

Оригинални научни рад

UDK 628.477.6

DOI br. 10.7251/SVR1205289J

## УПРАВЉАЊЕ РЕЦИКЛАБИЛНИМ МАТЕРИЈАЛИМА ИЗ ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

Др Зоран Јањуш<sup>1</sup>

Градска управа Одјељење комуналне полиције, Бања Лука

Др Александар Петровић, др Александар Јововић и др Радица  
Прокић-Цветковић<sup>2</sup>

Универзитет у Београду, Машински факултет, Катедра за процесну  
технику

Мр Слободанка Павловић, доц. др Божидарка Арсеновић<sup>3</sup>

Еколошки факултет Независни универзитет Бања Лука

**Апстракт:** У раду су обрађени резултати обраде механичких особина полипропилена пуњеног стакленим прахом, и више пута прерађиваног. Испитиване су стандардне епрувете, направљене од основног материјала - полипропилена и уз додатак 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% и 30% стакленог праха гранулације мање од 0,5mm, кроз шест циклуса прераде. Измјерене вриједности дале су могућност формирања образаца промјене механичких особина посматраног материјала са различитим садржајем страног тијела, кроз циклусе прераде, што може помоћи у даљим истраживањима и анализама.

**Кључне ријечи:** *анализа, полипропилен, механичке особине.*

### УВОД

Брига за очувањем животне средине, због ограничености ресурса с једне стране и гомилања отпада с друге, узрокује потребу кориштења еколошки прихватљивих материјала и њихово рециклирање на крају корисног вијека трајања. Кориштење полимерних материјала је у сталном порасту од половине прошлог вијека, захваљујући повољном односу карактеристике-квалитет-цијена, те

---

<sup>1</sup> mrjzoran@teol.net

<sup>2</sup> apetrovic@mas.bg.ac.rs, ajovovic@mas.bg.ac.rs, rprokic@mas.bg.ac.rs

<sup>3</sup> boba.pavlovic@gmail.com, bokijevmejl@gmail.com

обрадивости и употребљивости<sup>4</sup>. Најчешће су кориштени термопластични полимери због погодности рециклаже, за разлику од дуропласта који се рјеђе користе<sup>5</sup>. У укупној маси пластичних производа најчешће се користе полиетилен (PE) и полипропилен (PP) око 60-70%, затим полистирен (PS) око 10-15% затим поливинилхлорид (PVC) 15% и PET 5%<sup>6</sup>.

У новије вријеме повећана је употреба композитних материјала, тј. смјесе два или више материјала различитог састава и облика формираних у циљу постизања жељених карактеристика. Најчешће су у употреби влакнасти композити, гдје влакна служе за побољшавање механичких карактеристика. Поред кориштених вјештачких влакана све чешће су у употреби природна влакна од конопље, јуте, лана, пилећег перја или отпадног папира, картона, текстила и сл.<sup>7</sup>. Међутим, употреба више различитих материјала компликује рециклажу, јер се влакна и матрице требају раздвојити<sup>8</sup>. Овај проблем могуће је превазићи употребом зрнастих композитних материјала који би се поново употребљавали у цјелини.

У циљу утврђивања промјене механичких карактеристика, вршена су експериментална истраживања утицаја вишеструке прераде отпадног полипропилена са различитим процентом масеног удјела стакленог праха (гранулације мање од 0,5mm што је добијено мљењењем) на промјену механичких карактеристика кроз циклусе<sup>9</sup>. Вршена су испитивања: затезањем, смицањем, савијањем, притиском, пузањем, ударом и испитивање тврдоће. Изабрана механичка испитивања у великој мјери дефинишу механичке карактеристике посматраног материјала. Анализа резултата вршена је методом најмањих квадрата, чиме се добија могућност израчунавања посматраних вриједности, за које не постоје експериментални резултати. Отпадни полипропилен и отпадно стакло су пречишћени од механичких и других нечистоћа прањем и сушењем, те припремљени мљењењем за даљу обраду.

Извршена су испитивања механичких карактеристика мјешавине отпадног полипропилена и отпадног стакла, не улазећи у хемијска и физичка својства насталог композита. Циљ је да се изведу закључци о могућности, квалитету и поузданости поновне употребе кориштених материјала добијених дјелимичним раздвајањем компоненти и њиховом вишеструком употребом.

<sup>4</sup> Јовановић, S., Милетић, П., Бојанић, В., Топић, Ж., 2002

<sup>5</sup> Pickering, S.J., 2006 стр. 1206–1215

<sup>6</sup> Јањуш, З., 2006, изводи из магистарског рада

<sup>7</sup> Bullions, T.A., и остали, 2006, стр 102–114

<sup>8</sup> Alcock, V. и остали, 2008, Part B 39, 537–547

<sup>9</sup> Гранулације мање од 0,5mm што је добијено мљењењем

## 1. МЕХАНИЧКА ИСПИТИВАЊА

Механичке карактеристике материјала битно утичу на поузданост производа током експлоатације. Оне показују понашање елемента изложеног механичким оптерећењима<sup>10</sup>. Шематски приказ планираних испитивања механичких карактеристика и очекивани резултати представљен је на слици бр. 1.



Слика 1. Шематски приказ планираних испитивања и очекиваних резултата

## 2. УЗОРЦИ ЗА ИСПИТИВАЊА

За експеримент је кориштен материјал полипропилен, у праху, ради постизања хомогености при мијешању са стакленим прахом. Коришћени стаклени прах је гранулације мање од 0,5mm, што је постигнуто ситовном анализом послје мљевања стакленог праха. Мијешање је вршено механички – континуирано ради постизања хомогености смјесе. Произведене су епрувете од основног материјала полипропилена и епрувете смјесе полипропилена са масеним удјелом 5%, 10%, 15%, 20%, 25% и 30% стакленог праха. Због дебљине епрувете за испитивање од 4mm и максималне димензије грануле стакленог праха од 0,5mm, испитивање није вршено за већи проценат удјела стакленог праха од 30%. Код припремања основног материјала и смјеше основног материјала са 10%, 20% и 30% стакленог праха, број припрека - епрувета је задржан, а остатак епрувета је уситњаван и припреман за поновну прераду. Исти поступак понављан је шест пута. Наведеним поступком су израђене епрувете од основног материјала и епрувете од мјешавине полипропилена и стакла, и то у 6 циклуса прераде.

<sup>10</sup> Липолд, Р., Благојевић, А., Исмаиловић, Ф., Пашић, О., 1990

Припремци (епрувете) су произведени са додатком боје ради лакшег визуелног распознавања: основни материјал провидна-бијела, са удјелом 5% стакленог праха жута, 10% зелена, 15% наранџаста, 20% плава, 25% свијетлоплава и 30% црвена. Прије употребе основни материјал (полипропилен) и стаклени прах су загријавани – сушени у сврху одстрањивања влаге.

Израда епрувета је извршена у предузећу „Дита“ Бања Лука, септембра 2009. год.

Све епрувете и материјал су прерађивани и произведени на исти начин и на истој машини – екструдеру, карактеристика:

1. Назив: ARBURG-MASCHINENFABRIK, NEHL & SOHNE, D 7298 LOSSBURG 1
2. Тип: allrounder 305-210-700
3. Серија: 115068

Поступак екстудирања је поступак континуираног истискивања (или потискивања) загријаног и омекшаног полимера кроз профилисану млазницу [59]. Температура прераде је била константна и износила је  $230^{\circ}\text{C}$ ,  $220^{\circ}\text{C}$ ,  $210^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$  за први, други, трећи и четврти гријач. Хлађење епрувета вршено је лагано на собној температури, без додатних средстава. Уситњавање материјала (припрема за поновну прераду) вршено је индустријским млином. Од материјала су направљене епрувете за испитивање затезањем, а из њих су изрезивани припремци за мјерење осталих механичких величина. Епрувете су ливене у специјално направљеном калупу. Обрађене епрувете припремљене за испитивање затезањем и за припрему узорка за друга предвиђена испитивања приказане су сликом бр. 2. За потребе предвиђених испитивања произведено је преко хиљаду (1000) епрувета.



Слика 2. Обрађене епрувете основног материјала и материјала са додатком: 5%, 10%, 15%, 20%, 25% и 30% стакленог праха

### 3. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА

Обрада резултата вршена је с циљем описивања података добијених експерименталним путем, подесном математичком функцијом, тј. аналитичким обрасцем. Тражена је што једноставнија функција промјене посматране величине по циклусу прераде, а у зависности од удјела стакленог праха. Експериментални резултати апроксимирани су аналитички са задовољавајућом тачношћу.

За обраду су кориштене средње вриједности механичке карактеристике, добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у Табели бр.1.

Табела 1. Подаци за обраду

Удио стакла	Механичка карактеристика – средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
5%	xx						
10%	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
15%	xx						
20%	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
25%	xx						
30%	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Да би се омогућила употреба резултата добијених мјерењем и израчунавањем за композитни материјал са другачијим процентом масеног удјела стакла од оног за који су извршена испитивања, извршена је даља обрада изналажењем функционалне зависности везе између механичке карактеристике, масеног удјела стакла и циклуса прераде материјала.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата. У конкретном случају промјена механичке карактеристике изражена је у зависности од циклуса прераде и удјела стакла у основном материјалу. Изналажење функционалне зависности је извршено у два корака.

Први корак подразумијева проналажење функционалне зависности која довољно добро описује везу између механичке карактеристике и масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену механичке карактеристике у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде. Анализом се утврђује да је та функционална веза облика:

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^n + \dots + c(s) \cdot e^{-x} \quad (1)$$

гдје су:

- $y(s, x)$  - механичка карактеристика,
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a, b, c, \dots$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0, 1, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a, b, \dots$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности.

Други корак подразумијева изналагање функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s), b(s), \dots$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђује се функционална веза типа:

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 + F \cdot s^5 \quad (2)$$

гдје је:

$z(s)$  - вриједности коефицијената  $a(s), b(s), \dots, c(s)$

$A, B, C, D, E$  и  $F$  - вриједности коефицијената у једначини (2) који зависе од тога који коефицијент  $a(s), b(s)$  и  $c(s)$  се одређује.

## 4. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

### 4.1. Промјена затезне чврстоће

Промјена затезне чврстоће полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:

$$R_m(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^{2.5} + c(s) \cdot e^{-x}, \quad [N/mm^2] \quad (3)$$

Затезна чврстоћа је расла код прве и друге прераде, па даље кроз циклусе прераде лагано опадала. Када се говори о промјени затезне чврстоће у зависности од броја циклуса прераде треба нагласити да се она може занемарити, јер је око 1%. Посматрани материјали имају релативно сличан тренд промјене. Такође се види да затезна чврстоћа опада са додавањем стакленог праха основном материјалу. Већи пад затезне чврстоће уочава се при додавању 5% стакленог праха (око 10 %). Запажа се такође да при додатку 10% стакленог праха затезна чврстоћа се битно не мијења у односу на затезну чврстоћу материјала са 5% стакленог праха. Са даљим повећањем удјела стакленог праха затезна чврстоћа и даље опада, али умјереније. Тако, на примјер, при додавању 30% стакленог праха, затезна чврстоћа опада за око 20% у односу на затезну чврстоћу чистог полипропилена (без стакленог праха). Тренд промјене кроз циклусе прераде код основног материјала за нијансу се разликује од промјене код материјала са додатком стакленог праха. Максимална вриједност затезне чврстоће износи  $R_m=33,48 [N/mm^2]$  за једанпут прерађен полипропилен без додатка стакленог праха, а минимална  $R_m=27,17 [N/mm^2]$  за основни материјал са масеним удјелом од 30%

стакленог праха<sup>11</sup>. Измјерене вриједности заетне чврстоће не разликују се значајно од вриједности затезне чврстоће добијене у ранијим мјерењима  $R_m=29,3-30,66$  [N/mm<sup>2</sup>][5], или вриједности затезне чврстоће стандардног полипропилена  $R_m=30-39$  [N/mm<sup>2</sup>]<sup>12</sup>.

За разлику од процјене могућности употребе постојећег материјала, у сличним доступним радовима аутори су се углавном бавили побољшавањем затезне чврстоће полипропилена, нпр. формирањем кополимера додавањем адитива или модификатора, или формирањем влакнастих или ламелних композита. На примјер,<sup>3</sup> додавањем пилећих пера у проценту од 0% до 50% полипропилену<sup>13</sup> затезна чврстоћа је континуирано опадала.

#### 4.2. Промјена смицајне чврстоће

Промјена смицајне чврстоће полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:  
 $\tau_s(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot e^{-x}$ , [N/mm<sup>2</sup>] (4)

Смицајна чврстоћа расте код прве прераде за око 10%, па опада до трећег циклуса прераде, па затим поново расте (све даље промјене су у оквиру 5%). Такође се види да смицајна чврстоћа константно (скоро линеарно) опада додавањем стакленог праха основном материјалу у оквиру нижем од 2%. Разлика је код основног материјала, гдје између чистог полипропилена и полипропилена са додатком 5% стакленог праха, смицајна чврстоћа опада око 4,5%, а даље задржава тренд као и више пута прерађивани материјали.

Максимална вриједност смицајне чврстоће износи  $\tau_s=30,39$  [N/mm<sup>2</sup>] за једанпут прерађен полипропилен без додатка стакленог праха, а минимална  $\tau_s = 26,84$  [N/mm<sup>2</sup>] за основни материјал са масеним удјелом од 30% стакленог праха<sup>14</sup>. Измјерене вриједности смицајне чврстоће не разликују се значајно од вриједности смицајне чврстоће добијене у ранијим мјерењима  $\tau_s = 33,1-36$  [N/mm<sup>2</sup>].

#### 4.3. Промјена савојне чврстоће

Промјена савојне чврстоће полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:  
 $\sigma_s(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x}$ , [N/mm<sup>2</sup>] (5)

Савојна чврстоћа расте до друге прераде за око 10% па даље кроз циклусе прераде опада до четврте прераде за око 5%. Даље до шестог циклуса задржава релативно константан тренд промјене. Такође се види да савојна чврстоћа опада додавањем стакленог праха.

<sup>11</sup> Јањуш, З., 2012, резултати докторске дисертације

<sup>12</sup> Нај, М., 1978

<sup>13</sup> Huda, S., Yang, Y., 2008, стр. 790–798

<sup>14</sup> Јањуш, З., 2012, резултати докторске дисертације

Тврдоћа расте код прве прераде, па опада до другог циклуса прераде, па затим поново расте кроз трећи и четврти и опада пети и шести (све посматране промјене мање су од 5% по циклусу). Такође се види да тврдоћа расте са додавањем стакленог праха основном материјалу до 20% и 25% масеног удјела (мање од 5% у односу на основни материјал), гдје стагнира, па надаље опада. Разлика је код посматрања основног материјала гдје тврдоћа константно расте. Промјене нису са великим разликама по фазама посматрања.

Максимална вриједност тврдоће износи  $HS=72,17$  [Shore-D] за један пута прерађен полипропилен са масним удјелом од 20% стакленог праха, а минимална  $HS =69,05$  [Shore-D] за три пута прерађен полипропилен без додатка стакленог праха<sup>15</sup>.

За разлику од процјене могућности употребе постојећег материјала, у сличним доступним радовима аутори су се углавном бавили побољшавањем тврдоће полипропилена, нпр. формирањем кополимера додавањем адитива или модификатора или формирањем влакнастих или ламелних композита (постизана је до 10% већа тврдоћа од тврдоће полипропилена кориштеног у експерименту (74-78 Shore D)<sup>16</sup> и (70-76 Shore D)<sup>17</sup>.

#### 4.4. Промјена притисне чврстоће

Промјена притисне чврстоће полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:

$$R_{pm}(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2.5}, \quad [N/mm^2] \quad (6)$$

Притисна чврстоћа расте код прве и друге прераде (по 5% по циклусу), разлика је материјал са удјелом 25% стакленог праха, гдје је од нултог до првог циклуса прераде промјена релативно константна и материјал са удјелом од 30% стакленог праха гдје у истом дијелу опада. Даље кроз циклусе прераде лагано опада или стагнира код материјала са нижим удјелом стакленог праха, док код материјала са удјелом стакленог праха већим од 15% континуирано расте, те код чистог полипропилена и полипропилена са додатком 5% стакленог праха од четвртог до шестог циклуса прераде опада. Такође се види да притисна чврстоћа континуирано расте са додавањем стакленог праха основном материјалу за све циклусе прераде.

Максимална вриједност притисне чврстоће износи  $R_{pm}=63,26$  [N/mm<sup>2</sup>] за четири пута прерађен полипропилен са масеним удјелом од 30% стакленог праха, а минимална  $R_{pm}=53,14$  [N/mm<sup>2</sup>] за основни материјал са масеним удјелом од 5% стакленог праха. Измјерене

<sup>15</sup> Јањуш, З., 2012, Исто

<sup>16</sup> Нађ, М., Исто

<sup>17</sup> Јањуш, З., Исто



вриједности притисне чврстоће одговарају вриједности притисне чврстоће стандардног полипропилена  $R_{pm}=39-56$  [N/mm<sup>2</sup>]<sup>18</sup>.

Слично истраживање проведено је додавањем честица пепела у PET<sup>19</sup>, гдје је забиљежен сличан тренд промјене притисне чврстоће. Додавањем чистом PET-у 10% и 20% честица пепела притисна чврстоћа је расла. Додавањем 30% и 40% честица пепела благо је стагнирала и опадала, да би додавањем 50% честица праха расла.

#### 4.5. Промјена тврдоће

Промјена тврдоће полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:

$$HS(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2,5}, \quad [\text{Shore} - D] \quad (7)$$

Тврдоћа расте код прве прераде, па опада до другог циклуса прераде, па затим поново расте кроз трећи и четврти и опада пети и шести (све посматране промјене мање су од 5% по циклусу). Такође се види да тврдоћа расте са додавањем стакленог праха основном материјалу до 20% и 25% масеног удјела (мање од 5% у односу на основни материјал) гдје стагнира, па надаље опада. Разлика је код посматрања основног материјала гдје тврдоћа константно расте. Промјене нису са великим разликама по фазама посматрања.

Максимална вриједност тврдоће износи  $HS=72,17$  [Shore-D] за један пута прерађен полипропилен са масеним удјелом од 20% стакленог праха, а минимална  $HS = 69,05$  [Shore-D] за три пута прерађен полипропилен без додатка стакленог праха<sup>20</sup>.

За разлику од процјене могућности употребе постојећег материјала, у сличним доступним радовима аутори су се углавном бавили побољшавањем тврдоће полипропилена нпр. формирањем кополимера додавањем адитива или модификатора или формирањем влакнастих или ламелних композита (постизана је до 10% већа тврдоћа од тврдоће полипропилена коришћеног у експерименту (74-78 Shore D) [12] и (70-76 Shore D)<sup>21</sup>.

#### 4.6. Промјена жилавости

Промјена жилавости полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:

$$\rho(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x}, \quad [J/cm^2] \quad (8)$$

Жилавост расте код прве и друге прераде (за око 2% по циклусу) па даље кроз циклусе прераде лагано опада, осим код чистог

<sup>18</sup> Нађ, М., Исто

<sup>19</sup> Li, Y., White, D.J., Peyton, R.L., 1998, стр. 87-93

<sup>20</sup> Јањуш, З., Исто

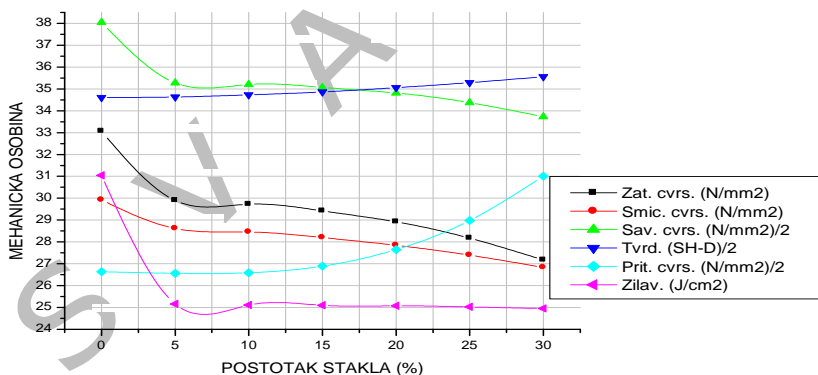
<sup>21</sup> Yazdani, H., Morshediana, J., Khonakdar, H.A., 2006, 614–620

полипропилену гдје код првог и другог циклуса опада, а даље лагано расте. Такође се види да жилавост рапидно опада, за око 20% са додавањем до 5% стакленог праха основном материјалу, те је даљи тренд опадања са додавањем до 30% стакленог праха укупно око 3%.

Максимална вриједност жилавости износи  $\rho=31,46 \text{ [J/cm}^2\text{]}$  за пет и шест пута прерађен полипропилен без додатка стакленог праха, а минимална  $\rho=25,01 \text{ [J/cm}^2\text{]}$  за пет пута прерађен полипропилен са масеним удјелом 30% стакленог праха [6]. У једном истраживању у матрицу полипропилену додавана је количина од 0% до 50% пилећих пера [4], гдје је приказано да такав тип композита (влакнасти) утиче на побољшање жилавости, тако да је жилавост континуирано расла са додавањем до 40% пилећих пера полипропилену, а даље са 50% посто додатка опадала. Измјерене вриједности жилавости не разликују се значајно од вриједности жилавости добијене у ранијим мјерењима  $\rho=28-56,1 \text{ [J/cm}^2\text{]}$ <sup>22</sup>.

#### 4.7. Упоредни приказ механичких карактеристика

Ради једноставнијег визуелног посматрања извршен је упоредни приказ (сл. 3) промјене механичких карактеристика у зависности од додатка стакленог праха основном материјалу. Због компактности дијаграма вриједности савојне чврстоће, тврдоће и напона сабијања приказане су са два пута умањењем.



Слика 3. Дијаграм упоредни приказ промјене посматраних механичких величина

Из дијаграма се види да се са додатком стакленог праха основном материјалу побољшавају тврдоћа и притисна чврстоћа, док слабе затезна чврстоћа, смицајна чврстоћа, савојна чврстоћа и жилавост<sup>23</sup>.

<sup>22</sup> Јањуш, З., 2006, Исто

<sup>23</sup> Јањуш, З., 2012, Исто

## ЗАКЉУЧАК

За очување животне средине важна је употреба рециклабилних материјала, а у новије вријеме и комбинација више њих, што показује и пракса у свијету. У доступној литератури види се да су истраживања углавном усмјерена на производњу композитних материјала са максимално побољшаним карактеристикама. У овом раду показано је да се поједини већ кориштени материјали дјелимично раздвојени из укупне количине отпада могу понудити на тржиште са стабилним механичким карактеристикама и да се могу вишеструко користити.

На основу литературних података и спроведених експерименталних истраживања може се закључити да отпадни полипропилен са додатком различитог запреминског удјела (који одговара до 30% масеног удјела стакленог праха) страног материјала гранулације мање од 0,5 [mm] (зрнасти композит) има стабилну промјену посматраних механичких величина.

Овакви материјали се могу рециклирати без раздвајања компоненти до шест циклуса, при чему се посматрана карактеристика битно не мијења, што побољшава економске критеријуме. Кроз циклусе прераде задржавају стабилну промјену посматране механичке карактеристике.

Добијени су аналитички обрасци који омогућавају израчунавање посматране механичке карактеристике за било који удио додатка стакленог праха од 0% до 30% у било којем циклусу прераде до шесте прераде, са задовољавајућом тачношћу.

Даљња истраживања требала би бити усмјерена на одређивање максималног удјела додатка стакла и максималног циклуса прераде, при којима не долази до велике деградације посматране механичке карактеристике, тј. до крајње границе могућности употребе описаног материјала.

## MANAGEMENT OF RECYCLABLE MATERIALS FROM SOLID WASTE

**Zoran Janjuš Ph.D., Aleksandar Petrović Ph.G., Aleksandar Jovović Ph.D., Radica Prokić-Cvetković Ph.D., Slobodanka Pavlović M.A. and Božidarka Arsenović Ph.D.**

**Abstract:** This paper describes possibilities of polypropylene reuse mechanical properties recycling with addition of glass powder. Standard test tubes, made of basic material polypropylene, with addition of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of glass powder with granulation less than 0,5 mm, have been tested mechanical properties six processing cycles. Measured values gave possibility to form patterns for changes of the observed material with different content of additives, bending resistance processing cycles, which can be helpful in further research and analysis.

*Key words: analysis, polypropylene, mechanical properties .*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Alcock, B. , Cabrera, N.O., Barkoula, N.-M., Wang, Z., Peijs, T (2008): *The effect of temperature and strain rate on the impact performance of recyclable all-polypropylene composites*, Composites: Part B 39, 537–547
2. Bullions, T.A., Hoffman, D., Gillespie, R.A., Price-O Brien, J., Loos, A.C. (2006): *Contributions of feather fibers and various cellulose fibers to the mechanical properties of polypropylene matrix composites*, Composites Science and Technology 66, 102–114
3. Cavalieri, F., Padella, F. (2002): *Development of composite materials by mechanochemical treatment of post-consumer plastic waste*, Waste Management 22, 913–916
4. Huda, S., Yang, Y. (2008): *Composites from ground chicken quill and polypropylene*, Composites Science and Technology 68, 790–798
5. Јањуш, З. (2006): *Поузданост употребе рециклираног термопласта*, магистарски рад, Машински факултет, Бања Лука
6. Јањуш, З. (2012): *Управљање рециклабилним материјалима из чврстог комуналног отпада*, докторска дисертација, Маш. факултет, Београд
7. Јовановић, S., Милетић, П., Бојанић, В., Топић, Ж. (2002): *Прериклирање полимерног отпада*, Пољопр. факултет, Бања Лука
8. Li, Y., White, D.J., Peuton, R.L. (1998). Composite material from fly ash and post-consumer PET, Resources, Conservation and Recycling 24, 87-93
9. Липолд, R., Благојевић, А., Исмаиловић, Ф., Пашић, О. (1990): *Материјали у машинству*, Глас, Бања Лука
10. Нађ, М. (1978): *Полимерни материјали избор, својства, примјена, конструкција и прерада*, Загреб
11. Pickering, S.J. (2006): *Recycling technologies for thermoset composite materials - current status*, Composites: Part A 37, 1206–1215
12. Xiang ,C., Sue, H.-J., Chu, J., Masuda, K. (2004): *Roles of additives in scratch resistance of high crystallinity copolymers*, Polymer Engineering and Science 41, 23–31
13. Yazdani, H., Morshediana, J., Khonakdar, H.A. (2006): *Effect of maleated polypropylene and impact modifiers on the morphology and mechanical properties of PP/Mica composites*, Polymer Composites 27, 614–620

## RESUME

For the preservation of the environment usage of recyclable materials, and more recently the combination of several of them is very important, as example of practice in the world. In this paper, it is shown that certain used materials, which are already partially separated from the total amount of waste, can be offered to the market with stable mechanical properties and can be used repeatedly.

Waste polypropylene, with the addition of different volume share (which corresponds to 30% by weight of glass powder) foreign material grain size less than 0.5 [mm] (granular compound), can be recycled without separation of components to six cycles and the observed characteristics it does not change, and lead to improving economic criteria.