

POLIMER HULLADÉKOK HŐBONTÁSÁRA SZOLGÁLÓ TECHNOLÓGIÁK

TECHNOLOGIES FOR WASTE POLYMER PYROLYSIS

Sója János^{*}, Sebestyén Zoltán^{**}, Czégény Zsuzsanna^{***}, Miskolczi Norbert^{****}

ABSTRACT

The amount of plastic waste is rapidly growing and generates serious problem. Thermal and thermo-catalytic pyrolysis looks attractive ways for problem solution, because valuable products such as pyrolysis oil and hydrocarbon gases could be obtained. There are a lot of technologies for this aim, which use batch, tubular, fix bed, fluid bed or rotating drum reactors. This paper is dedicated to summarizing the mostly used processes for waste polymer pyrolysis together with their main parameters.

1. BEVEZETÉS

Az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások, a nyersanyagok és szerkezeti anyagok hosszú távú elérhetőségére és árára vonatkozó előrejelzések, illetve a jelenlegi életszínvonal fenntartható növekedésével kapcsolatos kilátások miatt a hulladékok kezelése napjaink egyik fontos kérdésköre. A különböző előírások, jogszabályok, törvények és irányelvek különböző módon határozzák meg azt, hogy mi is a hulladék. Talán az egyik legegyszerűbb meghatározás az, melyet a hulladékokra vonatkozó 2008/98/EC direktíva is tartalmaz. Eszerint ugyanis minden olyan anyag hulladéknak tekinthető mely a „felhasználó számára feleslegessé vált, és azt a felhasználó kidobja, vagy kidobni szándékozik” [1].

A hulladékok összetétele a keletkezés helye (pl. város, falu, ipari terület), vagy akár az egyes iparágak vonatkozásában jelentősen különbözik. Jelenleg a világon évente közel 3,5 milliárd tonna települési szilárd hulladék keletkezik [2]. Külön is érdemes megemlíteni az autóbontókban keletkező, igen jelentős mennyiségű fém, üveg, folyadék (pl. valamilyen szénhidrogén) és polimer (műanyag, gumi, egyéb) hulladékot, amelyek újrahasznosítására igen szigorú előírások vannak érvényben. A különböző hulladékok egyes összetevői vonatkozásában elmondható, hogy a fém, a papír és az üveg hasznosítására viszonylag sok működő megoldás létezik. Ezzel szemben, a műanyagok hosszú távon is fenntartható hasznosítása közel sem tekinthető megoldottnak. A műanyagok és egyéb polimerek azért

bírnak kitüntetett szereppel a hulladékáramokon belül, mert energiatartalmuk igen jelentős. Emiatt azok újrahasznosításával a jelentős nyersanyag megtakarítás mellett számottevő energia is megtakarítható és a légkörbe kerülő, üvegházhatást okozó gázok emissziója is nagymértékben csökkenthető [3,4].

A hulladék műanyagok jelenleg leginkább lerakókba kerülnek, melyek létesítése és fenntartása a szigorodó előírások miatt egyre költségesebb. Emiatt nemcsak az EU-s direktívák, hanem a hazai szabályozás is a lerakott hulladékmennyiség jelentős csökkentését tűzte ki célul.

A műanyagok égéshője – típustól függően – akár 40-50 MJ/kg is lehet. Ennek következtében az egyik legegyszerűbb megoldás ezen energiamennyiség hasznosítására a gőz-, és elektromos áramtermeléssel egybekötött égetés. Más részről azonban az emissziós problémák miatt további nehézségek jelentkezhetnek a hulladékégetés során [5].

Hasonló megoldás lehet a hulladék műanyagok kohászati, vagy cementgyárakban történő alkalmazása. Ezen esetekben a szükséges hőmennyiség biztosításában kerülnek alkalmazásra a hulladékok. Megjegyzendő, hogy a műanyagokkal bevitt szennyezőanyagok (heteroatom, felületei szennyezés, adalék stb.) a termékek minőségromlását okozhatják. Mindemellett nem megfelelő alapanyag (hulladék műanyag, gumi stb.) alkalmazásakor az eljárások emissziós oldalról is sok nehézséggel bírhatnak [3-5].

A polimer hulladékok mechanikai és kémiai úton is újrahasznosíthatók. A mechanikai hasznosítás során a hulladékokat anyagában hasznosítják. Ez azt jelenti, hogy a hulladék műanyagot adott mennyiségben a gyári alapanyagba keverik, majd abból hagyományos műanyag-feldolgozó eljárásokkal állítják elő a terméket (pl.: gépalkatrészt, használati tárgyat, fóliát stb.) A magas hozzáadott értéket eredményező mechanikai hasznosítás – a különböző műanyagok elegyedési problémái miatt – azonban csak azokban az esetekben alkalmazható, amikor a hulladékok fajtaszelektív gyűjtése és visszakeverése nagyfokú ellenőrzés mellett gazdaságosan is megoldható. Ellenkező esetben már a hulladékok viszonylag kis visszakeverési aránya mellett is jelentős minőségromlással kell számolni.

* PhD hallgató, Pannon Egyetem, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék, Veszprém, Egyetem u. 10, 8200

** Tudományos munkatárs, MTA TTK, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Budapest, Magyar tudósok krt. 2, 1117

*** Tudományos főmunkatárs, MTA TTK, Anyag- és Környezetkémiai Intézet, Budapest, Magyar tudósok krt. 2, 1117

**** Egyetemi docens, Pannon Egyetem, MOL Ásványolaj- és Széntechnológiai Intézeti Tanszék, Veszprém, Egyetem u. 10, 8200

Az újrahasznosítás másik lehetősége a hulladék műanyagok levegőtől elzárva – vagy inert atmoszférában –, magas hőmérsékleten történő termikus kezelése. A folyamat során értékes szénhidrogének, egyedi vegyületek, oldószerek, szén nanocső, hidrogén stb. állítható elő. Ezeket az eljárásokat a szakirodalomban pirolitikus eljárásoknak nevezik.

2. HULLADÉK POLIMEREK KÉMIAI HASZNOSÍTÁSA

A műanyag hulladékok kémiai hasznosítása az anyagot felépítő makromolekulák degradációját jelenti, mely leginkább reaktív anyagok, szuperkritikus körülmények, nagy energiájú sugárzás vagy termikus hatásra következhet be (1. ábra). Ezek közül technológiai szempontból a legnagyobb jelentősége a termikus és a szuperkritikus körülmények hatására bekövetkező degradációnak van. A folyamat eredménye az alapanyagoktól jelentősen nagyobb értéket képviselő szénhidrogén gázelegy és különböző forráspont-tartományú folyadékok keletkezése [6].



1. ábra A degradációt kiváltó tényezők

A káros bomlástermékek keletkezésének megakadályozása miatt nagyon fontos, hogy a reaktorban oxigénmentes atmoszféra legyen (nitrogén, argon, szénhidrogén stb.). Ezáltal a polimert felépítő makromolekulák nem oxidálódnak, hanem a kémiai kötések felhasadásával kisebb molekulákra bomlanak, krakkolódnak. A hőbontási reakció során keletkező gáz, cseppfolyós és szilárd termékek mennyisége és azok összetétele katalizátorok alkalmazásával és az alapanyagok megfelelő megválasztásával befolyásolhatók. A 2. ábra azokat a fő paramétereket foglalja össze, melyek alapvetően meghatározzák a keletkező terméket [6,7].

A katalizátorok – általában mesterségesen előállított zeolitok – jelentősen növelik a gáztermékek, a benzin és a gázolaj forráspontú termékek mennyiségét. Emellett megváltoztatják a termékek összetételét és azok további felhasználhatóságát [6,7].

A legkedvezőbb termékjellemzők polietilén, polipropilén és polisztirol alapanyagok alkalmazásával érhetőek el. Ugyanakkor sok példát találhatunk kevert műanyag hulladékok, vagy települési hulladékok kémiai hasznosítására is. Az alapanyagok minősége meghatározó, hiszen a krakkolás során keletkező

termékekben a szennyezőanyagok is megjelennek. Azért, hogy a legkedvezőbb összetétellel rendelkező terméket kapjuk, elengedhetetlen a kiindulás anyagok válogatása, szükség esetén tisztítása is, ami jelentős többletköltséggel járhat [6,7].



2. ábra A hőbontást meghatározó tényezők

Az alkalmazott hőmérséklet-tartomány tekintetében általában enyhe krakkolásról (350-600°C), krakkolásról (600-800°C), pirolízisről (800-900°C), vagy elgázosításról (900°C <) beszélhetünk. Megjegyzendő, hogy az angol szakirodalom a lejátszódó folyamatok leírása során pirolízist használ a teljes 350-900°C közötti hőmérséklet-tartományban [6,7].

A krakkolás során általában atmoszférikus nyomást és az oxidációs folyamatok elkerülésére inert atmoszférát alkalmaznak. A nyomás krakkreakciókra gyakorolt hatásának vizsgálatával arra a következtetésre jutottak, hogy a nyomás változtatása általában kevésbé módosítja a lejátszódó folyamatokat, mint a hőmérséklet változtatása, vagy a katalizátorok alkalmazása [6,7].

A reakcióidőt (tartózkodási idő) elsősorban a reaktor felépítése és az alkalmazott működési paraméterek határozzák meg és alapvetően befolyásolja a termékek összetételét és hozamát. A hosszabb reakcióidő növeli a másodlagos reakciók (termék molekulák között lejátszódó reakciók) valószínűségét, ugyanakkor a hosszabb reakcióidő alatt a polimerláncon is több kötéshasadási reakció játszódik le, ami növeli az illékony termékek hozamát [6,7].

3. A KÉMIAI HASZNOSÍTÁS ELJÁRÁSAI

Hulladékok hőbontására szolgáló első eljárások az 1970-es évek olajválságai után jelentek meg. Napjainkban több, különböző elven működő krakkoló eljárás érhető el. Az eljárások elsősorban az alkalmazott hőmérséklet-tartományban, a reaktorok kialakításában, és a termékek szétválasztásának módjában térnek el egymástól.

A szükséges reakcióhő biztosítása általában külső forrásból történik. Az illékony bomlástermékeket eredményező kötéshasadás energiaigényét közvetlen gáz- vagy elektromos fűtéssel, infravörös-, vagy

mikrohullámú reaktorokkal, illetve plazmareaktorokkal biztosítják. A reaktortér kialakítása szerint megkülönböztethetünk üstreaktort, csőreaktort, fluid ágyat, vagy forgódobot alkalmazó eljárásokat.

3.1. Üstreaktorok

Abban az esetben, ha a polimerek kíméletes degradációjának megvalósítása a cél, általában üstreaktorokat alkalmaznak. Szintén ezt a módszert választják abban az esetben is, ha a szakaszos technológia nem kerülhető el, ami elsősorban kapacitáskorlátok miatt adódik. A pirolizáló eljárások egyik legnagyobb problémája gazdasági eredetű. Folyamatos technológiák esetében általában az 1.000-10.000 tonna/év (feldolgozott alapanyag) kapacitások feletti tartomány gazdaságos, ami természetesen nagymértékben függ az alapanyagok összetételétől is. Szakaszos, üstreaktort alkalmazó eljárások esetében 300-600°C hőmérséklet és 30-120 perc tartózkodási időtartam értékek a jellemző eljárás-paraméterek. Emellett jellemző a katalizátorok alkalmazása is, amit általában az alapanyaghoz keverve adagolnak a reaktorba 1-10% mennyiségben. Az üstreaktort alkalmazó eljárások egyik előnye, hogy különféle alapanyagok is feldolgozhatók benne, így már kis kapacitások mellett is gazdaságosan üzemeltethető.

A legismertebb üstreaktort alkalmazó eljárások a Nano Fuel (Alphakat), Hitachi, Thermofuel, BASF és az EZ-Oil eljárás (Royco) [6,7]. A Hitachi eljárás egy egyszerű üstreaktor, melyben alacsony hőmérsékleten történik a hóbontás, majd a keletkezett anyagokat sorozatos kondenzációval választják szét különböző frakciókra [6]. A Nano Fuel eljárás zeolit katalizátor segítségével, nagy hozammal állít elő folyadék szénhidrogén frakciókat 300-400°C hőmérséklet-tartományban. Az ilyen eljárást alkalmazó üzemek kapacitása 4.000-500.000t/év között van [6,8]. A Thermofuel eljárással 400-450°C hőmérséklet-tartományban 3.000-10.000t/év kapacitással lehet poliolefineket, polisztirolt, és kis koncentrációban műszaki műanyagokat krakkolni [6,9]. Az Ez-Oil eljárás infravörös fűtést alkalmazó alacsony hőmérsékletű krakkolás. Az infravörös fűtés legnagyobb előnye az egyenletes hőmérséklet-eloszlás és a kedvezőbb gazdasági jellemzők. A reaktorok jellemző átmérője 2-3m, magassága 2m, melyekkel 1000-3000t/év kapacitással lehet elsősorban poliolefineket és polisztirolt feldolgozni [6,8,9].

3.2. Csőreaktorok

Csőreaktorok alkalmazásával szintén enyhe- és alacsony hőmérsékletű krakkolást lehet megvalósítani, folyamatos betáplálás mellett. A reaktor elhelyezkedése szerint mind vízszintes, mind pedig függőleges

elhelyezkedésű csőreaktorok alkalmazására van példa. Az alkalmazott alacsony (300-600°C) hőmérséklet-tartomány jelentősége, hogy a nem kívánt komponensek keletkezése így háttérbe szorítható. Léteznek olyan megoldások is, amikor magasabb hőmérséklet-tartományt (700-800°C) alkalmaznak [7-9]. Ebben az esetben azonban vagy jelentősen csökkentik, vagy nagymértékben növelik a reaktorcső átmérőjét. Utóbbi esetben azonban a hőtranszport javítására és a káros lerakódások elkerülésére minden esetben belső keverőelemet kell elhelyezni a reaktorban. Létezik olyan kialakítás is, amikor a fentieket vízgőz alkalmazásával érik el. A csőreaktoros megoldások másik jellemzője, hogy viszonylag rövid a reakcióelegy tartózkodási ideje; kevesebb, mint 10-20 perc. A csőreaktoros megoldások többnyire magasabb kapacitású tartományok mellett mutatnak jó gazdasági jellemzőket. Abban az esetben, ha nagyon változik a feldolgozott alapanyagok mennyisége, általában több párhuzamos reaktor kerül alkalmazásra. Ekkor ugyanis kevesebb rendelkezésre álló alapanyag esetében az egyes reaktorok leállításával fent lehet tartani az üzem folyamatos és gazdaságos üzemeltetését.

Az ismertebb, csőreaktort alkalmazó eljárások a Compact Power eljárás és a CNRS termo-kémiai konverter [10]. A Compact Power módszer (Anglia, 8 ezer t/év) során a pirolízis két csőreaktorban történik 800°C-on. Az alapanyagot gőzzel és levegővel reagáltatják egy fix ágyas elgázosítóban, és a gázt elégetik egy ciklon kamrában 1200-1250°C-on. Az eljárás terméke energia, gőz vagy elektromos áram formájában. A CNRS termo-kémiai konverter egyelőre kísérleti jelleggel üzemelő berendezés [11]. A pirolízis hőmérséklete 400-1000°C. A csőreaktor fűtése a forró füstgáz cirkuláltatásával történik. A szilárd anyag vibráció segítségével folyamatosan halad át a reaktoron.

3.3. Fluid ágyas reaktorok

A fluid ágyas reaktorok folyamatos üzemű műveleti egységek. Azok az eljárások, melyekben fluid reaktorokat alkalmaznak jellemző módon nagyobb feldolgozási kapacitásokkal rendelkeznek, mint az előbb bemutatott eljárások. A BP eljárása például 50.000t/év kapacitású [9]. A fluid katalitikus eljárásokra viszonylag tág hőmérséklet-tartományok és a rövid reakcióidő a jellemző. A BP módszer például 500°C körüli, az Akzo Nobel és a Hamburg/ABB eljárás 700-900°C hőmérsékletet alkalmaz [9]. A BP eljárással PVC tartalmú alapanyag feldolgozására is lehetőség van, mert a technológia részét képező meszes mosó megköti a PVC hóbomlásakor keletkező hidrogén-klorid gázt [8,9]. A fluidizáció műveletének sajátosságai miatt az alapanyagok szemcsemérete és összetétele szigorúan szabályozott. A reaktorba az alapanyagot folyamatosan adagolják, alulról táplálják be az általában inert gázt,

mellyel a fluidizációt tartják fent. Termo-katalitikus esetben a katalizátor a fluid ágyban található. Az eljárás egyik nehézsége a fluidizáció, mely bonyolult és energiaigényes művelet. Előnye viszont az, hogy gyors reakciók játszódhatnak le, ezáltal a nem kívánt komponensek keletkezéséhez vezető másodlagos reakciók lejátszódása minimális. Emellett igen jó az alapanyag keveredése, mellyel a termékek minőségének állandósága biztosítható. Az előzőek miatt a fluid ágyas berendezéseket főképp hulladék műanyagok feldolgozására használják, és csak kismértékben alkalmazzák települési szilárd hulladékok kémiai hasznosítására. A magas hőmérsékletű és/vagy katalitikus eljárások további jellemzője az aromás szénhidrogének nagy koncentrációja a termékekben [7-9].

3.4. Álló ágyas reaktorok

Az álló ágyas reaktorok alacsony fűtési sebességgel jellemezhetőek az alacsony hőtáadási tényező miatt. Így nagyobb tömegű anyag betáplálásakor a hőmérséklet nem egységes a reaktortérben, ezért az alapanyag egy időben több különböző hőmérsékleten bomlik. Hátránya még a jellemzően kicsi, néhány tonna/nap kapacitás. Előnye, hogy az alapanyag nem igényel előkezelést, nagy a flexibilitása és kicsi a karbantartási igénye, bár mivel általában szakaszosan üzemeltetik, így szakaszonként munkát igényel. Főként laboratóriumi kutatásokhoz használják, az iparban nem jellemzőek a fix ágyas eljárások [12].

3.5. Forgódobos reaktorok

A forgó dobban az alapanyag felmelegítése hatékonyabb, mint az álló ágyas berendezésben. A ferde kemence lassú forgása lehetővé teszi a hulladékok megfelelő keveredését. Az eljárásokat a kis fűtési sebesség (maximum 100°C/perc), valamint viszonylag hosszú tartózkodási idő (legfeljebb 1 óra) jellemzi. A kis falfelületen megoszló egységnyi tömegű alapanyag és azok durva szemcsemérete eredményezi az alacsony fűtési sebességet. Ennek ellenére a legtöbb települési szilárd hulladék pirolizáló technológia forgókemencés reaktoron alapul, mert annak számos egyedülálló előnye van más típusú reaktorokkal szemben. Megfelelő mértékben homogenizálja az alapanyagot, a tartózkodási idő flexibilisen változtatható és széles az alapanyagként használható heterogén összetételű hulladékok köre, így nincs szükség költséges hulladék előkezelési eljárásokra és a karbantartás is egyszerű. Jellemzően nagy, akár 150 ezer t/éves kapacitás is elérhető vele [7,9].

Az ismertebb forgódobos technológiák az alábbiak: PYROPLEQ eljárás, ConTherm technológia, Gibros PEC eljárás, EDDITH eljárás, Noell-KRC átalakító eljárás, Serpac technológia, Siemens Schwel-Brenn

technológia, Takuma SBV, Thermoselect eljárás [12-17].

A ConTherm technológiában a pirolízis 500-550°C-on játszódik le kb. 1 órán át, a gáz elégetése pedig egy szénpor-tüzelésű kazánban történik [13]. A Gibros PEC eljárás során a pirolízis 500-550°C-on, kb. 45-60 percig tart, a kemencét pedig kívülről, a folyamatban termelt gáz egy részének az elégetésével fűtik. A pirolízis gázokat ezután 1200-1300°C-on elgázosítják egy gázgenerátorban [14]. Az EDDITH eljárásban 450-600°C-on, 45 percig történik a pirolízis és a keletkező gázelegyet kb. 1100°C-on égetik el [10,15]. A Noell-KRC átalakító eljárás során a pirolízis kb. 550°C-on, az elgázosítás 1400-2000°C-on és 2-50 bar között történik [10,16]. A Serpac technológia két összekapcsolt kamrából áll. Az egyik henger, a másik kúp alakú, ferde és forgó. A pirolízis 600-700°C-on, a szén elgázosítás kb. 800°C-on, a gáz elégetés kb. 1100-1200°C-on történik [10]. A Takuma SBV eljárás során a betáplált nyersanyagot 500-550°C-on pirolizálják a forgókemencében. A pirolízis gáz elégetése egy nagy hőmérsékletű kamrában megy végbe [17].

3.6. Egyéb elven működő reaktorok

A hagyományos termikus pirolízis mellett, ahol a szükséges hőmennyiség biztosítása kívülről történik a forró füstgáz által, a hőközlés alternatív módja lehet a plazma pirolízis, és a mikrohullámú pirolízis [18,19].

A plazma pirolízis egy olyan eljárás, mely során a hulladékot nagyon magas hőmérsékletre, több mint 1000°C-ra melegítik levegőellátás nélküli plazmaégők használatával. A nagyon hatékony hőközlés eredményeképp a hulladék anyagokban bekövetkező fizikai és kémiai változások pillanatszerűek. Jellemzői az előre meghatározható termékek, megfelelő energia és anyagi újrahasonosítás, ártalmatlan a közegészségügy és a környezet szempontjából, de nagy mennyiségű másodlagos energiát igényel. Jelenleg tesztelés alatt áll ez a technológia, főleg a veszélyes hulladékok ártalmatlanítását végeznék így [20].

A mikrohullámú pirolízis a mikrohullámú dielektromos melegítési módszeren alapul. Fő előnyei közé tartozik az aktív zónában lévő molekulák gyors és hatékony fűtése közvetlen mikrohullámú energiával, a könnyű szabályozhatóság és a kívánt termékek hozamának növelése érdekében a pirolízis megfelelő hőmérsékletének fenntartása. Azonban a gyors fűtési sebességet eléréséhez, az alapanyag szemcséinek nagyon finomnak kell lennie [18].

3.7. Hidrogénező eljárások

Az előbb említett példákban inert atmoszférát alkalmaznak. Néhány esetben a kedvezőbb termékösszetétel elérése érdekében hidrogén

atmoszférában végzik a krakkolást. Ilyen többek között a Böhlen eljárás, aRWE hidrogénező eljárás, vagy az ITC eljárás [6,8,9]. Ezen eljárások 400-500°C hőmérsékletet és 100-400 bar hidrogénnyomást alkalmaznak. A termékek alacsony telítetlen szénhidrogén tartalma szintén a hidrogén jelenlétének a következménye [9]. A hidrogénező eljárások legnagyobb nehézsége maga a hidrogén gáz, ami gyúlékony, levegővel robbanóelegyet képez, ezért a technológia igen körültekintő reaktor és eljárástervezést, illetve üzemeltetést kíván.

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Nemzeti Kutatási és Innovációs Hivatal, Magyar-indiai (KTIA-DST) K+F+I együttműködési program (TÉT_13_DST) keretében nyújtott támogatásért (TÉT_13_DST-1-2014-0003)

6. IRODALOM

- [1] Directive 2008/98/EC on waste (Waste Framework Directive) (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>) (2017. január 9)
- [2] <http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/AnnexJ.pdf> (2017. január 20)
- [3] BORSODI N.: *Szénhidrogén-frakciók előállítása szilárd hulladékok pirolízisével és a termékek minőségjavítása*, Doktori értekezés, Pannon Egyetem, 2014, Veszprém
- [4] BOZI J.: *Halogén- és nitrogéntartalmú szintetikus polimerek hő bomlástermékeinek azonosítása és kémiai átalakítása*, Doktori értekezés, ELTE, 2010, Budapest
- [5] XIAONING Y., LUSHI S., JUN X., SONG H., SHENG S.: Pyrolysis and dehalogenation of plastics from waste electrical and electronic equipment (WEEE), *Waste Management*, Vol. 33, No. 2, (2013), pp. 462-473, doi:10.1016/j.wasman.2012.07.025
- [6] SCHEIRS J., KAMINSKY W.: *Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastic into Diesel and Other Fuels*, John Wiley & Sons Ltd 2006, ISBN:978-0-470-02152-1
- [7] TULOK E.: *Polimer hulladékok termo-katalitikus krakkolása*, Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, 2016
- [8] KOZÓ CS.: *Műanyag hulladékok petrokkémiai alapanyagokká való átalakításának vizsgálata*, Diplomadolgozat, Pannon Egyetem, 2007
- [9] MISKOLCZI N.: *Műanyagok termikus degradációjának és a termékek használhatóságának vizsgálata*, Doktori értekezés, 2005, Pannon Egyetem Veszprém
- [10] MALKOW T.: Novel and innovative pyrolysis and gasification technologies for energy efficient and environmentally sound MSW disposal, *Waste Management*, Vol. 24, No. 1, (2004), pp. 53-79, doi: 10.1016/S0956-053X(03)00038-2
- [11] MARCULESCU C., ANTONINI G., BADEA A., APOSTOL T.: Pilot installation for the thermochemical characterization of solid wastes, *Waste Management*, 2007, 27(3), 367-374
- [12] WANG L.H., ZHANG Y., SONG L.N.: Experimental research on pyrolysis process of waste rubber, *Liaoning Gongcheng Jishu Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition)*, Vol. 25, No. 3, (2006), pp. 336-338
- [13] HAUKE R., SPINDELDREHER O., USDROWSKI N., STADTMULLER J., ZIMMER F.J., MARSICO C.: ConTherm - thermal utilisation of waste in a power plant by integrated waste pyrolysis of high-calorific residual derivate fuels, *VGB Powertech*, Vol. 84, No. 7, (2004), pp. 66-71, ISSN 1435-3199
- [14] IEA Bioenergy, 2004, IEA Bioenergy Task 34. <http://www.pyne.co.uk/Resources/user/PYNE%20Newsletters/PyNews%2004.pdf> (2017. január 24)
- [15] MARTIN G. H., MARTY E., FLAMENT P., WILLEMIN R.: The Eddith Thermolysis Process: a Ground-Breaking Solution for Clean Treatment of Wastes, *Oil & Gas Science and Technology*, Vol. 53, No. 2, (1998), pp. 217-224, doi:10.2516/ogst:1998020
- [16] JAEGER M., MAYER M.: The Noell Conversion Process - A gasification process for the pollutant-free disposal of sewage sludge and the recovery of energy and materials, *Water Science and Technology*, Vol. 41, No. 8, (2000), pp. 37-44
- [17] KAWAI Y.: Operation report of pyrolysis gas melting system, *Takuma Technology Review*, Vol. 17, (2009), pp. 1-20
- [18] GEORGE A.S.: Plasma arc heating – an overview, *Industrial Heating*, Vol. 61, (1994), pp. 57-60
- [19] CHO H.Y., AJAZ A., HIMALI D., WASKE P.A., JOHNSON R.P.: Microwave flash pyrolysis, *The Journal of Organic Chemistry*, Vol. 74, No. 11, (2009), pp. 4137-4142, doi:10.1021/jo900245v
- [20] HUANG H., TANG L.: Treatment of organic waste using thermal plasma pyrolysis technology, *Energy Conversion and Management*, Vol. 48, No. 4, (2007), pp. 1331-1337, doi:10.1016/j.enconman.2006.08.013