

CHARACTERIZATION OF RECYCLABLE PLASTIC WASTE

Anica Milošević

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Department of Applied Technical Studies
Niš, Serbia, anica_milosevic@yahoo.com

Gordana Bogdanović

The Academy of Applied Technical and Preschool Studies – Department of Applied Technical-
Technology and Economy Studies Vranje, Serbia, gordanabd@gmail.com

Maša Milošević

Faculty of Mechanical Engineering, University of Niš, Serbia, mmasha96@gmail.com

Abstract: This paper presents the detailed characterization of the examined types of recyclable plastic waste: PET packaging waste, mixed plastic waste and hard plastic waste. The tested types of plastic waste are obtained by sorting the collected waste in the processes of primary and secondary selection in the PWW company in Leskovac. Characterization of recyclable plastic waste includes: sampling, identification with waste categorization, characterization depending on the degree of hazard, determination of hazardous substances concentration in waste, determination of physicochemical characteristics, determination of toxicological characteristics and its effects on human health, determination of possible environmental etc. Characterization process begins with sampling and ends with reporting. Previous experiences from the company about the similar technological systems directly leads to the goal, and help in defining activities and developing a program of the characterization procedure. Also they affect on measures and protection of the participants, especially when substances that the waste could include are dangerous. The main goal of this paper is to make a conclusion based on the characterization of recyclable plastic waste, in case that the waste is hazardous or not, and depending on that, to make a decision which disposal methods should be applied.

Keywords: Plastics, recyclable material, testing and characterization of waste

ПОСТУПАК КАРАКТЕРИЗАЦИЈЕ РЕЦИКЛАБИЛНОГ ПЛАСТИЧНОГ ОТПАДА

Аница Милошевић

Академија техничко-васпитачких струковних студија, Ниш, anica_milosevic@yahoo.com

Гордана Богдановић

Академија техничко-васпитачких струковних студија, Ниш, gordanabd@gmail.com

Маша Милошевић

Машински факултет, Ниш, mmasha96@gmail.com

Резиме: У овом раду је приказан поступак детаљне карактеризације испитиваних врста рециклабилног пластичног отпада: отпадна ПЕТ амбалажа, отпадна мешана пластична фолија и отпадна тврда пластика. Испитиване врсте пластичног отпада су добијене разврставањем сакупљеног отпада у процесима примарне и секундарне селекције у компанији PWW у Лесковцу. Карактеризација рециклабилног пластичног отпада обухвата: узорковање, идентификацију са категоризацијом отпада, карактеризацију у зависности од степена опасности (инертан, неопасан, опасан отпад и одређивање опасних карактеристика отпада), карактеризацију предметног отпада као опасног отпада и утврђивање концентрације опасних материја, одређивање физичко-хемијских карактеристика, одређивање токсиколошких карактеристика и ефеката на људско здравље, одређивање могућих утицаја на животну средину као и друге поступке у складу са примењеном методологијом. Процес карактеризације рециклабилног пластичног отпада почиње узорковањем и завршава са извештавањем. Претходна сазнања из компаније о предметном отпаду са других локација и сличних технолошких система представљају значајне претходне кораке који усмеравају ка циљу, помажу у дефинисању активности и изради плана и програма поступка карактеризације, али и значајно утичу на предузимање мера и адекватну заштиту учесника, посебно када се сумња да би отпад могао имати карактеристике опасног отпада. Основни циљ рада је, да се на основу карактеризације рециклабилног пластичног отпада донесе закључак да ли је предметни отпад опасан или неопасан, па у складу с тим донети одлуку које методе збрињавања треба применити.

Кључне речи: Пластика, рециклабилни материјал, испитивање и карактеризација

1. УВОД

Са порастом животног стандарда, расте и потрошња, са порастом потрошње расте и количина амбалажног отпада, нарочито пластичног отпада. Задатак истраживача је да пронађу, како економски тако и еколошки, најприхватљивији начин за решење овог проблема.

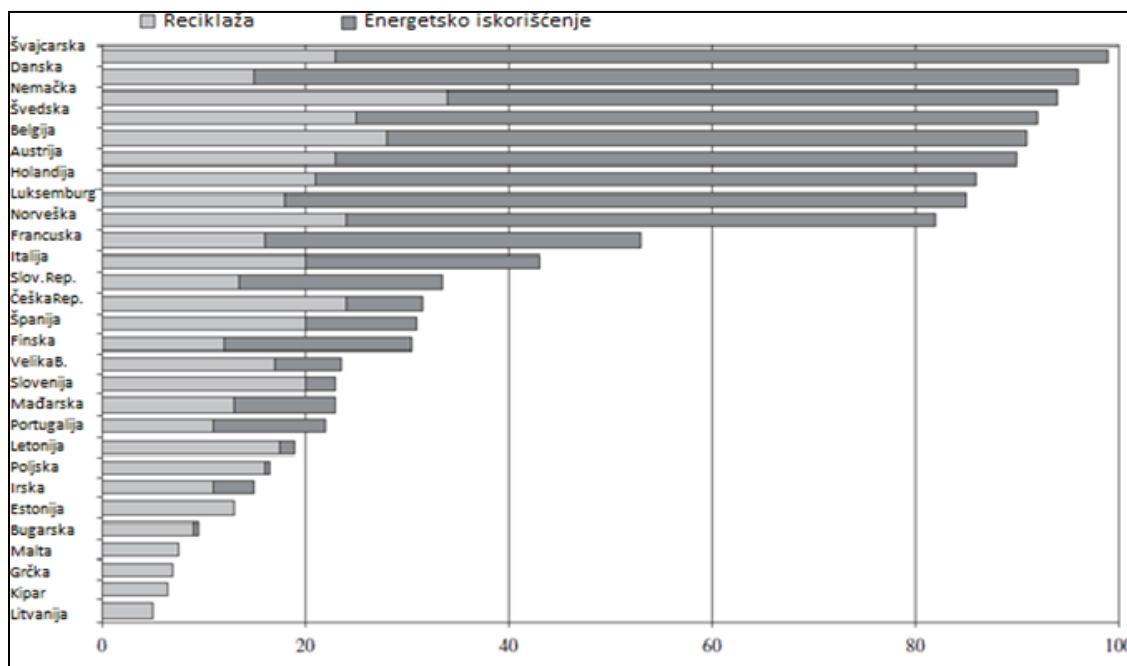
Процес управљања пластичним отпадом подразумева одређене кораке који су дефинисани хијерархијом управљања отпадом. За сваки од предвиђених корака треба познавати одређене параметре и карактеристике пластичног отпада да би се донела коначна одлука о прихватљивости или неприхватљивости за неку употребу или третман, односно коначно збрињавање. Из тог разлога потребно је да се на основу карактеризације рециклабилног пластичног отпада, закључи да ли је предметни отпад опасан или неопасан па у складу с тим треба донети одлуку које методе збрињавања треба применити.

2. УПРАВЉАЊЕ ПЛАСТИЧНИМ ОТПАДОМ

Просечно генерисање комуналног чврстог отпада у ЕУ је 680 kg по особи по години у 2020. години. У Републици Србији се у просеку генерише 0,87 kg комуналног отпада по глави становника дневно, што представља 320 kg отпада по особи годишње.

У ЕУ постоји широк спектар приоритета у управљању чврстим комуналним отпадом, од оних који су у великој мери усмерени ка депонувању до оних усмерених првенствено ка инсинерацији, док проценат рециклаже значајно варира. (Слика 1).

Слика 1. Стопа механичке рециклаже и енергетског искоришћења отпадне пластике у земљама ЕУ



3. ОТПАДНА ПЛАСТИКА

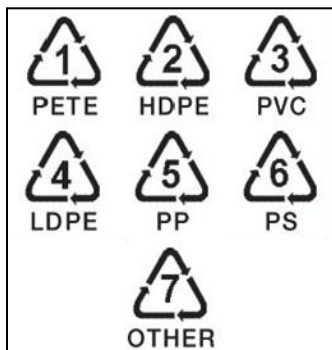
Проблем отпадне пластике је што заузима велики запремински простор на депонијама. Рециклажом отпадне пластике се доприноси смањењу потрошње електричне енергије а самим тим и смањењу емисије штетних гасова.

Пластични отпад је јако сложена материја, због тога што се његов хемијски састав разликује у зависности од врсте пластике. Важно је најпре раздвојити пластику према врсти. Постоје седам врста пластике које се најчешће рециклирају:

1. PET или (полиетилентерефталат) – флаше од сокова, пива воде, амбалажа за храну...
2. PE-HD или HDPE (полиетилен високе густине) – флаше за кућну хемију, разни канистри, флаше од шампона, гајбе од пива и вина, затварачи пластичних флаша...
3. PVC (поливинилхлорид) – врата и прозори, лајсне, канализационе цеви, изолације каблова, боце за хемију...

4. PE-LD или LDPE (полиетилен нисоке густине) – разне боце, омоти од најлона за паковање флаша од сокова и пива...
5. PP (полипропилен) – кућна пластика (столови, столице, фангле, кутије, канте...), палете...
6. PS (полистирен) – тањира и тацне за једнократну употребу, делови кућишта кућне технике, кутије за дискове...
7. остала пластика (ABS, PA, итд.) - кућишта компјутера, делови у ауто индустрији...

Слика 2. Символи за означавање пластике



4. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПЛАСТИЧНОГ ОТПАДА

Сваки поступак или процес управљања пластичним отпадом следи кораке који су дефинисани хијерархијом управљања отпадом. За сваки од предвиђених корака треба познавати одређене параметре и карактеристике пластичног отпада, да би се донела коначна одлука о прихватљивости или неприхватљивости за неку употребу или третман, односно коначно збрињавање. Из тог разлога потребно је да идентификовати неопходне податке о пластичном отпаду реализацијом следећих активности: опис ситуације на терену, дефинисање задатака и тражење решења, сагледавање расположивих информација.

Испитиване врсте пластичног отпада су добијене разврставањем сакупљеног отпада у процесима примарне и секундарне селекције у компанији.

Испитивање отпада врше стручне организације и друга правна лица која су овлашћена за узорковање и карактеризацију према обиму испитивања за која су акредитована док карактеризација отпада представља поступак којим се утврђују физичко-хемијске, хемијске и биолошке особине и састав отпада односно испитивања да ли отпад садржи или не, једну или више опасних карактеристика.

Кораци у поступку испитивања отпада су:

1. узорковање,
2. идентификација,
3. карактеризација,
4. израда Извештаја о испитивању отпада.

Узорковање отпада обухвата следеће информације: локација са које је узет узорак, GPS координате, начин и метод узорковања, датум и време узорковања и друге податке о узорку као и име особе која је вршила узорковање.

Идентификација отпада обухвата следеће информације: податке о подносиоцу захтева за испитивање, класификацију отпада према пореклу – прелиминарни индексни број из Каталога отпада и опис процеса настајања отпада.

Карактеризација отпада обухвата следеће информације: утврђивање карактера отпада у зависности од степена опасности (инертан, неопасан, опасан), одређивање опасних карактеристика отпада, одређивање токсиколошких карактеристика и ефеката на људско здравље и могућих утицаја на животну средину.

Извештај о испитивању отпада садржи следеће информације: податке о подносиоцу захтева и опште податке (произвођач, власник, количина отпада, поступак настанка отпада), податке о класификацији отпада (индексни број, Q, H, C, Y, R, D), податке о узорку и резултате испитивања отпада (локација – GPS, метода, време узорковања, узоркивач, резултати физичко-хемијских, хемијских и биолошких испитивања отпада).

Из извршене карактеризације пластичног отпада у компанији PWW Лесковац, може се закључити да је извршена карактеризација пластичног отпада (PET амбалажа, пластична фолија, тврда пластика) при чему је утврђено да се отпад налази у чврстом стању (физичко својство), и настао је при сакупљању и разврставању отпада и одвајањем предметног отпада из прикупљеног комуналног отпада.

Затим је извршена класификација која обухвата следеће податке:

Категорија отпада према листи категорија отпада (Q листа) – узорци, PET амбалажа, отпадна пластична фолија, тврда пластика, припадају категорији Q16 (отпади који нису посебно специфицирани у каталогу).

Индексни број отпада према каталогу отпада:

-PET амбалажа - узорак има индексни број 15 01 02 (пластична амбалажа),

-тврда пластика - узорак има индексни број 20 01 39 (пластика),

-отпадна пластична фолија - узорак има индексни број 20 01 39 (пластика).

Карактер отпада – узорак представља неопасан отпад, јер нема негативан утицај на животну средину и здравље људи.

Садржај пепела – PET амбалажа (0,3%); отпадна пластична фолија (1,1%); тврда пластика (0,9%). Негориви састојци отпада чине пепео. Што је већи удео негоривих састојака, мања је енергетска вредност материјала.

Садржај метала (mg/kg) – овај део показује који метали су садржани у датом узорку отпада. У узорцима, PET амбалаже, отпадне пластичне фолије и тврде пластике су пронађени следећи метали: арсен, баријум, кадмијум, хром, бакар, жива, никл, олово, антимон, цинк, ванадијум, берилијум, калај и кобалт. Све вредности су далеко испод референтних вредности, што значи да у погледу садржаја метала узорци немају опасних карактеристика или штетних утицаја на животну средину.

Садржај полихлорованих бифенила (PCB) (mg/kg) – Садржај PCB-а је испитиван по Стокхолмској конвенцији о испитивању PCB-а, према којој се препоручује испитивање 8 когенера полихлорованих бифенила: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118 PCB 138, PCB 153 и PCB 180. Ови когенери су изабрани зато што се углавном они у највећој концентрацији налазе у животnoj средини, храни и пићу. Нађене вредности ових когенера PCB у узорку су испод 0,05mg/kg. Метода која је коришћена за испитивање PCB је метода употребом капиларне гасне хроматографије са хватањем електрона или масеном спектрометријском детекцијом (ЕН 15308:2008).

Садржај халогених елемената и сумпора (%) – испитани су садржаји флуора, хлора, брома и сумпора. Такође, све је у границама испод референтних вредности и нема директне опасности по животну средину и здравље људи.

Садржај лако испарљивих угљоводоника (mg/kg) – У испитиваним узорцима пронађени су: бензен, толуен, ксилен, етилбензен, стирен. Овде се такође узима у обзир укупан збир, који износи мање од 1mg/kg. Отпад се може прописно одложити без претходних третмана.

Топлотна моћ – PET амбалажа (23MJ/kg); отпадна пластична фолија (34MJ/kg); тврда пластика (37MJ/kg). Њихове вредности топлотне моћи нам говоре да ови узорци имају високе топлотне моћи.

На основу представљених резултата испитивања и упоређивањем вредности добијених испитивањем и упоређивањем са референтним вредностима, може се закључити да по својим физичким и хемијским особинама испитивани узорци PET амбалаже, отпадне пластичне фолије и тврде пластике не прелазе ни у једном сегменту референтне вредности и самим тим не представљају опасан отпад.

5. ТЕХНОЛОГИЈЕ РЕЦИКЛАЖЕ ОТПАДНЕ ПЛАСТИКЕ

Ефикасно сортирање пластике, као и континуално праћење различитих токова пластичног отпада, довели су до развоја оптималне стратегије за рециклажу пластичног чврстог отпада, па посматрано из овог угла технологије за рециклажу пластике могу се поделити у четири основне категорије:

- Примарна: Ре-екструдирање, односно поновно враћање пластике истих карактеристика у сам производни процес,
- Секундарна: Механичка, развијена у циљу рециклаже различитих производа од пластике физичким поступцима,
- Терцијарна: Хемијска, намењена да произведе сировине за хемијску индустрију,
- Квартерна: Добијање енергије, односно, потпуна или делимична оксидација пластичних отпадних материјала у циљу производње топлоте, и/или гасовитих горива, уља, и/или материјала који се одлаже (на пример, пепео).

Механичка (секундарна) рециклажа је једина од четири приступа, која максимизира “искоришћење” пластичног отпада и има минималан негативни утицај на животну средину.

5.1. Ре-екструдирање

Примарна рециклажа, тј. ре-екструдирање је изводљиво само са полу-чистим отпадом, што је непопуларно код рециклера. На пример, производња пластичних гајби од LDPE пластике добијене Ре-екстудирањем често не задовољавају стандарде и морају да се пресују и поново врате у процес производње.

5.2. Механичка рециклажа пластике

Код примене механичке рециклаже важно питање представља избор начина сортирања и раличитих фаза прераде пластике. Упркос убрзаном технолошком развоју, најчешће је ручно сортирање пластике, што представља једноставан процес који захтева врло мало технологије. То је радно интензивна, скупа и неефикасна метода за сортирање материјала посебно пластике. Из тог разлога уведен је систем означавања са кодовима за шест најчешће коришћених типова пластике, као што је приказано на слици 2.

Табела 1. Карактеристике уређаја који се користе за уситњавање (сецкање) пластичног отпада

Уређај за уситњавање	Карактеристике
Ударни млин (<i>Hammer Mills</i> (HM))	Покретни чекићи постављени на ротирајућем вратилу ударају и бацају пластику према облогама млина или другом отпадном материјалу који се налази у млину. Као резултат удара остварује се уситњавање. Честице се уситњавају унутар млина док се не постигне величина мања од отвора на мрежи која је постављена на излазу из коморе млина. HM може да обради без проблема метал, неопходна је знатна енергија, самлевене честице нису уједначене и процес производи много буке.
Прстенасти млин (<i>Ring Mills</i> (RM))	RM је обично конструисан од челичних ротирајућих сечива. Ови ножеви сецкају и мељу пластику која се налази унутар ваљка. Након што се уситни до жељене величине, она пада кроз отворе које се налазе испод сечива ваљка.
Сецкалица (<i>Shear Shredders</i> (SS))	Шредер користи један или више ротирајућих осовина, свака са сетом дискова за резање или ножева везаних за вратило које је постављено у комори на дну левка. Приликом ротације вратила дискови или ножеви повлаче материјал на ниже кроз простор између дискова за сечење или између ножева и околне коморе.
Дво или четворо осовински шредер <i>Two or Four Shaft Shear Shredders</i> (TSSS or FSSS)	Опрема за уситњавање може да се састоји од две или четири осовине са ротационим ножевима (нпр. дискови са кукицама) и кућиштем које држи алат. Када се материјал допреми у кош, шредер захвата материјал и уситњава га. Захваљујући високом обртном моменту и робусним и чврстим секачима могуће је исецкати комаде израђених од различитих материјала. FSSS може да уситни металне нечистоће, потребна је релативно ниска енергија, честице су добро ослобођене, висок ниво контроле, високи трошкови одржавања.
Гранулатор (<i>Granulators</i> (Gn))	Основни склоп гранулатора представља ротор који је усаглашен са кратким лопатицама које су степенасто постављене. Током ротације сваки алат сече материјал и доводи до уситњавања. Гранулатори су посебно ефикасни када мора да се исече материјал који се одликује високом густином и отпорности. Они обезбеђују добро ослобађање материјала, високу пропусност, не могу да уситне метале (нечистоће), а одликују се и високим трошковима одржавања.
Криогено уситњавање (<i>Cryogenic Comminution Units</i> (CCU))	Криоген поступак омогућује фино уситњавање помоћу течног азота, обично се материјал меша са течним азотом да се обезбеди ниво температуре до -150°C , да би се охладио материјал у млину. Криоген процес производи веома глатке површине прелома. Чак и ако цена течног азота се знатно смањи, процес се још увек одликује високим оперативним трошковима. Криогени поступак је идеалан за фино уситњавање термопластике и материјала осетљивих на топлоту, а такође омогућава да се постигне одлично ослобађање материјала.

Чак и са овим системом означавања, још увек је тешко ручно одвајати различите типове полимера због стања пластике која дође у погон на раздвајање. Пластичне посуде могу бити сломљене, напукле или са покривеним ознакама, чинећи ознаку пластике практично неупотребљивом. У сваком случају, систематско и интензивно ручно сортирање пластичних делова, флаша, може бити контрапродуктивно имајући у виду да постоји бржа и тачнија технологија сортирања пластике. У последњих неколико година истраживане су, развијане и спроведене бројне методе за аутоматско разврставање пластике. Оне се могу поделити у две категорије у складу са величином пластичних предмета за сортирање:

- Макро сортирање, које се бави раздвајањем целих боца и посуда. Овакав приступ има ту предност да не захтева никакву посебну припрему узорка пре сортирања. Овај метод се заснива на препознавању специфичних особина пластике и одвајања пластике по врстама најчешће ваздушним ударом.
- Микро сортирање, које се примењује након што се пластични материјал самеље у комаде. Овај систем има предност због нижих трошкова руковања и већег обима прераде. Мора да се успостави и примењује софистицирана (префињена) технологија која садржи низ механичких процеса (нпр. уситњавање, класификација, раздвајање, итд).

5.3. Хемијска рециклажа пластике

Хемијска (терцијарна) рециклажа је термин који се користи за означавање напредних технологија и процеса, којима се пластични материјали разлажу у полимере мањих 50 молекулских маса (обично течности или гасови), који се користе као сировина за производњу нових петрохемијских производа или пластике. Термин "хемијска" се користи јер промена обавезно долази у хемијској структури полимера. У последњих неколико година, много пажње је посвећено овом приступу рециклаже (нпр. не каталитички крекинг, термо каталитички крекинг и парна деградација) у циљу да се произведу различите врсте горива од пластичних отпада. Неки полимери могу бити профитабилно обрађени усвајањем овог приступа. Полиетилентерефталат (PET), поједини полиамиди и полиуретани могу се ефикасно деполимеризовати. Добијене хемикалије се затим могу користити за производњу нове пластике која се не разликује битно од почетног нетакнутог полимера. Полиетилен (PE) је такође препознат као потенцијална сировина у технологијама производње горива (бензина). Два наведена случаја су само пример потенцијала хемијске рециклаже. Велики део литературе постоји на ову тему, јер је много истраживачких напора и развојних технологија уложено у побољшање коришћења ове технологије за рециклажу. Хемијска рециклажа, у ствари, представља, велику предност са могућношћу третирања хетерогених и контаминираних полимера са ограниченим коришћењем предтретмана.

5.5- Енергетско искоришћење пластике

Енергетско искоришћење пластике се заснива на употреби отпадне пластике за производњу енергије у облику топлоте, паре или електричне енергије. С обзиром да је отпадна пластика продукт сирове нафте, спаљивањем генерише високу калоријску вредност. Осим тога, контролисаним спаљивањем пластике, добијају се исти продукти сагоревања као код других нафтних деривата: воде и угљен-диоксида. Такво решење се може сматрати технички и економски исправним када се не могу профитабилно применити друге стратегије рециклаже (нпр. сортирање, механичка, хемијска, итд).

Механичка рециклажа се првенствено своди на фино млевење ради поновне употребе, као пунила у новим термосет смолама или као додаток термопластици, или да се поново добије природни филер или влакно које је првобитно коришћено у производњи оригиналне термосет пластике. Хемијска рециклажа као и процес искоришћења енергије не могу бити примењени на широк спектар термосет материјала.

6. ЗАКЉУЧАК

На основу резултата испитивања и упоређивањем вредности добијених испитивањем и референтних вредности, може се закључити да по својим физичким и хемијским особинама испитивани узорци PET амбалаже, отпадне пластичне фолије и тврде пластике не прелазе ни у једном сегменту референтне вредности и самим тим не представљају опасан отпад. Како би отпад био опасан, мора да садржи бар једну опасну карактеристику, такав је пример пластичног амбалажног отпада у који се пакују пестициди и за који је потребан посебан третман, како не би дошло до негативног утицаја на животну средину.

Рециклажа пластичног отпада представља један од начина за решавање проблема отпада након употребе. Повећањем економске добити, еколошке свести и развојем нових технологија дошло се до значајног повећања стопе искоришћења и рециклаже пластичног отпада. Ови трендови вероватно ће се наставити, како технолошки тако и економски. Повећање стопе рециклаже пластичног отпада, а самим тим смањење отпада на депонијама, могуће је постићи ширењем спектра прикупљања отпадне амбалажне пластике, отпадне пластике из домаћинства као и аутомобилског и електронског отпада. Заједно са напорима да се повећа коришћење рециклиране пластике, рециклажа отпадне пластике доприноси и смањењу негативног утицаја на животну средину.

ЛИТЕРАТУРА

Вујић, Г., Батинић, Б., Станисављевић, Н., Убавин, Д., & Живанчев, М. (2011). Анализа стања и стратешки оквир управљања отпадом у Републици Србији. Рециклажа и одрживи развој, 4(1), 14-19.
План управљања отпадом у граду Лесковцу за период 2010. – 2020.

- Al-Salem, S.M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29, 2625–2643.
- Buchan, R., Yarar, B. (1995). Recovering plastics for recycling by mineral processing techniques. *Journal of Minerals, Metals and Materials Society*, 47, 52–55.
- Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council on the management of waste from the industries
- European Waste Catalogue and Hazardous Waste List, http://www.environment_agency.gov.uk/static/documents/GEHO1105BJVSee.pdf
- Serranti, S., Bonifazi, G.. (2010). Post-Consumer Polyolefins (PP-PE) Recognition by Combined Spectroscopic Sensing Techniques. *The Open Waste Management Journal* 2010, 3, 35-45.
- Zia, K.M., Bhatti, H.N., & Bhatti, I.A. (2007). Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: a review. *Reactive & Functional Polymers* 2007, 67(8), 675–692.