

SZAKMAI BESZÁMOLÓ

Téma: Környezetvédelmi szempontból aktuális hőbomlási folyamatok termoanalitikai vizsgálata

Témavezető: Pekkerné Jakab Emma

OTKA nyilvántartási szám: K 061504

Összes megítélt támogatás: 6000 ezer Ft

1. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A kutatás célja olyan termikus folyamatok tanulmányozása volt, amelyek környezetvédelemmel kapcsolatos problémák hatékony megoldásához járulnak hozzá. A projekt keretében összetett makromolekuláris rendszerek hőbomlását vizsgáltuk termogravimetria-tömegspektrometria és pirolízis-gázkromatográfia-tömegspektrometria segítségével, valamint az anyagok jellemzéséhez szükséges klasszikus analitikai módszerekkel. A hamutartalom összetételét induktív csatolású plazma – optikai emissziós spektrometria segítségével határoztuk meg.

A polimerek hőbomlását a műanyagok pirolitikus újrahasznosítása szempontjából vizsgáltuk. Elsősorban a műanyagokban jelenlevő égésgátló adalékanyagok szerepét kívántuk meghatározni a pirolízis során. Célunk volt a környezetre veszélyes bomlástermékek (pl. bróm-tartalmú szerves vegyületek) minőségének meghatározása, valamint ezek mennyiségének csökkentése adalék vagy katalizátor segítségével.

Vizsgáltuk a portugál kutatók által fejlesztett, enzimes rostpép fehérítés hatékonyságát, amely a papírgyártás egyik alapfolyamatát teszi a környezetre kevésbé ártalmassá. Azt a célt tűztük ki, hogy ligninek mennyiségi és minőségi meghatározásával hozzájáruljunk az enzimes fehérítés kémiai reakcióinak jobb megértéséhez. Különböző mezőgazdasági alapanyagok és hulladékok pirolitikus hasznosításához végeztünk kísérleteket, amelynek során bizonyos szerves vegyületek és szerves extrahálható anyagok hatását valamint a kísérleti körülmények szerepét igyekeztünk tisztázni.

2. A KUTATÁS SORÁN ELÉRT EREDMÉNYEK

2.1. Adalékanyagok hatása polimerek hőbomlási reakcióira

2.1.1. Brómozott égésgátlót tartalmazó ütésálló polisztirol hőbontása

A műanyag hulladékok újrahasznosítása témában többféle égésgátló hatását vizsgáltuk különböző polimerek termikus bomlására. Japán és román együttműködés keretében vizsgáltuk a háztartási és elektronikai eszközökben gyakran alkalmazott ütésálló polisztirol hőbomlását kétféle brómozott aromás égésgátló vegyület jelenlétében inert atmoszférában. A pirolízisolvaj összetételét gázkromatográf-tömegspektrométerrel (GC-MS) határoztuk meg. A dekabrom-difenil-éter és a dekabrom-difenil-etán égésgátlók brómtartalma főleg HBr-ként szabadul fel az ütésálló polisztirolból, de jelentős mennyiségű brómozott aromás vegyület is keletkezik. Megállapítottuk, hogy a szinergista adalékként alkalmazott Sb_2O_3 lényegesen befolyásolja a pirolízis-termékek mennyiségét. A bróm egy része $SbBr_3$ formájában a folyadékfázisban marad, az illó termékek eloszlása is jelentősen megváltozik. Az illó

termékek képződése alacsonyabb hőmérsékletre tolódik, kevesebb gáztermék szabadul fel, a folyadékfázis sűrűsége nagyobb lesz és több szenes maradék képződik. Megállapítottuk, hogy a bróm megkötésére ammóniát lehet alkalmazni. Az így keletkező ammónium-bromid por alakban marad, és könnyen elválasztható a többi terméktől. Ezzel a módszerrel a bróm több, mint 90%-a visszanyerhető, ezáltal nem szennyezi a pirolízisoldajat. Így ez a módszer egy ígéretes halogénmentesítésnek tekinthető.

Az elektronikai hulladékban nagy mennyiségben található biszfenol A alapú polikarbonátot is vizsgáltuk bróm-tartalmú égésgátló jelenlétében, és azt tapasztaltuk, hogy az égésgátló anyag a polikarbonát hőbomlását alacsonyabb hőmérsékletre tolja el. A tetrabróm-biszfenol A égésgátló adalékból számos brómozott aromás terméket azonosítottunk.

A témából elért eredményekből egy posztert mutattunk be a 17. International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis konferencián [16] és két publikáció jelent meg belőle [1,2].

2.1.2. Foszfor-tartalmú égésgátló anyagok viselkedése polimerek pirolízise során

A foszfor-tartalmú intumescent égésgátló adalékanyagok hatását vizsgáltuk polisztirol, poliakrilonitril, polikarbonát, valamint sztírol-akrilonitril kopolimer és akrilonitril-butadién-sztírol kopolimer hőbomlására. A hőstabilitást termogravimetria-tömegspektrometria segítségével követtük, míg a bomlástermékek részletes elemzésére pirolízis-gázkromatográfia-tömegspektrometriát alkalmaztunk. Kimutattuk, hogy az ammónium-polifoszfát (APP) mindegyik polimer esetében jelentősen növelte a szenes maradék képződését és csökkentette az illó termékek mennyiségét. A polisztirol hőstabilitása nőtt APP jelenlétében. Megállapítottuk, hogy az APP égésgátlóból ammónia szabadul fel 250°C körül, és a visszamaradó polifoszforsav módosítja a polimerek bomlásmechanizmusát. Ezt a feltételezést tiszta polifoszforsav alkalmazásával igazoltuk. Az ammónium-polifoszfát égésgátló jelentősen megváltoztatta a polikarbonát hőbomlásának mechanizmusát is. Megállapítottuk, hogy az égésgátlóból felszabaduló ammónia és víz hatására a karbonát-csoportok lúggal katalizált hidrolízise megy végbe. A másik vizsgált égésgátló, a trisz-dibutil-fenil-foszfát lényegében nem befolyásolja a hőbomlási folyamatot a tanulmányozott polimerek esetében.

A témából elért eredményekből egy publikáció jelent meg [3].

2.1.3. Adalékanyagok hatása polipirrol hőstabilitására

Szulfát-ionokkal doppel polipirrol hőbomlását vizsgáltuk különböző felületaktív anyagok jelenlétében szlovák együttműködés keretében. Megállapítottuk, hogy az anionos dodecyl-benzol-szulfonát adalék jelentősen növeli a polipirrol hőstabilitását, amely azt jelenti, hogy kémiai kölcsönhatás alakult ki a polimer és a felületaktív anyag között.

A témából elért eredményekből egy posztert mutattunk be [17] és egy publikáció jelent meg [4].

2.1.4. Pirolízistermékek átalakítása

A poliamid-6,6 és akrilonitril-sztírol-butadién kopolimer hőbomlástermékeinek átalakíthatóságát vizsgáltuk Y-zeolitokon. Megállapítottuk, hogy a proton formájú Y-zeolit alkalmas a pirolízistermékek nitrogén-mentesítésére, a nitrogéntartalom ammónia formában jelenik meg, míg a molekulák szénhidrogén szegmenszei aromás termékekké alakulnak. A

nátrium formájú Y-zeolit kis molekulájú bomlástermékekké hasítja a hőbomlástermékeket, azonban a nitrogénmentesítésre nem használható.

A témából elért eredményekből egy publikáció jelent meg [5].

2.2. Biomassza anyagok termikus vizsgálata

2.2.1. Rostpépek lignintartalmának és a lignin összetételének meghatározása a biofehérítés során

Portugál együttműködés keretében új, környezetkímélő eljárással (lakkáz enzimmel és violursav adalékkal) fehérített rostpépeket vizsgáltunk. Módszert dolgoztunk ki a nagyon kis mennyiségű maradék lignintartalom (<1%) meghatározására "in-situ" pirolízis-GC/MS segítségével. Kimutattuk, hogy az alkalmazott biofehérítés hatékonyabban csökkenti a lignintartalmat keményfa esetében, mint a fenyőfa rostpépjében. A lignin monomerek mennyiségi arányai jelentősen megváltoztak a rostpép minták pirogramjaiban, amelyből arra következtettünk, hogy a lignin bizonyos funkciós csoportjai lehasadtak vagy átalakultak a cellulózgyártás és a fehérítés folyamán.

A munka folytatásaként a rostpépekből kinyertük a lignintartalmat dioxános oldatban végzett savas hidrolízissel. Ezeket az ún. "maradék lignin" mintákat hasonlítottuk össze a rostpépben "in-situ" mért ligninnel Py-GC/MS-sel. Kiszámítottuk az ún. S/G (sziringol/gvajakol) arányt a bomlástermékek mennyiségeiből a keményfa esetében, és jó egyezést kaptunk a fa "in-situ" lignin meghatározásakor kapott és az izolált lignin mérésből számított S/G értékekre. Összehasonlítottuk egy keményfa (*Eucalyptus globulus*) és egy fenyőfa (*Pinus pinaster*) örölt lignin mintáit a fehérítetlen és fehérített rostpépek maradék lignin mintáival. A pirogramban megjelenő koniferil-aldehid és szinapil-aldehid az eredeti változatlan lignin-szerkezet jelenlétét mutatja a mintákban. Ezeknek a relatív mennyisége csökkent a rostpépekben a többi lignin termékhez viszonyítva, míg a gvajakol- és sziringa-ke-tonok aránya növekedett, amely a lignin degradációját mutatja a kezelése során. Megállapítottuk, hogy nemcsak az alifás oldalláncok funkciós csoportjai szenvednek kémiai változást a rostpép előállításakor és a biofehérítés során, hanem az aromás gyűrűn elhelyezkedő metoxil-csoportok is. Az alkil-fenolok mennyisége elsősorban a fenyőfa rostpépekben nőtt, amely a metil-csoportok lehasadását jelzi a metoxil-csoportokról. Megállapítottuk, hogy az enzimes biofehérítés során hasonló változások történnek a funkciós csoportokban, mint a cellulózgyártás Kraft eljárása során.

A témában elért eredményekből két posztert mutattunk be a 17. International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis konferencián [18,19] és egy előadást mutattunk be a "18 Int. Symp. Anal. Appl. Pyrolysis" konferencián [20], amelyeknek anyaga két cikkben jelent meg a "J. Anal. Appl. Pyrolysis" folyóiratban [6, 7].

2.2.2. Módosított cellulózzrostok hőbomlása

Az utóbbi években a cellulóz alapú szálakat ipari méretekben alkalmazzák műanyag kompozitok erősítő anyagaként. A cellulózzsálak előnyei többek között a megújuló tulajdonság és a biológiai lebonthatóság. Az alacsonyfokú diszpergálhatóság és a gyenge határfelületi adhézió miatt különböző módszereket alkalmaznak a cellulózzsálak felületének módosítására, amelyekkel a szálak és a műanyagok közötti kompatibilitást növelik. Részlegesen karboxi-metilezett cellulóz (CMC) minták termikus viselkedését tanulmányoztuk, amelyeket a BME Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszékén állítottak elő. Vizsgáltuk a Zn- és Ca-ionok hőbomlásra gyakorolt hatását mind a CMC, mind pedig a

kezeletlen cellulózsálak esetében Zn- ill. Ca-acetáttal kezelt mintákon. Egy vízlepergető adalékanyag, a zirkónium-sztearát hatását szintén tanulmányoztuk. A termogravimetriás kísérletek azt mutatták, hogy a nagyon kis mennyiségű karboxi-metil-csoport jelenléte lényegesen megváltoztatja a hőbomlás sebességét és a CMC minták bomlása alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik, mint a tiszta cellulózé. A Zn- és Ca-ionok jelenléte szintén befolyásolja a termogravimetriás görbék lefutását és növeli a szenes maradékot a pirolízis során. A paraffin adalékanyag alacsonyabb hőmérsékleten bomlik el, mint a kezelt cellulózsálak. Az illó termékek részletes analízise alapján értelmeztük a cellulóz bomlásmechanizmusának változását a különböző módosítások és adalékanyagok hatására.

A témában elért eredményekből egy posztert mutattunk be a Centenáriumi Vegyészkonferencián [21] és egy előadást tartottunk a "18 Int. Symp. Anal. Appl. Pyrolysis" konferencián [22], amelyeknek anyaga egy cikkben jelent meg a "J. Anal. Appl. Pyrolysis" folyóiratban [8].

2.2.3. A extrahálható komponensek és a szerves anyagok szerepe különböző biomassza anyagok hőbomlásában

Energiaültetvényről származó akácminék extrahálható komponenseinek összetételét és termikus tulajdonságait tanulmányoztuk, mivel az extrahálható vegyületek a fa gyulladási és égési tulajdonságait befolyásolják. Az eredeti és extrahált faminták valamint a különféle oldószerekkel kioldott extraktumok termikus bomlását TG/MS-sel és Py-GC/MS-sel vizsgáltuk. Származékképzésre termikusan elősegített hidrolízist és metilezést használtunk tetrametil-ammonium-hidroxid alkalmazásával (THM). Megállapítottuk, hogy az extraktumok két lépésben bomlanak inert atmoszférában. A második hőbomlási szakasz egybeesik a fát alkotó természetes polimerek bomlásával. Emiatt az extraktumokból származó bomlástermékek befolyásolják a faminták pirolízis-termékeinek eloszlását. Kimutattuk, hogy az extraktumokban található polifenolok bomlástermékei hasonlóak a ligninek termékeivel, ezért a pirolitikus lignin-meghatározásnál ezt figyelembe kell venni. Mindhárom alkalmazott oldószer (diklór-metán, aceton, etanol) kioldotta a fitoszterineket, azonban a zsírsav-észtereket még többlépcsős extrakcióval sem sikerült teljesen eltávolítani az akácfa mintából.

Faipari hulladékok (fenyőfa és bükkfa), energiaültetvényről származó faminták (nyárfa, akácfa, fűzfa, kinincs, bálványfa, ezüstjuhar, gyalogakác, stb.) és lágyszárú növények (articsóka, energiafű, kínai nád stb.) valamint mezőgazdasági termények és hulladékok (tritikáé, tökmaghéj) hőbomlását vizsgáltuk. A TG/MS és Py-GC/MS eredményeket összehasonlítottuk klasszikus analitikai adatokkal és a Norvégiában végzett makro-termogravimetriás eredményekkel. Különböző előkezeléseket végeztünk a szerves anyagok és az extrahálható komponensek eltávolítására, ezáltal vizsgáltuk ezeknek a komponenseknek a hőbomlásra gyakorolt hatását. Az extrahálható anyagok hatásának vizsgálatánál a TG/MS és Py-GC/MS módszerek mellett termikus hidrolízissel és metilezéssel összekapcsolt gázkromatográfia/tömegspektrometria (THM-GC/MS) módszert is használtuk. Kísérleteinkkel igazoltuk, hogy a zsírsavak és fitoszterolok analízise kedvezőbb THM-GC/MS módszerrel, mint Py-GC/MS-sel. A minták termikus viselkedésének összehasonlítására a nagyszámú adat miatt főkomponens elemzést végeztünk amelynek segítségével korrelációkat találtunk a különféle kísérleti adatok között.

A témában elért eredményekből négy posztert és egy előadást mutattunk be hazai és nemzetközi konferenciákon [23-27], valamint 5 cikk jelent meg referált folyóiratokban [9-13].

2.2.4. A kukoricarost analízise

Hazánkban igen nagy mennyiségben keletkezik hulladék kukoricarost, melyet a kukoricaszemtől nedves őrléssel választanak el. A kukoricarost jó alapanyag bioetanol gyártására. Egy többlépéses biotechnológiai eljárás segítségével a kukoricarostban levő cellulózból és keményítőből bioetanolt lehet előállítani. A bioetanol előállítása során az oldatok összetételét általában HPLC technikával, a szilárd anyagokat pedig infravörös spektroszkópiával vizsgálják. Munkánk során a BME Mezőgazdasági Kémiai Technológia Tanszékén kukoricarostból etanolt állítottak elő, és termikus módszerekkel (TG-MS, Py-GC/MS) vizsgáltuk a konverzió során keletkező szilárd termékeket. Ezeknek az analitikai módszereknek az előnye az, hogy viszonylag gyorsak, nem igényelnek bonyolult mintaelőkészítési lépéseket, és információt adnak mind a minták összetételéről, mind a hőbomlási folyamatokról. Eredményeink igazolják, hogy a kukoricarost szerkezetének és összetételének változása a többlépéses biotechnológiai eljárás során jól követhető termikus módszerek segítségével. Megvizsgáltuk az alkalmazott lúg minőségének (NaOH és KOH) és koncentrációjának, valamint H₂O₂ adalékának a hatását a visszamaradó ún. kezelt kukoricarost összetételére. Emellett részletesen tanulmányoztuk a különböző módszerekkel előállított hemicellulóz termikus viselkedését. Megállapítottuk, hogy a lúggal kezelt kukoricarost összetételét és termikus viselkedését a lúg koncentrációja befolyásolja, míg az elválasztott hemicellulóz összetételét a lúg minősége (KOH vagy NaOH) határozza meg. A legtisztább hemicellulóz H₂O₂ jelenlétében állítható elő, de a visszamaradó kukoricarost jobban roncsolódik ebben az esetben.

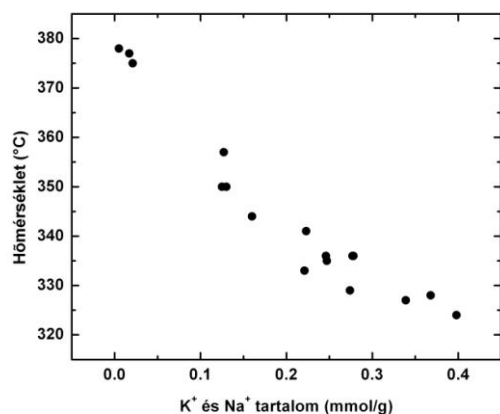
A témában elért eredményekből egy posztert [28] és egy előadást [29] mutattunk be konferenciákon, valamint a "J. Anal. Appl. Pyrolysis" folyóirat különszámában jelent meg egy cikk [14].

2.2.5. Lúgos előkezelések hatása a kender összetételére és termikus viselkedésére

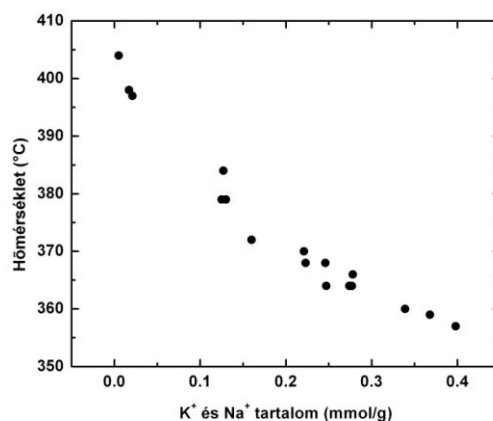
A kender gazdaságos alapanyaga lehet a cellulóz alapú bioetanol gyártásnak. A bioetanol előállítás során a nyersanyagokat fizikai és kémiai előkezelésnek vetik alá az erős rostok komplex szerkezetének fellazítása céljából. Kendermintákon végrehajtott lúgos előkezelések (KOH és NaOH) hatását vizsgáltuk termogravimetria-tömegspektrometria (TG-MS) és pirólízis-gázkromatográfia/tömegspektrometria (Py-GC/MS) módszerek segítségével a minták összetételében bekövetkezett változások követése céljából. A minták alkáliion-tartalmát induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria (ICP-OES) módszerrel határoztuk meg.

Az eredményekből egyértelműen megállapítható, hogy a lúgos előkezelés hatására a minták hemicellulóz frakciójában jelentős mértékben csökkent az acetyl-csoportok száma. A koniferil-aldehid és szinapil-aldehid mennyiségének változása utal a lignintartalom szerkezetbeli módosulásaira. Megállapítottuk, hogy a lúgos mosás megváltoztatta a szerves ionok mennyiségét, amely nagymértékben befolyásolja a hőbomlás mechanizmusát. Az eredményeket főkomponens analízissel feldolgoztuk és összefüggéseket találtunk a minták Na⁺- és K⁺-tartalma, valamint a termogravimetriás paraméterek között. Megállapítottuk, hogy a kezeletlen, a forró vízzel mosott, illetve a lúgos előkezelést követően vízzel mosott minták világosan elkülönülnek a lúggal kezelt kendermintáktól. A tömegspektrometriás fragmentumok statisztikai analízisét követően hasonló eredményre jutottunk. A Na⁺ és K⁺ ionok jelenlétében megnőtt a szenes maradék mennyisége és vele párhuzamosan csökkent a nagyobb molekulatömegű, illetve nőtt a kis molekulatömegű bomlástermékek relatív mennyisége, amely a bomlás mechanizmusának megváltozását bizonyítja.

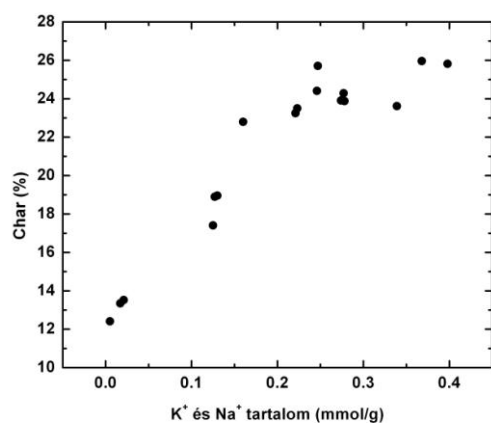
a) A hőbomlás maximális sebességének hőmérséklete



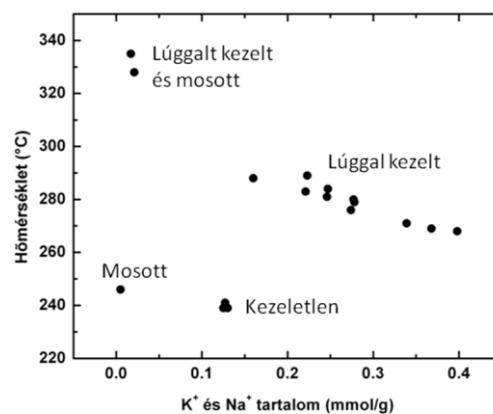
b) A hőbomlás befejeződésének extrapolált hőmérséklete



c) A szén maradék mennyisége



d) A hőbomlás kezdetének hőmérséklete



1. ábra: Összefüggés a kender hőbomlási paramétereinek valamint a nátrium és kálium-tartalom mennyisége között lúggal különbözőképpen kezelt, forró vízzel mosott és kezeletlen mintákon

Az 1. ábra mutatja, hogy összefüggést állapítottunk meg a hőbomlási paraméterek és a Na⁺ + K⁺-tartalom között a cellulózra jellemző bomlási hőmérsékletek (1a,b ábra), valamint a szén maradék mennyisége között (1c ábra). A hőbomlás kezdetét is befolyásolja az alkáli-ionok mennyisége (1d ábra), de a lúggal kezelt minták magasabb hőmérsékleten bomlanak, mint a nem kezelték. Ezt azzal magyaráztuk, hogy a hemicellulóz acetyl-csoportjai a lúgos kezelés hatására lehasadtak, ezáltal a hemicellulóz hőstabilitása nőtt, és magasabb hőmérsékleten kezd el bomlani minden lúggal előzetesen kezelt minta.

Ebből a munkából három poszttert mutattunk be konferenciákon [30-32] és egy cikket beküldtünk a J. Thermal Analysis and Calorimetry folyóiratba [15].

A jelen OTKA pályázat támogatásával eddig megjelent 14 cikkre 2010. júliusig 60 hivatkozás történt a nemzetközi szakirodalomban.

3. AZ OTKA TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

3.1. Referált cikkek

1. M. Brebu, E. Jakab, Y. Sakata:
Effect of flame retardants and Sb_2O_3 synergist on the thermal decomposition of high-impact polystyrene and on its debromination by ammonia treatment,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 79, 346-352, 2007
2. J. Bozi, Zs. Czégény, E. Mészáros, M. Blazsó:
Thermal decomposition of flame retarded polycarbonates,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 79, 337-345, 2007
3. Zs. Czégény, M. Blazsó:
Effect of phosphorous flame retardants on the thermal decomposition of vinyl polymers and copolymers,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 81(2), 218-224, 2008
4. E. Jakab, E. Mészáros, M. Omastová:
Thermal Decomposition of Polypyrroles,
J. Thermal Analysis and Calorimetry, 88, 515 – 521, 2007
5. J. Bozi, Zs. Czégény, E. Mészáros, M. Blazsó:
Conversion of the volatile thermal decomposition products of polyamide-6,6 and ABS over Y zeolites,
Thermochimica Acta 472, 84–94, 2008
6. A. Oudia, E. Mészáros, R. Simões, J. Queiroz, E. Jakab:
Pyrolysis-GC/MS and TG/MS study of mediated laccase biodelignification of Eucalyptus globulus kraft pulp,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 78, 233-242, 2007
7. A. Oudia, E. Mészáros, E. Jakab, R. Simões, J. Queiroz, A. Ragauskas, L. Novák:
Analytical pyrolysis study of biodelignification of cloned Eucalyptus globulus, Pinus pinaster Aiton kraft pulp and residual lignins,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 85, 19-29, 2009
8. E. Jakab, E. Mészáros, J. Borsa:
Effect of Slight Chemical Modification on the Pyrolysis Behavior of Cellulose Fibers,
J. Anal. Appl. Pyrolysis, 87, 117–123, 2010
9. C.J. Gómez, E. Mészáros, E. Jakab, E. Velo, L. Puigjaner:
Thermogravimetry/Mass Spectrometry Study of Woody Residues and an Herbaceous Biomass Crop Using PCA Techniques,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 80, 416 – 426, 2007
10. E. Mészáros, E. Jakab, G. Várhegyi:
TG/MS, Py-GC/MS and THM-GC/MS study of the composition and thermal behavior of extractive components of Robinia pseudoacacia,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 79, 61 – 70, 2007
11. E. Mészáros, E. Jakab, G. Várhegyi, J. Bourke, M. Manley-Harris, T. Nunoura, M.J. Antal, Jr.:
Do all carbonized charcoals have the same chemical structure? Implications of TG-MS measurements,
Ind. Eng. Chem. Res., 46, 5943 -5953, 2007
12. E. Mészáros, E. Jakab, G. Várhegyi, P. Tóvári, :
Thermogravimetry/mass spectrometry analysis of energy crops,
Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 88, 477 – 482, 2007
13. R.A. Khalil, E. Mészáros, M.G. Grønli, G. Várhegyi, I. Mohai, B. Marosvölgyi, J.E. Hustad:
Thermal Analysis of Energy Crops. Part I. The applicability of a macro thermobalance for biomass studies,
J. Analytical and Applied Pyrolysis 81, 52–59, 2008
14. E. Mészáros, E. Jakab, M. Gáspár, K. Réczey, G. Várhegyi:
Thermal behavior of corn fibers, corn fiber gums prepared in fiber processing to ethanol,
J. Analytical and Applied Pyrolysis, 85, 11-18, 2009

15. Z. Sebestyén, Z. May, K. Réczey, E. Jakab,
The effect of alkaline pretreatment on the thermal decomposition of hemp,
J. Thermal Analysis and Calorimetry, beküldve

3.2. Előadások és poszterek

16. M. Brebu, E. Jakab, Y. Sakata:
Effect of flame retardants and Sb_2O_3 synergist on the thermal decomposition of HIPS,
17th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Budapest, Hungary, 2006 (poszter és absztrakt)
17. E. Jakab, E. Mészáros and M. Omastová:
Thermal decomposition of polypyrroles,
9th European Symposium on Thermal Analysis and Calorimetry, Krakow, Poland, 2006 (poszter és absztrakt)
18. A. Oudia, E. Mészáros, R. Simões, J. Queiroz, A. Ragauskas, E. Jakab,
Characterisation of residual lignin of Eucalyptus globulus and Maritime Pine wood, unbleached and bleached kraft pulps by thermal methods,
17th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Budapest, Hungary, 2006 (poszter és absztrakt)
19. A. Oudia, E. Mészáros, R. Simões, J. Queiroz, E. Jakab,
Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry study of wood, unbleached and bleached kraft pulp of *Eucalyptus globulus* and *Pinus pinaster*,
17th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Budapest, Hungary, 2006 (poszter és absztrakt)
20. A. Oudia, E. Meszaros, E. Jacob, R. Simoes, J. Queiroz, A. Ragauskas, L. Novak:
Analytical Pyrolysis Study of Biodelignification of Cloned *Eucalyptus Globulus* and *Pinus pinaster* Aiton Kraft Pulp and Residual Lignins,
18th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Lanzarote, Spain, 2008 (előadás és absztrakt)
21. E. Jakab, E. Mészáros, J. Borsa:
Thermal decomposition of modified cellulose fibers
Centenárium Vegyészkonferencia, 2007, Sopron (poszter és absztrakt)
22. E. Jakab, E. Mészáros, J. Borsa:
Pyrolysis Behavior of Cellulose Fibers Modified for Composites,
18th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Lanzarote, Spain, 2008 (előadás és absztrakt)
23. E. Mészáros, R.A. Khalil, M.G. Grønli, E. Jakab, G. Várhegyi, I. Mohai, B. Marosvölgyi:
Thermal Analysis of Energy Crops. Part II. TG/MS and Py-GC/MS Studies,
17th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Budapest, Hungary, 2006 (poszter és absztrakt)
24. E. Mészáros, E. Jakab, G. Várhegyi, P. Tóvári,:
Thermogravimetry/mass spectrometry analysis of energy crops,
9th European Symposium on Thermal Analysis and Calorimetry, Krakow, Poland, 2006 (poszter és absztrakt)
25. Mészáros E., Jakab E., Várhegyi G., Tóvári P., Ivelics R., Marosvölgyi B.:
Növényi eredetű biomassza anyagok termikus vizsgálata,
MTA Agrárműszaki Bizottság Ülése, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, Nr. 31 (1) 33 – 37,
2007 (poszter és konferenciakiadvány)
26. E. Cserta, H. Raupenstrauch, E. Mészáros, M. Poppenwimmer, P. Tóvári:
Thermal analysis of agricultural wastes used for energy production,
AIChE Annual Meeting - Salt Lake City, Utah, November 4 -9, 2007, pp.:280-283, paper 610e, (poszter és konferenciakiadvány)

27. Mészáros E., Jakab E., Várhegyi G., C.J. Gómez, E. Velo, L. Puigjaner:
Egy articsókaféle (*Cynara cardunculus*) hasznosítása energiaforrásként: pirolízis és termikus vizsgálatok,
Műszaki Kémiai Napok, Veszprém, 2007. április 25. (előadás és absztrakt)
28. E. Mészáros, E. Jakab, M. Gáspár, K. Réczey, G. Várhegyi:
Studying the Conversion of Corn Fiber to Ethanol with TG/MS and Py-GC/MS Techniques,
18th International Symposium on Analytical and Applied Pyrolysis, Lanzarote, Spain, 2008 (poszter és absztrakt)
29. E. Mészáros, M. Gáspár, K. Réczey, E. Jakab, G. Várhegyi:
Thermal analysis and pyrolysis techniques for studying the composition of differently pretreated corn
fibers in fiber processing to ethanol,
Centenárium Vegyészkonferencia Proceedings, 2007. máj. 29. – jún. 1., Sopron, 2007 (előadás és konferenciakiadvány)
30. Sebestyén Z., May Z., Jakab E.:
Lúgos előkezelések hatása a kender (*Cannabis sativa L.*) hőbomlására,
Műszaki Kémiai Napok, Veszprém, 2009 április 21-23. (poszter és absztrakt)
31. Z. Sebestyén, Z. May, K. Réczey, E. Jakab:
Effect of alkaline pretreatments on the thermal decomposition of hemp,
10th Conference on Calorimetry and Thermal Analysis and 2nd Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian
Thermoanalytical Conference, Zakopane, Poland, 30 August - 3 September 2009. (poszter, és absztrakt)
32. Z. Sebestyén, E. Jakab, Z. May, K. Réczey:
Principal Component Analysis of Thermoanalytical Data,
5th International Symposium on Computer Applications and Chemometrics in Analytical Chemistry,
Budapest, 21 June – 25 June 2010. (poszter, és absztrakt)