

Biomasa hondakinak balioztatzeko prozesu motak

Jon Makibar, Ruth Fernandez-Akarregi

IK4-IKERLAN. Energia Unitatea

Haritz Alzibar, Martin Olazar

Ingeniaritza Kimikoa Saila. Zientzia eta Teknologia Fakultatea (UPV/EHU)

Laburpena: Lan honetan biomasa hondakinak balioztatzeko prozesu nagusiak aztertu dira. Alderaketaren ardatzak honelakoak izan dira: lehengaiaren hezetasuna, erreakzioa burutzeko baldintzak (batik bat, konbertsio-denbora eta tenperatura), lortutako produktuak eta teknologiaren heldutasuna.

Biomasa balioztatzeko erabiltzen diren teknologiak bi talde nagusitan banatu daitezke: Termokimikoak eta biokimikoak. Konbertsio termokimikoan oinarritzen diren prozesu nagusiak errektuntza, gasifikazioa, torrefakzioa eta pirolisia dira. Erreakzioak tenperatura altuan egiten direnez, konbertsio-denbora baxua izan ohi da. Komenigarria da prozesu hauetan lehengai lehorrak (basogintza, nekazaritza eta abeltzaintza ustiake-tetako hondakinak eta papergintza industriako hondakinak) erabiltzea.

Bestalde, prozesu biokimiko edo biologikoetan, mikroorganismoek erreakzioan parte hartzen dute eta lehengai hezeak erabiltzen dira: mindak, gorotzak, araztegi-tako hondakin uren lohiak eta elikadura-industriako hondakin organikoak. Prozesu nagusiak konpostatzea, digestio anaerobikoa eta hartzidura alkoholikoa dira. Tenperatura baxua izaten da (70°C baino baxuagoa) eta ondorioz, erreakzio-denbora luzea eta bolumen handiko erreaktorea behar da. Erreakzioak burutzeko, egunak (hartzidura alkoholikoan), asteak (digestio anaerobikoan) edo hilabeteak (konpostatzearen kasuan) behar dira.

Hitz gakoak: biomasa, hondakinen balioztatzea, prozesu termokimikoak, prozesu biokimikoak.

Abstract: This paper describes the main processes for valorisation of biomass waste. The comparison is focused on feedstock moisture content, operating conditions (conversion time and temperature), product quality and technology maturity.

Biomass valorisation technologies are divided into two major groups: Thermochemical and Biochemical processes. Combustion, gasification, torrefaction and pyrolysis are the basic thermochemical conversion technologies. The reaction is usually carried out at high temperatures with short reaction times. Dry feedstock (forest and agriculture waste and pulp and paper mill industry waste) is the more appropriate in these processes.

In biochemical or biological processes wet feedstock (liquid or solid manure, wastewater treatment sewage sludge and food industry organic wastes) are used and microorganisms are integrally involved in the reaction. The main processes are composting, anaerobic digestion and alcoholic fermentation. The temperature is low (lower than 70°C) and therefore long conversion times and large reactors are required.

Keywords Biomass, waste valorization, thermochemical processes, biochemical processes.

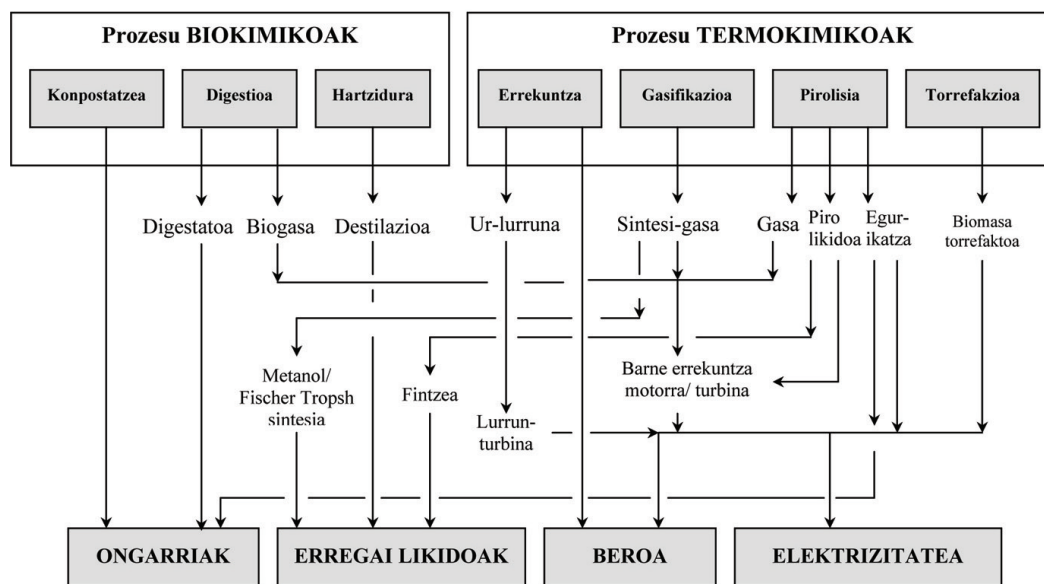
1. SARRERA

Erregai fosilak aurkitu aurretik, gure gizartearen energia-eskaerak landare-biomasaren menpekoak ziren. XIX. mendean, petrolioaren aurkikuntzaren ondorioz, mundua industrializatzen lagunduko zuen erregai likido merkea lortu zen. Lehen munduko gizartearen kontsumo arduragabearen eta sortutako menpekotasunaren ondorioz, energetikoki eraginkorrak diren eta produkzio jasangarria izan dezaketen erregai eta produktu kimikoak ekoitzi behar dira epe laburrean.

Honen harira, gobernu gehienek asmo handiko programa energetiko berriak atera dituzte, eredu jasangarri berrirantz trantsizio leuna egin ahal izateko. Europar Batasunean erregai fosilen erabilera murrizteko asmoarekin 101 Mtpe (miloi tona petrolio baliokide) biomasa kontsumitu ziren 2009 urtean: % 34 elektrizitatea ekoizteko, % 53 beroa ekoizteko eta % 13 garraiorako. Denetara, Europan kontsumitzen den energia guztiaren % 6a [1]. Honetaz gain, gutxi gorabehera 11 miloi tona ongarri natural (konpost) ekoitzi ziren araztegi-tako hondakin-uren lohiekin lortutakoak kontutan izan barik [2]. Hala ere, Europan oraindik nitrogeno, fosforo eta potasiozko ongarri mineralen (ezberriztagarrien) urteko kontsumoa 20 miloi tona ingurukoa da [3]. Horrenbestez, nabaria da biomasak gaur egun erabilera zabala duena eta etorkizunean energia zein bestelako produktu kimikoen iturri garrantzitsua izango dena.

Biomasa balioztatzeko erabiltzen diren teknologiak oro har bi talde nagusitan banatzen dira: biokimikoak eta termokimikoak [4]. Konbertsio termokimikoan oinarritzen diren prozesuak errektuntza, gasifikazioa, pirolisia eta torrefakzioa dira. Era honetan, biomasak duen energia bero bezala aska daiteke (errektuntzan), edo helburu ezberdina izan dezaketen erregai solido, likido edo gas bihurtu daitezke. Era berean, konpostatzea, hartzidura alkoholikoa eta digestio anaerobikoa bezalako prozesu biokimiko edo biologikoe-tan ongarri, erregai likido edo gasak ekoizten dira. 1. irudian ikus daitezke prozesu ezberdinetan lortzen diren produktuak eta beraien aplikazioak.

Artikulu honetan talde bakoitzean aurki daitezkeen prozesu nagusiak, beraien operazio baldintzak eta teknologiaren heldutasuna aztertuko dira. Horrenbestez, eguneratu egingo da Aguado eta lankideek [Ekaia 10 (1999) 89-99] egin zuten ekarpena.



1. irudia. Biomasa balioztatzeko prozesuak eta lor daitezkeen produktuen eskema.

2. PROZESU BOKIMIKOAK

Prozesu biokimiko garrantzitsuenak konbertsio aerobikoa (konpostatzea), deskonposizio edo digestio anaerobikoa (zabortegetan eta kontrolatutako errektore edo digestoretan gertatzen dena) eta hartidura anaerobikoa (adibidez, azukreak etanola bihurtzea) dira.

2.1. Konpostatzea

Konposta egitean materia degradatzen duten mikroorganismoak aerobioak dira, hau da, oxigenoa behar dute bizitzeko. Konposta, materia organikoa kontrolpean degradatzean lortzen da eta helburua lurra ongarrizko baliagarria den substratua lortzea da. Prozesua bi fasetan banatu daiteke: Lehenean, a mikroorganismoen aktibitate altuarekin, batik bat, beroa, karbono dioxidoa, ura eta partzialki eraldatutako hondakin organikoa sortzen dira (1-3 aste behar dira); bigarrenen, egoera ez hain oxidatzaileetan, izaeira humikoa duten konposatuak (azido humikoak eta fulbikoak) eratzen dira (1-4 hilabete behar dira). Komenigarria da erabiltzen den lehengaiaren hezetetasuna % 50-60 artean egotea [6]. Hezetasun altuagoko egoeran konpostaren egitura-gogortasuna hondatzen da, oxigenoaren mugimendua eragozten da eta prozesuak anaerobikoa izateko joera hartzen du. Ur kantitatea kopuru baxuekin aldiz, deskonposizio errektzioak moteldu egiten dira.

Konpostatze aerobikoan gas etekinak jatorrizko masa lehorrarekiko % 20-60 artekoak dira hosto eta hiriko hondakin solidoetarako, hurrenez hurren [7]. Hortaz, hiriko hondakinen kasuan 100 kg lehengai, 60 kg gas

eta 40 kg konpost bilakatuko lirateke. Jatorrizko materialaren karbonoa-ren % 15-37 artean CO₂ bezala jariotzen da eta % 0.2-2 artean metano bezala [8]; nitrogenoaren kasuan, % 0.2-3.4 artean NH₃ gisa askatzen da [9]. Prozesuan zehar azido humikoen kantitatea handituz joaten da. Produktua higienikoa da (egun batzuetan 65°C inguruan mantentzean mikrobio patogenoak hil egiten baitira), bere karbono/nitrogeno erlazioa 20 ingururaino txikitzen da (nitrogeno zati bat amoniako bihurtzen baita) eta material homogeneoa lortzen da. Konposta lurrari gehitzeko erabiltzen da, materia organikoz eta jarduera biologikoa areagotzeko elikagaiez hornitzeko.

Konpostatze aerobikoa jarduera fidagarria duen merkatuko teknologia da [10]. Euskal Herrian Azpeitian, Itsasun eta Jurramendin konpostatze planta bana dago. Konpostatzearen errentagarritasuna konpostaren kalitatearekin (batik bat heldutasun eta metal kopuru baxuarekin) oso loturik dago eta bere merkatua aldakorra da [11]. Hala ere, adibide gisa, Gipuzkoako Partzuergoaren arabera bertan jasotako lehengaiaren kalitatea % 99koa da.

2.2. Digestio anaerobikoa

Biogasa lortzeko, oxigenorik gabeko ingurua behar da; egoera honetan bakterio anaerobioek degradatzen dute materia organikoa eta emaitza gisa metano eta karbono dioxidoa eta digestatu ez den solidoa, digestatua ematen dute. Gasak balio kaloriko baxu-ertaina du (20-25 MJ/m³N) eta metano kopurua % 50-70 artekoa da. Erabilera ezberdinak izan ditzake. Ohikoenak barne konbustio motorretan edo gas-turbinetan energia elektrikoa eta beroa ekoiztean dautza. Honetaz gain, gas naturalaren sarera ere injekta daiteke [12].

Digestoreek aste batzuetako egonaldi denbora dute (14 egun inguru egoera termofilikoan, eta 15-90 egun artean egoera mesofilikoan); ondorioz, azalera handiak behar dituzte. Digestoreak ur kantitate handiko dun hondakinak balioztatzeke erabiltzen dira, kasu hauetan prozesu termikoen eraginkortasuna oso baxua baita.

Digestio anaerobioa likido egoeran (likido kantitatea % 90-95 artekoa) teknologia heldua da eta merkatukotzat jo daiteke. Bestalde, solido egoerako digestio anaerobioa (likido kantitatea % 70-75 artekoa) egoera komertzialera merkatura heltzen ari den teknologia da. Egoera solidoko eragiketan, egoera likidoan baino biogas-ekoizpen altuagoak lortzen dira eta kalitate hobeko konposta lortzen da, egoera termofilikoan lan egiten delako. Hala ere, solido kantitate baxuko egoeraren kasuan zirkulazio hobeak lortzen dira, bakterioaren eta bere janariaren arteko ukipena hobea delarik. Nahiz eta egoera mesofilikoa termofilikoa (70 °C arte) baino motelagoa izan, egonkorragoa da eta temperatura baxuagoaren ondorioz energia-sarrera txikiagoa behar da.

Euskal Herrian zaborra lehengai bezala erabiltzen duten bi biometa-nizazioko (digestio anaerobikoko) planta daude: bata Gasteizen eta beste Tuteran. Azken hau bertan behera utzi zuten 2010 urtean. Gasteizkoak

50.000 tona hondakin jasotzen ditu urtean eta erdiari baino ez zaio etekina ateratzen, beste erdia zabortegira doalarik. Ultzaman bestalde behien minda erabiliko duen planta bat jarri zuten abian 2011 urtean, egunero 250 tona minda biltzeko helburuarekin.

2.3. Hartzidura alkoholikoa

Garrantzi handiko beste prozesu biologiko bat azukreen hartziduraren bidezko etanolaren etanol-ekoizpena da. Munduan zehar, Estatu Batuetan eta Brasilen batez ere, garraiorako bioerregaiak ekoizteko bide nagusia da hartzidura hau. Oro har, hartzidura alkoholikoan glukosa molekula batek 2 etanol molekula eta beste bi molekula karbono dioxido ematen ditu.

Horrela, eskuragarri den karbonoaren herena karbono dioxido bezala galtzen da. Melazak eta ale eratorriak hartzitzeko beharrezko tenperaturak 25-38 °C inguru izaten dira eta erreakzio denbora 28-72 ordu artekoa, legami eta azukre kopuruaren arabera [13].

Behin azukrea alkohol etiliko bihurtu denean, destilazio zutabeetara ponpatu eta bertan alkohol hidratatua lortzen da (% 4-5 inguruko uraren kontzentrazioa). Jarraian deshidratazio sekziara sartzen da, ibilgailuen gasolinarekin nahasteko behar duen alkohol absolutua (% 99.4tik gorako purutasuna) eskuratzeko. Destilazioak eta ondorengo lurruntzeak gehiegizko koste energetikoa ez izateko, % 4ko alkohol kontzentrazioa lortu behar da gutxienez etanolaren hartzidura urratsean.

Arlo honetan, zelulosatik abiatutako etanola da gaur egun ikerketa gehien jomuga, arto ale edo azukre kanabera erabiltzearekin alderatuz, lehengai merkeagoa delako eta bizitza ziklo osoan sortutako berotegi gasen kantitatea txikiagoa baita [14]. Hala ere, oso zaila da biomasaren zelulosa isolatu, azukre bilakatu eta berau hartzitzea. Gainera lignina azukre bilakatea ezinezkoa denez, etekinak baxuagoak izaten dira. Hau garrantzitsua da, lignina biomasaren konposizioaren % 30 izatera iritsi baitaiteke.

Laburbilduz, konbertsio biokimikoak tenperatura baxuetan gertatzen dira eta erreakzio-abiadurak prozesu termokimikoen aldean oso motelak dira. Gainera, prozesu biologikoetan lignina deskonposatzea oso zaila izaten da, batez ere prozesu anaerobikoetan. Oraingoz, lignina frakzioak degradatzeko onddo aerobikoak erabiltzen dira.

3. PROZESU TERMOKIMIKOAK

Oro har, prozesu termokimikoak tenperatura altuan eta oxidazio-egoera ezberdinean gertatzen diren erreakzio itzulezinak dira. Materia organiko guztia apurtzeko duen gaitasun handiagatik eta erreakzio denbora txikia-goengatik, eraginkortasun handiagoa dute prozesu termokimikoek [15].

3.1. Errekuntza

Atmosfera oxidatzailean, oxigenoak degradatu egiten ditu molekula organikoak, eta ura eta CO₂ sortzen da. Oro har oso prozesu exotermikoa denez errekuntza, oso tenperatura altuak lortzen dira. Adibidez, birrindutako erregai-sistemetan (*pulverized fuel system*), partikula tamaina oso txikia da eta tenperaturak 1.600 °C izatera iritsi daitezke (segundo gutxiko egonaldietan); parrila erako konbustoreetan maximoak 1.000-1.200 °C ingurukoak dira solidoaren egonaldia normalean minutu batzuetakoa delarik [16].

Prozesuaren helburua beroa sortzea baino ez denean, zur-industriako hondakinak erretzen dira normalean, hots, ezpalak edo zerrauts pelletak. Pelletak zerrautsa trinkotuz egindako kartutxoak (zilindroak) dira. Lehenengo, egurraren hezetasuna jaitsi egin behar da % 10a baino txikiagoa izan arte; gero prentsa berezian (pelletizatzailean) zanpatu egiten da. Orduan, egurrak berak duen ligninak partikulak elkarrekin lotzen ditu. Oro har, 6 mm-ko diametroa eta 1-3 cm tarteko luzera duten zilindro itxurako pelletak dira eta oso egokiak etxe-erabileretarako nahiz industriarako. Erreketaren kontrola zorrotza denez, pellet-galdara berriek % 90-93ko errendimendua izan dezakete. Bestalde, beheko su arruntaren errendimendua % 50-60 ingurukoa da [4].

Azken urteetan gobernuek bultzatutako diru-laguntza sistemei esker, Euskal Herrian 1000 etxebizitza edo eraikuntza baino gehiagotan erabiltzen dira biomasa galdarak beroketa-sistema nagusi gisa.

Helburua energia elektrikoa sortzea denean, errekuntza-ganbaran presio altuko ur-lurrina sortu eta ondoren lurrin-turbina zeharkatzen da kasu gehienetan

Gehien erretzen diren lehengaiak egur hondakinak, lastoa eta papergintza industriako hondakinak dira. Accionak Zangozan duen zentral termikoa gai da urtean 160.000 tona lasto erretzeko. Instalazioaren helburu bakarra elektrizitatea sortzea da. Paper-fabrikeri dagokienez, Iurretako Smurfit-Kappak egur azalak, basogintza hondakinak eta likore beltza (egurretik zelulosa zuntzak bereiztean gelditzen den produktua) erretzen ditu ur-lurrina eta energia elektrikoa sortzeko. Iurretako azal-galdaran urtean 85.000 tona kontsumitzen dira eta likore beltzaren galdaran 173.000 tona. Berriki instalatutako lurrin-turbinarekin urtean 40.000 tona baso hondakin gehiago erretzeko gaitasuna izango dute. Hernaniko Zikuñaga paper-fabrika ordea, likore beltza soilik balioztatzen da, galdararen urteko kontsumoa 198.000 tona delarik.

3.2. Gasifikazioa

Errekuntzarekin alderatuz, gasifikazioan lortu nahi den produktu nagusia ez da beroa, konposizio aldakorra duen gas erregaia baizik. Gas honek CO, CO₂, CH₄ eta hidrogeno portzentaje desberdinak izan ditzake eta sinte-

si gas (singas) bezala ezagutzen da. Berau lortzeko aire/oxigeno kantitatea errekontzarako estekiometriakoaren % 20-40 bitartean erabiltzen da prozesuaren eta helburuaren arabera. Honen ondorioz, energia kantitate handiak askatzen dira eta oxigenoa agortuta dagoen eremuetan, beste era bateko erreakzioak gerta daitezke. Prozesu hau oxigenoaz gain beste gas batzuk erabiliz ere egin daiteke: ur-lurruna edo CO₂-a besteak beste. Oxigeno purua eta ur lurruna elikatuz, 10-18 MJ/m³N bero ahalmena duen gasa lortzen da. Hala ere, elektrizitatea edota beroa lortzeko airea erabiltzen da eta lortutako bero-ahalmena 4-7 MJ/m³N da [17]. Normalean, gasifikazio-tenperaturak 800-1.000 °C ingurukoak izaten dira.

Orokorrean gasifikazioa, errekontza baino teknologia garbiagoa da, elektrizitatea edota beroa ekoizteko izan dezakeen turbina, motor edo gal-dararen aurretik gasak garbitu egiten baitira. Gainera, garbiketa hau errekontzan baino errazagoa izaten da gas-bolumena txikiagoa delako. Hala ere, oraindik merkeagoa da elektrizitatea zuzeneko errekontzaren bidez sortzea [18].

Biomasaren gasifikazioko teknologia merkatuko aplikazioetara iritsi berria da. Gertuen dugun instalazioa Guascor Bioenergia ikerkuntza guneak du Gasteizen. Orduro 500-1.000 kg biomasa kontsumitzen ditu eta, oro har, biomasa ezberdinekin frogak egiteko erabiltzen da. Gasak barne konbustioko motorrean erretzen dira energia elektrikoa ekoizteko. Motorraren irteerako errekontza-gas beroa gasifikazio erreaktorera elikatzen den biomasa lehortzeko erabiltzen da.

3.3. Pirolisia

Pirolisia beroaren eraginez bakarrik gertatzen den molekulen apurketan datza. Errekontza eta gasifikazioa ez bezala, oxigeno gabeko ingurunean egiten da eta horrela lor daitezke pirolisi likidoa, egur-ikatz eta gasa. Biomasaren berotze-abiaduraren eta tenperaturaren arabera nahi den produktura zuzentzen da erreakzioaren selektibitatea. Oro har bi pirolisi mota ezagutzen dira: pirolisi motela edo ohikoa eta pirolisi azkarra.

3.3.1. Pirolisi motela

Biomasaren pirolisi motelean operazio eragiketa-baldintzak 400-600 °C arteko tenperatura eta 15 min eta egunen arteko erreakzio-denborak dira. Horrela solidoaren (ikatzaren) etekin maximoa lortu nahi da. Baldintza egokietan ikatzaren masa-etekina % 42 eta 62 artekoa izatera irits daiteke [19].

Azken urteotan izandako aurrerapenek berriz ere interesa piztu dute landare-ikatz ekoizpenean. Bioikatzak ez du sufrerik ez eta merkuriorik eta jatorri fosileko ikatzak baino errauts eta nitrogeno gutxiago du. Gainera, erregai bezala erabiltzeko ezaugarri apartak ditu [20]. Honetaz gain,

egur-ikatzak baditu beste hainbat erabilera. Esate batetarako lurra medeatzeko edo ikatz aktibatua ekoizteko.

XIX. mendearen hasiera arte ohiko jarduera zen ikazkintza Euskal Herrian. Burdinolen eskari handiaren ondorioz ikaztobi (egur-ikatz egiteko txondor) ugari zeuden baso inguruetan. Ondoren beherakada handia jasan zuen eta XX. mende erditik aurrera ez da ia ikatzik ekoizten.

3.3.2. *Pirolisi azkarra*

Pirolisi azkarra delakoan 450-500 °C-ra azkar (segundo batzuetan) berotzen dira biomasa partikula txikiak (5 mm baino txikiagoak) eta lehorrak. Pirolisi motelarekin alderatuz produktuen banaketa erabat ezberdina da. Azkar berotzean lurrunen etekina maximizatu egiten da. Lurrunak hoztean, % 70ko etekina izatera iritsi daitekeen produktu likidoa lortzen da [21, 22]. Gainontzekoa egur-ikatz eta gasa da. Lehengaia lehorra egotea garrantzitsua da, lehengaiaren hezetasuna pirolisi likidoan ur bezala agertzen baita. Hezetasuna % 10-15 artera murriztu behar da.

Pirolisi likidoak berezitasunak ditu beste erregai likido arruntekin alderatuz. Erregai konbentzionalen bero ahalmenaren erdia du eta ezaugarri hidrofiliakoak dituen (izaera polarra), ez da beraietan disolbagarria.

Haatik, pirolisi likidoak fuel olio edo diesela ordezkatu dezake aplikazio ugarian, galdarak, labeak, motoreak eta turbinak barne. Erauzi daitezkeen produktu kimiko ugari ere baditu. Bestalde, garraiorako bio olioaren fintzea oraingoz ez da ekonomikoa nahiz eta teknikoki posiblea dirudien [23].

Nahiz eta oraindik pirolisi azkarra garapenean dagoen, gaur egun merkatuko aplikazioetara iristen ari da [24]. Bai Euskal Herriko Unibertsitateko Ingeniaritza Kimikoa sailean, bai IK4-Ikerlan teknologia ikertegian, pirolisi azkarra aztertzeke instalazio bana daude (2. irudia). Jatorrizko erreaktorean (Iturri Ohantze Konikoan) egiten dute pirolisi azkarra. Erreaktore honek egurraren pirolisia egiteko ezaugarri bikainak dituela frogatu dute: gasen egonaldi laburra, bero-transferentzia altuak eta partikula irregularrekin lan egiteko gaitasuna besteak beste [25, 26].

3.4. **Torrefakzioa**

Torrefakzioa 200 eta 300 °C artean egiten den biomasaren tratamendu termikoa da. Biomasa presio atmosferikoan eta oxigeno barik berotzen da normalean berotze-abiadura baxua eta solidoaren egonaldi luzeak erabiliz (ordu bat inguru). Orokorrean, masaren % 30a gas bihurtzen da baina gelditzen den solidoak hasierako energiaren % 90a du. Produktu solidoak ikatz eta egurraren arteko ezaugarriak ditu [27].



2. irudia. IK4-Ikerlan ikerketa-zentroko planta pilotua eta pirolisi-olioa.

Torrefakzioa gertatzen den bitartean, biomasa erabat lehortzen da eta ondoren har dezakeen hezetasuna oso mugatuta dago. Baldintzen arabera, pisuz % 1-6koa izan daiteke hezetasuna.

Torrefakzioak eragin handia du biomasaren zelula-hormaren gogortasunean. Hori dela-eta, ehotzeko behar den energia asko murrizten da jatorrizko materialarekin alderatuz. Torrefakzioan lorturiko solidoak pelletizazioan lorturikoak baino ezaugarri hobekak ditu garraiorako. Izan ere, dentsitate energetiko altuagoa du eta maneiatzeko errazagoa da. Gainera, biltegitratzea errazten du prozesu honek, biodegradazioaren eta berotze espontaneoaren aurka erresistentea baita lorturiko solidoa. Aplikazioak biomasa solidoak izan ditzakeenen berdinak dira. Oro har, galdaretan beroa edota elektrizitatea ekoizteko erabiltzen da.

Torrefakzioa, 1930 urtetik ezaguna den teknologia izan arren, azken urteotara arte ez da prozesurik merkaturatu. 2009 urtean Lantec taldea, Leioa (Bizkaia), Thermya konpainiarekin ados jarri zen biomasaren torrefakziorako Torspyd teknologia ustiatzeko. Lehen torrefakzio-planta 2011 urtean hasi ziren eraikitzen Urnietan, bere produkzio-ahalmena 2.500 kg/h izatea espero delarik.

BIBLIOGRAFIA

- [1] STRATEGIC ENERGY TECHNOLOGIES INFORMATION SYSTEMS (SETIC). *Bioenergy - Power and Heat Generation*. 2011. *Update of the Technology Map for the SET-Plan*. 98-106.
- [2] BARTH J., AMLINGER F., FAVOINO E., SIEBERT S., KEHRES B., GOTTSCHALL R., BIEKER M., LÖBIG A., BIDLINGMAIER W. 2008. *Compost production and use in the EU*. Europar Komisioarendako Txostena. J02/35/2006. Weimar.
- [3] EUROSTAT. 2011. *Agriculture and Fishery statistics. Main results 2009-2010*. 2011. Europar Batasuneko Argitalpen Bulegoa. Luxembourg: ISBN 978-92-79-20424-1
- [4] BRIENS C., PISKORZ J., BERRUTI F. 2008. «Biomass valorization for fuel and chemicals production - A review». *International Journal Chemical Reactor Engineering*, **6**, 1-49.
- [5] AGUADO R., BARONA A., EREÑA J. 1999. «Landare biomasa eta beraren apobetxamendurako bide termokimikoak». *Ekaia*, **11**, 89-99.
- [6] CHIU-CHUNG Y., REKHA P. D., ARUN A. B. 2005. «What Happens During Composting?». *Compost Production: A Manual for Asian Farmers*, 8-19.
- [7] KOMILIS D. P., HAM R. K. 2003. «The effect of lignin and sugars to the aerobic decomposition of solid wastes». *Waste Management*, **23**, 419-423.
- [8] PAUL J. W., WAGNER-RIDDLE C., THOMPSON A., FLEMING R., MACALPINE M. 2001. «Composting as a strategy to reduce greenhouse gas emissions». Presented at: *Climate Change 2 Canadian Technology Development Conference, October 3-5*, 1-14.
- [9] KOMILIS D. P., HAM R. K. 2006. «Carbon dioxide and ammonia emissions during composting of mixed paper, yard waste and food waste». *Waste Management*, **26**, 62-70.
- [10] FITZPATRICK G. E., WORDEN E., VENDRAME W. 2005. «Historical Development of Composting Technology During the 20th Century». *Hort-Technology*, **15**, 48-51.
- [11] HARGREAVES J. C., ADL M. S., WARMAN P. R. 2008. «A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **123**, 1-14.
- [12] HOLM-NIELSEN J.B., AL SEADI T., OLESKOWICZ-POPIEL P. 2009. «The future of anaerobic digestion and biogas utilization». *Bioresource Technology*. 100, **22**, 5478-5484.
- [13] KLASS D. L. 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. Academic Press: San Diego. ISBN 13 978-0-12410-950-6.
- [14] HUBER G. W., IBORRA S., CORMA A. 2006. «Synthesis of transportation fuels from biomass: Chemistry, catalysts, and engineering». *Chemical Reviews*, **106**, 4044-4098.
- [15] ZHANG L., XU C., CHAMPAGNE P. 2010. «Overview of recent advances in thermochemical conversion of biomass». *Energy Conversion and Management*, **51**, 969-982.

- [16] VAN LOO S., KOPPEJAN J. 2008. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*. Earthscan, London. ISBN: 978-1-84407-249-1
- [17] SCHUSTER G., LÖFFLER G., WEIGL K., HOFBAUER H. 2001. «Biomass steam gasification - An extensive parametric modeling study». *Bioresource Technology*, **77**, 71-79.
- [18] OBERNBERGER I., BIEDERMANN F. 2005. «Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production in Europe-State of the art and relevant future developments». *Eighth Conference on Energy for a Clean Environment - Clean Air 2005*. Lisboa.
- [19] ANTAL JR, M. J., CROISSET E., DAI X., DEALMEIDA C., MOK W. S. L., NORBERG N., RICHARD J. R., AL MAJTHOUB M. 1996. «High-yield biomass charcoal». *Energy and Fuels*, **10**, 652-658.
- [20] ANTAL JR M. J., GRÖNLI M. 2003. «The art, science, and technology of charcoal production». *Industrial and Engineering Chemistry Research*, **42**, 1619-1640.
- [21] OLAZAR M., AGUADO R., SAN JOSÉ M. J., BILBAO J. 2001. «Kinetic study of fast pyrolysis of sawdust in a conical spouted bed reactor in the range 400-500 °C». *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **76**, 469-476.
- [22] AMUTIO M., LOPEZ G., ARTETXE M., ELORDI G., OLAZAR M., BILBAO J. 2012. «Influence of temperature on biomass pyrolysis in a conical spouted bed reactor». *Resources, Conservation and Recycling*, **59**, 23-31
- [23] CZERNIK S., BRIDGWATER A. V. 2004. «Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil». *Energy and Fuels*, **18**, 590-598.
- [24] SAN MIGUEL G., MAKIBAR J., FERNANDEZ-AKARREGI R., 2011. «Wood Conversion into Liquid Fuels: a Review behind the Fast Pyrolysis of Biomass». *Biomass Crops: Production, Energy and the Environment*. Nova Science Publishers. New York. ISBN: 978-1-61209-398-7.
- [25] OLAZAR M., ALVAREZ S., AGUADO R., SAN JOSÉ M. J. 2003. «Spouted bed reactors». *Chemical Engineering and Technology*, **26**, 845-852.
- [26] MAKIBAR J., FERNANDEZ-AKARREGI R., DIAZ L., LOPEZ G., OLAZAR M. 2012. «Pilot Scale Conical Spouted Bed Pyrolysis Reactor: Draft Tube Selection and Hydrodynamic Performance». *Powder Technology*. **219**, 49-58.
- [27] BERGMAN P. C. A. 2005. *Combined torrefaction and pelletisation: the TOP process*. Energy Research Centre of The Netherlands: ECN-C-05-073. Petten.