyernek szintézisgázt. A gáz mellett a reak-

tor alján az ásványi anyagok üvegszerű salakká olvadnak össze. A magas, 4000–6700 °C-os hőmérsékletet a fáklyában lévő elektródok között kialakuló elektromos ív hozza létre, ahol a gáz plazmaállapotba kerül, és kialakul a plazmafáklya. A porított kokszt vagy szenet a reaktorba injektálva annak egy része gyorsan felhasználja az ott lévő kevés oxigént és elég (exoterm reakció), ezáltal biztosítja a magas hőmérsékletet, majd az oxigénszegény környezetben bekövetkezik a pirolízis (endoterm reakció), azaz a szintézisgáz fejlődése, amit gőz befűtésével is segítenek.

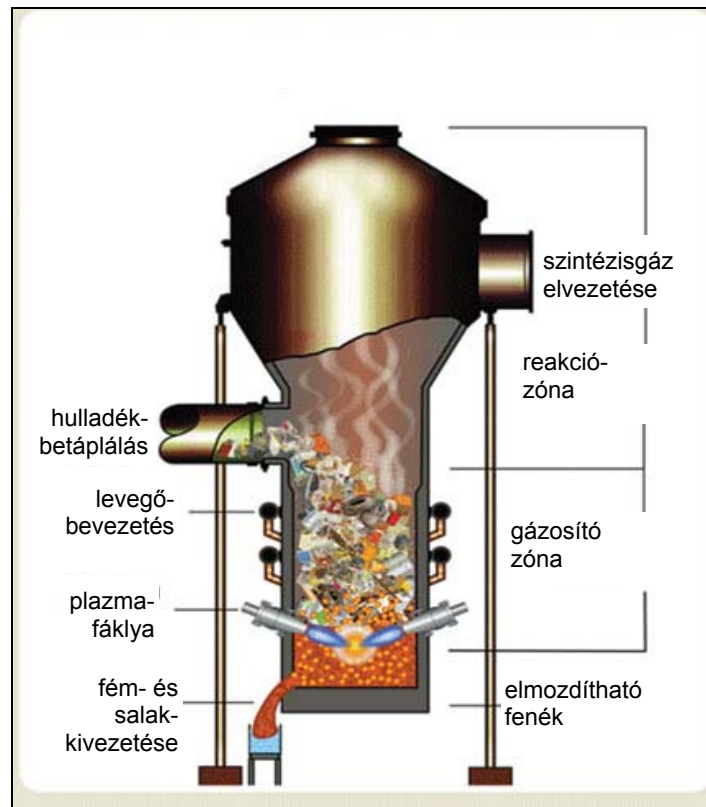


1. ábra Energia, gázok és vegyi anyagok lehetséges gyártása szerves hulladékból

A reaktor alján maradó üvegszerű salak kielégíti az USA környezetvédelmi hivatalának, az EPA-nak a kioldható anyagokra vonatkozó előírását. Ebből a salakból ásványgyapotot, csempét, tetőcserepet, szigetelőanyagot, útburkoló elemeket lehet készíteni. A reaktort úgy alakították ki, hogy a feldolgozandó hulladék csak kevés előkészítést igényel.

A pirolízis és a gázosítás technológiáját több évtizede ismerik, széles körű ipari méretű elterjedését azonban gátolta, hogy hulladék kezelésére eddig nem volt gazdaságos. Egy pirolizáló berendezés beruházási költségei ugyanis meglehetősen magasak; kezeléséhez szakképzett személyzet szükséges, a folyamatot ellenőrizni kell; a beérkező hulladék változó összetétele miatt pedig a különböző típusú hulladékot néha keverni kell. Ezeket a hátrányokat feltehetően kiküszöböli egy új plazmaíves reaktor.

A 2. ábrán látható plazmás gázfejlesztő reaktort (*Plasma Gasification Vitrification Reactor, PGVR*) a **Westinghouse Plasma Corporation (WPC)** fejlesztette ki. A mozgó ágyas reaktorban a WPC ipari plazmafáklyás technológiáját alkalmazták. Hogy kialakulhasson a plazma, a reaktorba belépő hulladék érintkezik a forró plazmával. A fáklyában lévő levegő mennyiségét úgy szabályozzák, hogy a kellő tömegű éghető anyag elégeése után kialakulhasson az endoterm gázfejlődés. A forró plazma felfelé áramolva a reaktorban gázosítja a hulladékot, mielőtt a szerves anyagok megolvadnak.



2. ábra A PGVR reaktor vázlata

A WPC valamennyi leányvállalatánál alkalmazzák a plazmabázisú reaktort, és sokféle hulladékból (szén, olajfinomítók maradéka, háztartási szemét, műanyag hulladék, ipari hulladék, biomassza, szilárd biohulladék) gyártanak szintézisgázt.

A fejlesztők összehasonlították a különböző termikus eljárások fajlagos energia-termelését és hőmérséklet-tartományát (1. táblázat). Látható, hogy a plazmás eljárással lehet a legtöbb energiát kinyerni a hulladékból. További előnyei a csekély előkészítés, a szintézisgáz mellett keletkező melléktermékek hasznosíthatósága (ellentétben a többi eljárással, amelyek maradékát lerakókban helyezik el).

1. táblázat

A lakossági szemét hőkezelésen alapuló hasznosítási eljárásainak energiatermelése és hőmérséklet-tartománya

Eljárás	Teljesítmény kWh/kg szemét	Hőmérséklet °C
A szemét elégetése	544	450–1200
Pirolízis	571	650–1200
Pirolízis/gázosítás	685	760–1540
Hagyományos gázosítás	685	760–1540
Plazmaíves gázosítás	816	4000–6650

Gazdasági számításokat is végeztek. Ezekben azt feltételezték, hogy a szintézisgázt villamos energia fejlesztésére használják fel, a termelt villamos áramot pedig a körzeti hálózatba táplálják be, és ezért 4,5, 5,5 vagy 6,5 cent/kWh térítést kapnak. A salakot útépitő cégeknek adják el burkolóanyagként.

Feltételezve, hogy naponta 725 tonna szemetet dolgoznak fel, adózás előtti éves tiszta bevételük (az összes bevétel és a kiadások különbsége) 10 millió USD volna 4,5 €/kWh, 13 millió 5,5 €/kWh és 16 millió USD 6,5 €/kWh térítés mellett. 130 millió USD volna a szükséges beruházás, és 50 munkahelyet is teremtenének. Ha naponta csak 500 tonna szemetet kezelnének plazmás eljárással, a tiszta bevétel az előbbi feltételek mellett 5–7–9 millió USD volna, és a beruházás 102 millió USD-be kerülne. A számítások szerint az eljárás napi 200–300 tonna hulladék feldolgozása esetén már gazdaságos lehet.

Műanyag hulladékból üzemanyag?

Mint korábban rámutattunk, a más módon nem hasznosítható műanyag hulladékot lerakóban helyezik el vagy elégetik. Korábban ez egyszerűen a megsemmisítést szolgálta, a mai korszerű erőművekben az égéshőt hasznosítják. Mint az 1. táblázatból látható, ennek hatásfoka meglehetősen szerény. A pirolízis, különösen annak korszerű változata jóval hatékonyabb energia- vagy üzemanyag-kinyeréssel kecsegtet. Ez a lehetőség az energia- és olajárak meredek növekedése miatt egyre vonzóbb.

Ezt felismerve az USA-ban már 14 állam szorgalmazza a magas műanyag tartalmú háztartási szemét vagy a műanyag hulladék pirolízises bontását, és az itt termelt

energiát megújuló energiának tekinti. Missouri állam adókedvezményt ad a háztartási hulladékot pirolízissal és termikus degradációval hasznosító üzemeknek. Az energia-termelés mellett ezek az üzemek hozzájárulnak a lerakók terhelésének csökkentéséhez. A technológia elterjedése lehetővé teszi a lerakást szabályozó egyre szigorúbb előírások (pl. az EU lerakókra vonatkozó direktívája) betartását.

A műanyag hulladékból üzemanyagot előállító technológiákat elsősorban az ázsiai országokban és az Európai Unióban fejlesztik, és itt van ilyen technológiát alkalmazó néhány kísérleti üzemi létesítmény.

Thaiföldön két korábbi szemétkerakóban „bányásznak” hasznosítás céljára fém, szerves anyagokat, amelyekből anaerob feldolgozással biogázt állítanak elő és műanyagokat pirolizálnak, amelyekből a **Polymer Energy** cég üzemanyagot gyárt.

Japán az egyik éllovasa a műanyagból üzemanyagot készítő technológiák fejlesztésének. Az országban több ilyen üzem működik, ezek háztartási hulladékot és ipari hulladékot is feldolgoznak.

Kínában a **Plastic Advanced Recycling Corp.** két rendszert is működtet, amelyben olyan műanyag hulladékot dolgoznak fel, amelyet más hulladékfeldolgozók visszautasítottak.

Az Egyesült Királyságban a **Cynar Plc.** a következő évben üzemanyagot gyártó 10 pirolizáló berendezést akar felállítani, amelyekhez a mintát a műanyag hulladékot feldolgozó kereskedelmi méretű írországi üzem adja.

Németországban néhány kisebb égető és hőenergiát termelő gázosító berendezés van, amelyek főleg biomasszát dolgoznak fel, de foglalkoznak egy nagyobb pirolizáló berendezés felállításával, amelyben a háztartási szemét bizonyos frakcióit (pl. a műanyagot) dolgoznak fel, részben az energiatermelés hatékonyságának növelése, részben a lerakók terhelésének csökkentése céljából.

2012 januárjában az **RTI International** cég egy tanulmányt adott át az Amerikai Vegyipari Tanácsnak (**American Chemistry Council**), amely az újabb műanyag-átalakító technológiák környezeti és gazdasági elemzését tartalmazza (*Environmental and Economical Analysis of Emerging Plastics Conversion Technologies*). Ebben szűkített (gate-to-gate) életciklus-elemzéseket végeztek, amelyekhez számos forrásból (technológiák kereskedelme, szakirodalom, szövetségi tanulmányok, ipari tanulmányok, ipari szövetségek stb.) szerzett adatok alapján próbálták az összehasonlítható rendszerekbe betáplált anyagok és a kinyert energia mennyiségét megbecsülni. A tanulmány nem tekinthető átfogónak, azt becsülték meg, hogy egy tonna háztartási hulladékból vagy egy tonna műanyag hulladékból pirolízissal mennyi energiát lehet kinyerni, és mekkora CO₂-ekvivalenst lehet megtakarítani ahhoz képest, mintha ezt a hulladékot lerakóban helyezték volna el. A tanulmány hangsúlyozza, hogy az USA-ban nagy az érdeklődés a hulladékból gázosítással előállított üzemanyag iránt.

Az **USA Energiaügyi Minisztériumában** 2010-ben készítettek egy adatbázist a világon található kísérleti gázosító létesítményekről (*World Gasification Database 2010*), és ezek kapacitásának tervezett 63%-os növekedése alapján azt jósolják, hogy 2016-ban az USA lesz ennek a technológiának a legfőbb alkalmazója. A tanulmány idején azonban az USA-ban mindössze hét kereskedelmi alapon működő kísérleti gá-

zosítóban dolgoztak fel lerakókból származó háztartási szemetet vagy frissen összegyűjtött műanyag hulladékot. 5-10 évre becsülték azt az időszakot, amely alatt ezek az üzemek eléri az ipari méretet. Ha a gázosító technológia első generációs berendezései sikeresen vizsgáznak, gazdaságilag és környezeti szempontból is reális és előnyös megoldást nyújthatnak abban, hogy a hulladék ne a lerakókba kerüljön.

Az USA-ban több olyan kísérleti üzem van, amelyben pirolízisen alapuló technológiákkal üzemanyagot próbálnak előállítani. Ezek legtöbbször (**Climax Global Energy, Polyflow, Envion, GEEP, JBI, Vadxx**) vegyes hulladékkal dolgozik. Az **Agilyx** cég azonban a világ legnagyobb hulladékkezelő vállalatával, a **Waste Management**-tel és egy nagy nemzetközi olajtársasággal, a **Total S.A.**-val közösen kifejezetten a háztartási és ipari műanyag hulladékot hasznosító vállalatoknál nem recikálható műanyagfrakcióból próbál üzemanyagot készíteni, és ezáltal elkerülni annak lerakóba küldését.

Az a néhány kísérleti berendezés, amely ma az USA-ban működik, szakaszos üzemmódban dolgozik. Működtetésük azt a célt is szolgálja, hogy nagyon alaposan megvizsgálják az ezekben alkalmazott technológiák környezeti hatásait, és teljes életciklusukat figyelembe véve megpróbálják összehasonlítani az ipari méretű hulladékból üzemanyagot gyártó üzemek és a hulladéklerakók metánemisszióját metáncsapdával és anélkül. A pirolízisen alapuló átalakító eljárások nagyon hasznos technológiának tűnnek a másképpen nem hasznosítható vegyes és műanyag hulladék kezelésére, alkalmazásuk nagy méretekben azonban még újdonságnak számít. A hulladékkezelés hierarchiájában az EU hulladékkezelésre vonatkozó útmutatójában (*Waste Framework Directive*) változatlanul az ismételt felhasználás és a visszaforgatás áll az első helyen, ezt követi az átalakítás energiává, és csak ha ez lehetetlen, akkor mehet a hulladék a lerakóba. A problematikus műanyag hulladék kezelésének gondja enyhülhet az új technológiák alkalmazásával, a fő cél azonban globális méretekben változatlanul a hulladék mennyiségének csökkentése, a műanyag hulladék minél nagyobb arányú ismételt újrafeldolgozása. Ha tisztázták az új technológiák környezeti és gazdasági hatásait, könnyebb lesz eldönteni, hogy milyen helyet foglaljanak el ezek a regionális hulladékkezelés hierarchiájában.

Összeállította: Pál Károlyné

Young, G.: No wasted energy = Pollution Engineering, 43. k. 9. sz. 2011. p. 38–41.

Dunne, S.: Compostable plastics: Burden or solution? = Flexible Packaging, 2012. júl. 3. www.flexpackmag.com

Dunne, S.: Value in Waste: Converting non-recyclable plastics-to fuel = Flexible Packaging, 2012. okt. 1. www.flexpackmag.com