

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Зоран Д. Јањуш

**УПРАВЉАЊЕ РЕЦИКЛАБИЛНИМ  
МАТЕРИЈАЛИМА ИЗ ЧВРСТОГ  
КОМУНАЛНОГ ОТПАДА**

докторска дисертација

Београд, 2012

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

Zoran D. Janjuš

**MANAGEMENT OF RECYCABLES  
FROM MUNICIPAL SOLID WASTE**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2012

## **КОМИСИЈА ЗА ПРЕГЛЕД И ОДБРАНУ:**

### **Ментор:**

Проф. др Александар Јововић, Универзитет у Београду, Машински факултет

### **Коментор:**

Проф. др Александар Петровић, Универзитет у Београду, Машински факултет

### **Чланови Комисије:**

Проф. др Србислав Генић, Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Радица Прокић-Цветковић, Универзитет у Београду, Машински факултет

Проф. др Нико Самец, Универзитет у Марибору, Машински факултет, Словенија

**Датум одбране:** . . 2012. год.

## ЗАХВАЛНОСТ

Подаци за први дио рада: број становника регије, просјечна плата број запослених преузети су од Републичког завода за статистику Републике Српске, а подаци везани за количине отпада пристигле на регионалну депонију добијени од Ј.П. "ДЕП-ОТ" Бања Лука, предузећа које управља депонијом.

Материјал кориштен за производњу епрувета за испитивање добијен је од П.П. "ДИТА" Бања Лука власника Драгана Кљајића, гдје је извршена производња епрувета и њихова прерада.

Већи дио испитивања материјала (затезањем, смицањем, савијањем, испитивање тврдоће и металографско испитивање) извршен је у лабораторији за испитивање материјала / производа „Орао“ А. Д. Бијељина, јануара 2010. год., док су испитивања притиском и ударом извршена у лабораторији Института за испитивање материјала и конструкција Републике Српске, Бања Лука, фебруара 2010. год.

Рад је настао послје трогодишњег истраживања на Машинском факултету Универзитета у Београду под руководством проф. Александра Петровића и проф. Александра Јововића.

Аутор се захваљује именованим професорима, те руководством и запосленим у наведеним предузећима, на несебичној помоћи при креирању и изради дисертације.

## УПРАВЉАЊЕ РЕЦИКЛАБИЛНИМ МАТЕРИЈАЛИМА ИЗ ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

### Резиме

Рад је конципиран тако да се састоји из двије засебне цјелине, од којих се прва састоји из једног, а друга из два дијела.

*У првом* дијелу рада приказана је анализа количина комуналног отпада у региону Бања Лука – Република Српска. Исказане су количине отпада са регионалне депоније у коју се слива комунални отпад из осам општина региона. Извршене су анализе промјена количина отпада у функцији промјене броја становника, националног дохотка и годишњег доба. На основу података и функционалних зависности представљених у раду може се у даљим анализама извршити процјена количина отпада у наредним годинама. Формиран модел би се могао примијенити и на регионе сличног степена развоја, географских и демографских карактеристика.

*У другом* - експерименталном дијелу рада вршено је мјерење механичких особина вишеструко прерађиваног отпадног полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 mm. Праћена је промјена механичких особина чистог полипропилена и полипропилена са додатком 5%, 10%, 15%, 20%, 25% и 30% масеног удјела стакленог праха кроз шест циклуса прераде. Извршена су испитивања затезањем, савијањем, смицањем, притиском, пузањем, ударом и испитивање тврдоће. На основу измјерених вриједности карактеристичних величина прерачунавањем су добијене вриједности напона и деформација.

*У трећем* дијелу рада анализирани су резултати добијени експерименталним путем, те су кориштењем методе најмањих квадрата формиране зависности промјене посматране величине (напона, издужења, деформације или тврдоће) у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха.

**Кључне речи:** Анализа, комунални отпад, продукција, прерада, механичке особине

**Научна област:** Машинство

**Ужа научна област:** Процесна техника, заштита животне средине

**УДК:** 628.4.03/.035(497.6)(043.3)

## MANAGEMENT OF RECYCABLES FROM MUNICIPAL SOLID WASTE

### **Abstract**

This paper consists of two separate parts, the first one consisting of one and the second one consisting of two parts.

The first part presents an analysis of communal waste amount in Banja Luka region, in the Republic of Srpska. Amounts of the waste from the regional landfill, into which the communal waste from eight municipalities in the region is being transported, are shown. Changes of waste amount have been analyzed in the function of changes in population, national income and season. Based on the data and functional dependencies presented in this paper, it is possible to estimate the amount of waste in future years, through further analysis. Formed model could be also applied in the regions with similar level of development, geographic and demographic characteristics.

In the second – experimental part of the paper, measuring of mechanical characteristics of multiple processed waste polypropylene filled with glass powder with granulation less than 0,5 mm was performed. Changes of mechanical characteristics of pure polypropylene and polypropylene with addition of 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of mass share of glass powder through six cycles of treatment were monitored. Research was carried out through tightening, bending, removing, pressing, crawling, stroking and hardness testing. Based on the measured values of characteristic parameters, values of voltage and deformities were obtained.

In the third part, the results obtained through experimental method were analyzed, and using the method of the least squares, change dependencies of the observed parameter were formed (voltage, elongation, deformity and hardness) in the function of processing cycles and share of glass powder.

**Keywords:** analysis, municipal waste, production, processing, mechanical properties

**Academic area:** mechanical engineering

**Major in:** processing techniques, environmental protection

**UDC:** 628.4.03/.035(497.6)(043.3)

## САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
<b>2. АНАЛИЗА КОЛИЧИНА КОМУНАЛНОГ ОТПАДА РЕГИЈЕ БАЊА ЛУКА, РЕПУБЛИКА СРПСКА, БОСНА И ХЕРЦЕГОВИНА.....</b>	<b>4</b>
2.1. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА ПРОДУКЦИЈЕ КОМУНАЛНОГ ЧВРСТОГ ОТПАДА.....	5
2.2. ОПИС РЕГИЈЕ И РЕГИОНАЛНЕ ДЕПОНИЈЕ - ЛОКАЦИЈЕ ЗА КОЈУ ЈЕ ВРШЕНО ИСПИТИВАЊЕ.....	6
2.3. ПРЕГЛЕД РЕЛЕВАНТНИХ ПОДАТАКА КОРИШТЕНИХ У АНАЛИЗИ КОЛИЧИНА ПРОДУКОВАНОГ ОТПАДА.....	9
2.3.1. Количина произведеног отпада регије.....	9
2.3.2. Доходак и број запослених становника регије.....	11
2.3.3. Број становника регије.....	13
2.4. ПРИЈЕДЛОГ НАЧИНА ПРОЦЈЕНЕ КОЛИЧИНЕ ОТПАДА.....	15
2.5. ПРОВЈЕРА МОДЕЛА.....	21
<b>3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДИО: ПРОМЈЕНА МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИПРОПИЛЕНА ПУЊЕНОГ СТАКЛЕНИМ ПРАХОМ.....</b>	<b>23</b>
3.1. МЕХАНИЧКА ИСПИТИВАЊА.....	25
3.2. УЗОРЦИ ЗА ИСПИТИВАЊА.....	27
3.3. МЕТАЛОГРАФСКА ИСПИТИВАЊА.....	32
3.4. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА.....	35
3.4.1. Резултати испитивања затезањем.....	35
3.4.2. Резултати испитивања смицањем.....	45
3.4.3. Резултати испитивања савијањем.....	50
3.4.4. Резултати испитивања тврдоће .....	54
3.4.5. Резултати испитивања пузањем.....	57
3.4.6. Испитивање притиском.....	62
3.4.7. Испитивање ударом.....	66

<b>4. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ФУНКЦИОНАЛНЕ ВЕЗЕ.....</b>	<b>71</b>
4.1. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ЗАТЕЗАЊЕМ.....	71
4.1.1. Обрада резултата испитивања затезне чврстоће.....	71
4.1.2. Обрада резултата издужења затезањем .....	78
4.1.3. Обрада резултата јединичне пластичне деформације затезањем.....	82
4.2. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА СМИЦАЊЕМ.....	88
4.3. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА САВИЈАЊЕМ.....	94
4.4. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ТВРДОЋЕ .....	100
4.5. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ПУЗАЊЕМ.....	106
4.6. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ПРИТИСКОМ.....	112
4.7. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА УДАРОМ .....	118
<b>5. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА.....</b>	<b>124</b>
5.1.ПРОЦЈЕНА ПРОДУКЦИЈЕ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА.....	124
5.2.ПРОМЈЕНА ЗАТЕЗНЕ ЧВРСТОЋЕ.....	126
5.3.ПРОМЈЕНА СМИЦАЈНЕ ЧВРСТОЋЕ.....	127
5.4.ПРОМЈЕНА САВОЈНЕ ЧВРСТОЋЕ.....	128
5.5.ПРОМЈЕНА ПРИТИСНЕ ЧВРСТОЋЕ.....	129
5.6.ПРОМЈЕНА ТВРДОЋЕ.....	130
5.7.ПРОМЈЕНА ЖИЛАВОСТИ.....	131
5.8.ПРОМЈЕНА ИЗДУЖЕЊА (ЗАТЕЗАЊЕ).....	132
5.9.ПРОМЈЕНА ЈЕДИНИЧНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ (ЗАТЕЗАЊЕ).....	133
5.10.ПРОМЈЕНА ЈЕДИНИЧНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ (ПУЗАЊЕ).....	134
5.11.УПОРЕДНИ ПРИКАЗ МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА.....	135
<b>6. ЗАКЉУЧАК.....</b>	<b>136</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>138</b>
<b>ПРИЛОГ 1: ПОТВРДА О УСТУПАЊУ ПОДАТАКА</b>	
<b>Од Ј.П. „ДЕП - ОТ“.....</b>	<b>144</b>
<b>ПРИЛОГ 2: ПОТВРДА О ПРОВЕДЕНИМ</b>	
<b>ИСПИТИВАЊИМА У „ОРАО“ А.Д.....</b>	<b>145</b>



<b>ПРИЛОГ 3: ПОТВРДА О ПРОВЕДЕНИМ ИСПИТИВАЊИМА У „ИМК РС“ .....</b>	<b>146</b>
<b>ПРИЛОГ 4: ПОТВРДА О ОБЈАВИ РАДА У „ТТЕМ-у“ – Сарајево.....</b>	<b>147</b>
<b>БИОГРАФИЈА АУТОРА.....</b>	<b>148</b>
<b>ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ.....</b>	<b>149</b>
<b>ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА.....</b>	<b>150</b>
<b>ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ.....</b>	<b>151</b>

## 1. УВОД

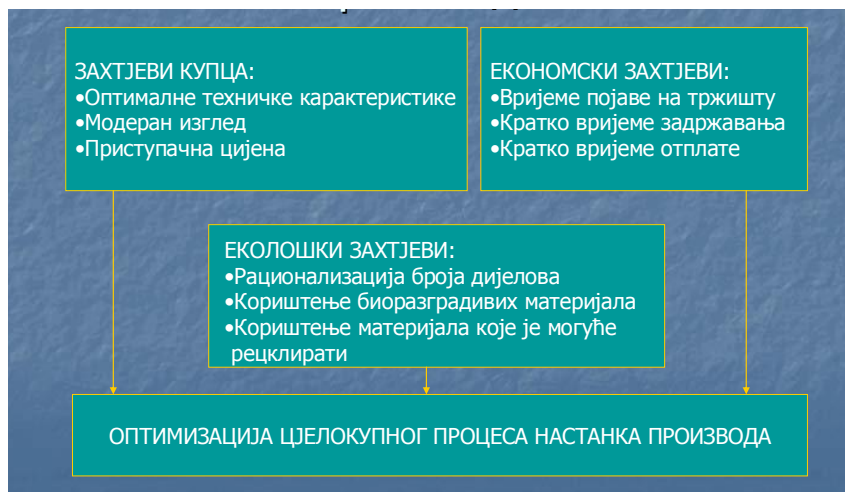
Прошли вијек је обиљежен изузетно брзим развојем свих грана индустрије. Напретком технологије повећавале су се људске потребе за различитим врстама производа. То је довело до велике и неконтролисане експлоатације сировина (слика 1.1.) [36].



Слика 1.1. Карактеристике тржишта

Данас, у потрошачком друштву, карактеристично је да се производ мијења новим, модернијим, функционалнијим и естетски допадљивијим, и прије истека његовог експлоатационог вијека. Између осталог, карактеристичан примјер су мобилни телефони које корисници мијењају новим због мање модерног изгледа мада су још увијек исправни.

Да би се добио нов производ задовољавајућих техничких карактеристика, допадљивог изгледа, потребног (по правилу кратког) вијека трајања на тржишту и ниске цијене, потребно је оптимизирати све фазе од његове креације до настанка и продаје (слика 2.1.).



Слика 1.2. Захтјеви тржишта

Једна од мјера оптимизације је и употреба јефтинијих техничких материјала међу којима у задњих деценија предњаче пластичне масе. Као технички материјал појавиле су се у првој половини прошлог вијека. Њихова употреба има сталан тренд раста. До данас, ни за један други материјал није забиљежен тако брз развој захваљујући изузетно повољном односу карактеристике – квалитет – цијена и чињеници да се карактеристике пластичних маса могу лако прилагодити различитим експлоатационим захтјевима, као и релативно једноставним поступцима обраде.

Карактеристика савременог друштва је и велика количина комуналног отпада. Свакако, тренд раста производње прати и тренд раста комуналног отпада. Забрињава чињеница да се велике количине отпадних материјала налазе одложене мимо мијеста предвиђених за одлагање отпада те да је у многим срединама слабо или никако организован систем управљања отпадом.

Посебан проблем за животну средину представљају материјали који имају изузетно дуг период распада и бионерзградиви материјали, па представљају загађиваче природе дужи временски период. Приликом креирања производа не треба занемарити чињеницу да је његов експлоатациони вијек ограничен и да ће се кад-тад наћи на депонији за одлагање отпада. Значајно мјесто на депонијама имају и производи израђени од пластичних маса [22].

Последњих година, путем пропаганде и апела еколошких организација, расте свијест грађана и друштва у цјелини за очување животне средине. Поред

овога пораст цијена сировина и енергије захтијева нови приступ креирања производа, избора материјала, вијека трајања и посебно прописивања мјера које се предузимају када производ дотраје.

Важан податак за организовање било каквог система управљања отпадом је процјена количине продукције. У раду је приказан један од начина процјене динамике продуковања отпада. Као релевантни подаци кориштени су број становника, доходак и количина комуналног отпада у бањалучкој регији.

Такође експерименталним путем истражена је могућност поновне употребе неких отпадних материјала без претходне селекције. Обрађена могућност поновне употребе полипропилена рециклирањем уз додатак стакленог праха, са становишта промјене механичких карактеристика. Испитиване су стандардне епрувете, основног материјала полипропилена (чистог) и уз додатак 5%, 10%, 15%, 20%, 25% и 30% стакленог праха гранулације мање од 0,5mm, као и секундарних материјала кроз шест циклуса прераде. Извршено је мјерење величина карактеристичних за изведена испитивања механичких карактеристика. Сврха је да се полимерни отпад прикаже као сировина или на други начин искористљив материјал добијен дјелимичним раздвајањем комуналног отпада.

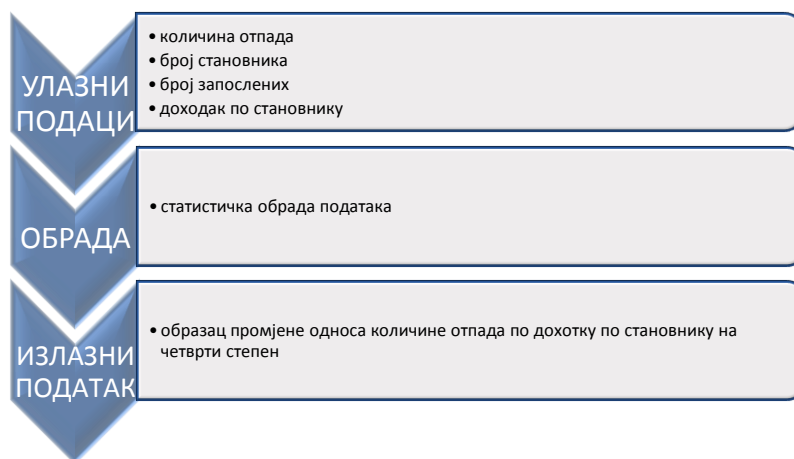
## **2. АНАЛИЗА КОЛИЧИНА КОМУНАЛНОГ ОТПАДА РЕГИЈЕ БАЊА ЛУКА, РЕПУБЛИКА СРПСКА, БОСНА И ХЕРЦЕГОВИНА**

Напредак модерне цивилизације и припадајуће повећање популације широм свијета има битан допринос повећању количине и разноликости генерисаног отпада [65]. Пратећи тренд брзог привредног развоја и раста становништва, а због своје кључне улоге у заштити животне средине и јавног здравља, остварење ефикасног управљања комуналним чврстим отпадом би требао бити приоритет градова у земљама у развоју [40]. У густо насељеним урбаним центрима управљање комуналним чврстим отпадом је од највећег значаја за стварање здравог окружења за људе [2].

Систем управљања комуналним чврстим отпадом у земљама у развоју носи се са многим тешкоћама, укључујући ниско техничко искуство и ниска финансијска средства која често могу покрити само трошкове прикупљања и транспорта, при чему се остаје без средстава за сигурно коначно одлагање [10]. Неправилно управљање комуналним чврстим отпадом приказано је од стране многих истраживача у различитим градовима земаља у развоју [5,9,54]. Неадекватно управљање чврстим отпадом у већини градова земаља у развоју води до проблема који доприносе далекосежном загађењу животне средине, те нарушавају људско здравље и на крају могу довести до економских, еколошких и биолошких губитака [14,54].

## 2.1. ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА ПРОДУКЦИЈЕ КОМУНАЛНОГ ЧВРСТОГ ОТПАДА

За успостављање одрживог система управљања комуналним отпадом неопходно је извршити детаљну анализу његове продукције и морфолошког састава. Истраживање продукције комуналног отпада има за циљ да се на бази релевантних подака изврши процјена очекиваних количина у будућности. Количине продукованог комуналног отпада основни су податак за избор стратегије управљања отпадом. Релевантни подаци кориштени у формирању модела су количина комуналног чврстог отпада, број становника, број запослених становника и просјечан доходак за посматрану регију у посматраном периоду (слика 2.1.).



Слика 2.1. Приказ плана обраде података

Процјена продукованих количина комуналног чврстог отпада вршена је за бањалучку регију, која је најразвијенија у Републици Српској и међу најразвијенијим у Босни и Херцеговини, те има сличне географске и демографске карактеристике многим регијама у свијету. Истраживање има шири значај, јер ће понудити релевантне податке употребљиве за регије у земљи и окружењу које имају сличан степен развоја. Правилан избор стратегије управљања комуналним чврстим отпадом понудиће рјешења проблема знатних количина отпада које се одлажу на депонију без икакве поновне употребе, заштите животне средине, потенцијалне угрожености здравља људи и донијети економске ефекте поновном прерадом рециклабилних материјала.

## 2.2. ОПИС РЕГИЈЕ И РЕГИОНАЛНЕ ДЕПОНИЈЕ - ЛОКАЦИЈЕ ЗА КОЈУ ЈЕ ВРШЕНО ИСПИТИВАЊЕ

Регија Бања Лука, у којој је вршено истраживање, је подручје које обухвата осам општина: Бања Луку, Лакташе, Градишку, Србац, Прњавор, Котор Варош, Кнежево и Челинац, укупно 4 718 km<sup>2</sup> што чини око 19% територије Републике Српске. Податке везане за број становника регије води Републички завод за статистику Бања Лука [62]. Укупни отпад ових осам општина се редовно одвози и депонује на регионалној депонији.

Депонијом газдује Ј.П. "ДЕП-ОТ" Бања Лука. Лоцирана у сјеверозападном дијелу Бања Луке, на удаљености од око 150 m од пута Бања Лука – Приједор, и око 10 km од центра града.



Слика 2.2. Отпад мјешовитог карактера



Слика 2.3. Плато за издвајање корисних сировина

Отпад се на предметној локацији одлаже 30 година. Уколико би се изградило постројење за сепарацију, количина отпада би се смањила за 40%, чиме би се и вијек депоније са предвиђених 20 година продужио за још 8 година. Предвиђена је за одлагање комуналног и индустријског неопасног отпада. У фази је трансформације у санитарну депонију. Тренутни начин управљања отпадом се састоји у прихватању доведеног отпада, вагању, прегледу врсте отпада, евидентирању, обради, мануелном издвајању корисних сировина, одлагању, компактовању и прекривању отпада (слике бр. 2.2. до 2.5.).

Поновна употреба отпада и рециклажа нису организоване у региону иако постоје могућности.



Слика 2.4. Припрема терена за одлагање отпада



Слика 2.5. Прекривени отпад

На многим мјестима, у људским дјелатностима, у свакодневном животу одбацују се материјали који се не сматрају употребљивим у одређеним процесима рада. Анализом одбаченог чврстог материјала може се утврдити да се ту налазе најразличитије материје по врсти, количини и саставу, како хемијском тако и физичком. Неки од тих материјала могу се поново користити у друге сврхе, директно или додатном обрадом као материјал, сировина за материјал или енергент [41]. Да би се ти материјали поново користили морају се, најчешће, прво одвојити од других материјала. Значајне количине отпадних материјала налазе се измјешане (контејнер за мјешовити отпад приказан на слици бр. 2.6.) и одложене мимо мјеста предвиђених за одлагање отпада.

У савременом свијету, а у новије вријеме и код нас, проблем сакупљања комуналног отпада рјешава се на три начина:

- у улицама се постављају контејнери са јасним ознакама врсте отпада (слика бр.2.7.),
- свако домаћинство добија амбалажу за поједину врсту отпада и
- организују се прихватни центри са стручним лицима, којима грађани предају свој отпад (за посебне токове отпада из домаћинства: опасан отпад из домаћинства, крупни отпад и сл.).





Слика 2.6. Контејнери за мјешовити отпад

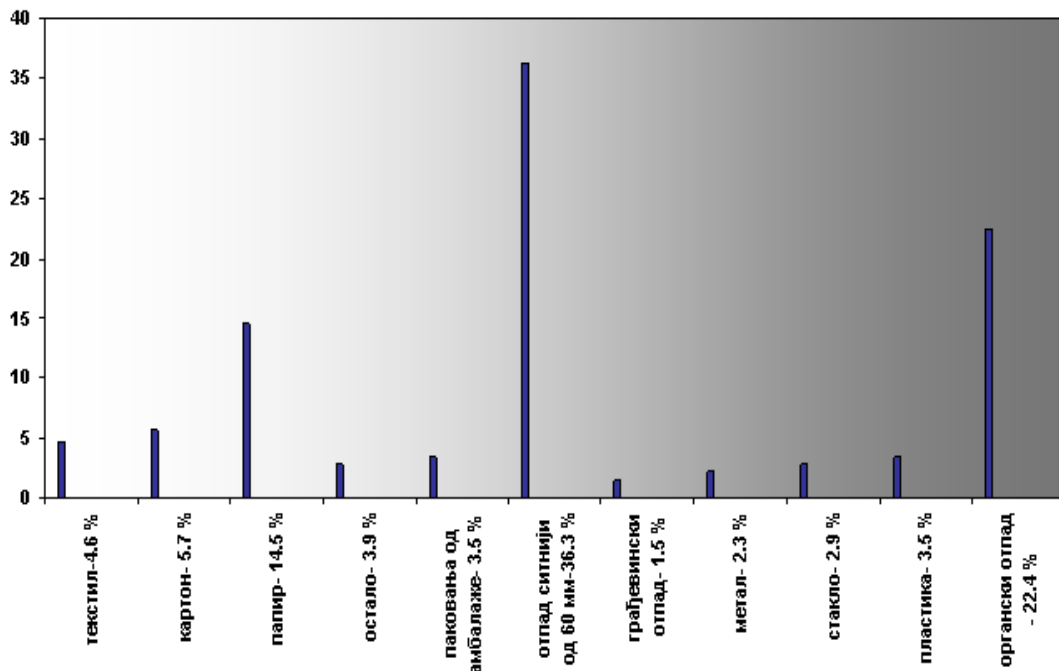


Слика 2.7. Контејнери за селекционисани отпад

Под појмом раздвајања чврстог отпада, подразумијева се одвајање и сортирање одбачених материјала по врсти и саставу. Анализом врста искористивог отпада које се појављују као комунални или други отпад настао у привредној дјелатности ове регије издваја се: папир, стакло, метал, полимерни материјали, кожа, текстил, гума, дрвни отпад, остаци и отпаци хране.

Тренутно кориштење отпадних материја у привреди регије је занемариво.

Састав комуналног чврстог отпада бањалучке регије је приказан на слици бр. 2.8. [18]. Средње вриједности густине испитиваног продукваног комуналног отпада износи  $200 \text{ kg/m}^3$ , влажност се креће у границама од 40 – 60 % [18].



Слика 2.8. Састав отпада регије

### **2.3. ПРЕГЛЕД РЕЛЕВАНТНИХ ПОДАТАКА КОРИШТЕНИХ У АНАЛИЗИ КОЛИЧИНА ПРОДУКОВАНОГ ОТПАДА**

Спровођењем ове анализе и прегледом у свијету вршених, доступних анализа, може се закључити да међу основне податке за процјену продукције комуналног чврстог отпада неког подручја спадају:

1. Анализа коичина отпада произукованих у претходном периоду
2. Специфичност положаја – географска и климатска,
3. Степен економског развоја – доходак по становнику и
4. Демографска слика – наталитет и миграције.

#### **2.3.1. Количина произукованог отпада регије**

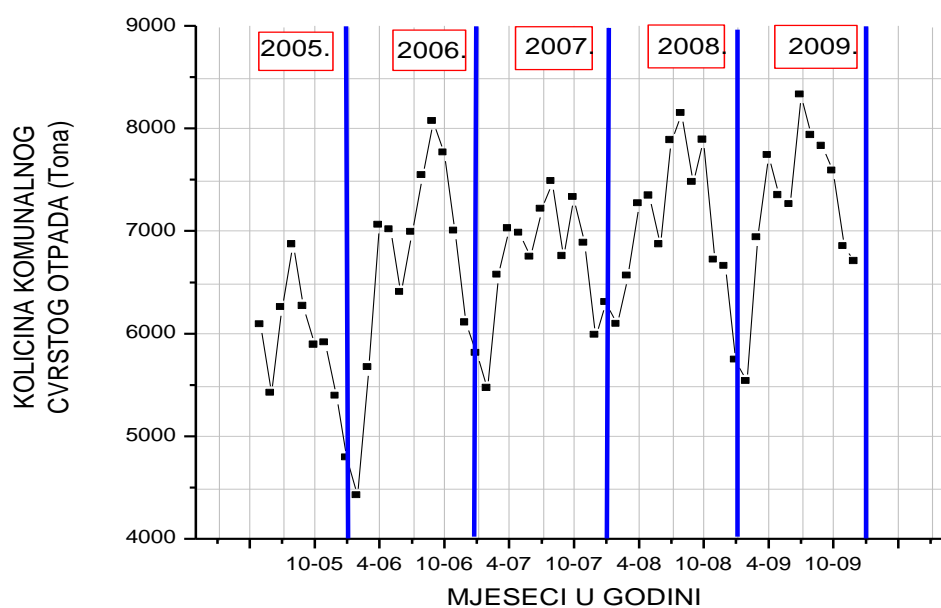
Произукција комуналног отпада бањалучке регије у периоду од половине 2005. год. до краја 2009. год. (од половине 2005. год. води се евиденција) приказана је табелом бр. 2.1. и графички, на слици бр.2.9. (подаци преузети из службе за евидентирање количина отпада пристиглих на депонију Ј.П. "ДЕП-ОТ" Бања Лука). Произукција чврстог отпада има сталан тренд раста уз стагнацију у другој половини 2009. год. У току једне године раст количине се биљежи током љетног периода, а пад током зимских мјесеци.

Нагли пораст количине током 2006. год. везан је за санирање дивљих депонија на подручју регије, то јест пристизањем на регионалну депонију количина које нису везане за редовну производњу комуналног чврстог отпада, па се њихов утицај треба искључити у анализи. Дневна производња (d) комуналног отпада по становнику (s) кретала се од 0.4 kg/(sd) у јуну 2005. год. до 0.48 kg/(sd) у децембру 2008. год., што је испод просјека у поређењу са доступним подацима за поједине регионе у окружењу (Регон: Шабац, Богатић, Владимирци, Крупањ, Лозница и Мали Зворник 0.73 kg/(sd) [17], Београд 1.00 kg/(sd) [11]), поједине земље Европе (Холандија 1.71 kg/(sd), Аустрија 1.72 kg/(sd), Њемачка 1.64 kg/(sd), Белгија 1.28 kg/(sd), Шведска 1.27 kg/(sd), Данска 1.91 kg/(sd), Луксембург 1.83 kg/(sd), Шпанија 1.81 kg/(sd), Италија 1.47 kg/(sd), Финска 1.25 kg/(sd), Француска 1.55 kg/(sd), Велика Британија 1.64 kg/(sd), Грчка 1.19 kg/(sd), Португалија 1.19 kg/(sd) и Ирска 2.38 kg/(sd) [11]) или неке регионе у свијету (у Калкоти (Индија) генерише се 0.632 kg/d [15], Дензил (Турска) 1.23 kg/(sd) [2], у Кувајту 1.4kg/(sd)

УАЕ 1.2kg/(sd) Бахреин 1.3kg/(sd), Оман 0.7 kg/(sd), Египат 0.81 kg/(sd), Сирија 0.33 kg/(sd), Тунис 0.41 kg/(sd), Мароко 0.33 kg/(sd), Јордан 0.6 kg/(sd) [4]. Прегледом приказаних података потврђује се да развијеније земље и региони продукују више комуналног отпада по глави становника.

Табела 2.1. Продукција чврстог комуналног отпада

ПРОДУКЦИЈА ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА (Тона)					
Мјес./год.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.
Јануар	-	4782	5801	6296	5738
Фебруар	-	4413	5462	6086	5529
Март	-	5661	6564	6557	6926
Април	-	7052	7019	7260	7731
Мај	6081	7004	6975	7339	7342
Јун	5414	6394	6741	6861	7252
Јул	6250	6979	7206	7879	8320
Август	6864	7534	7477	8140	7926
Септембар	6262	8063	6746	7467	7819
Октобар	5884	7757	7319	7880	7581
Новембар	5902	6995	6875	6709	6842
Децембар	5385	6102	5977	6649	6698



Слика 2.9. Количина произведеног комуналног чврстог отпада регије Бања Лука за посматрани период

### 2.3.2. Доходак и број запослених становника регије

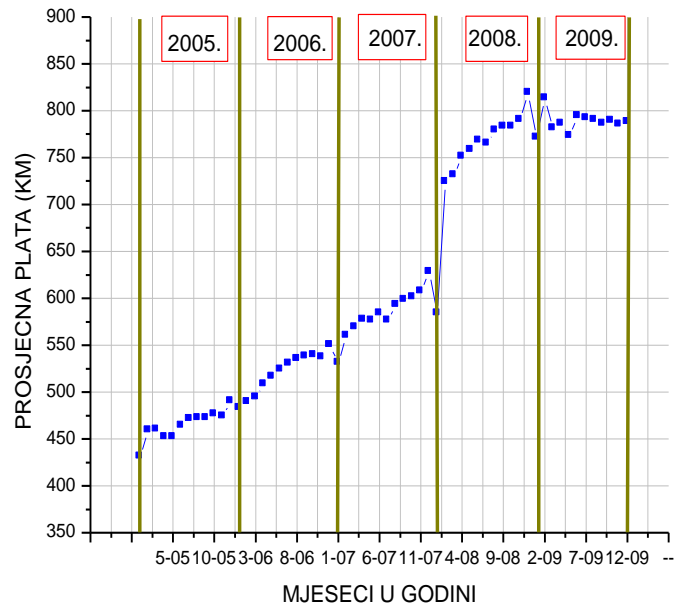
Доходак кроз посматрани период биљежи раст до 2009. год. а током године стагнацију. Поремећај динамике раста дохотка узрокован је свјетском економском кризом, што је приказано табелом бр. 2.2. и графички на сликама бр.2.10. и бр.2.11. [61]. Посматрано током године пад се јавља само у јануару, што је вјероватна (за земље у развоју може бити и последица исплаћених већих зарада у децембру пред новогодишње празнике) последица већег броја нерадних - празничних дана.

Табела 2.2. Просјечна зарада запослених у посматраном периоду

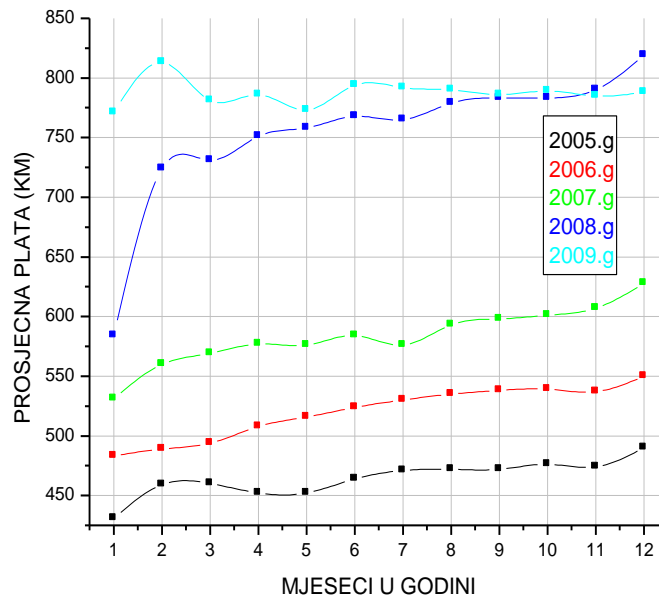
ПРОСЈЕЧНА ЗАРАДА ЗАПОСЛЕНИХ (КМ)					
Мјес./год.	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.
Јануар	431	483	531	584	771
Фебруар	459	489	560	724	813
Март	460	494	569	731	781
Април	452	508	577	751	786
Мај	452	516	576	758	773
Јун	464	524	584	768	794
Јул	471	530	576	765	792
Август	472	535	593	779	790
Септембар	472	538	598	783	786
Октобар	476	539	601	783	789
Новембар	474	537	607	790	785
Децембар	490	550	628	819	788

Гдје је (у табели бр. 2.2. кориштена скраћеница):

КМ – конвертибилна марка, национална валута Босне и Херцеговине, са односом према еврџу: 1евро = 1,95 КМ



Слика 2.10. Просјечна зарада запослених у посматраном периоду



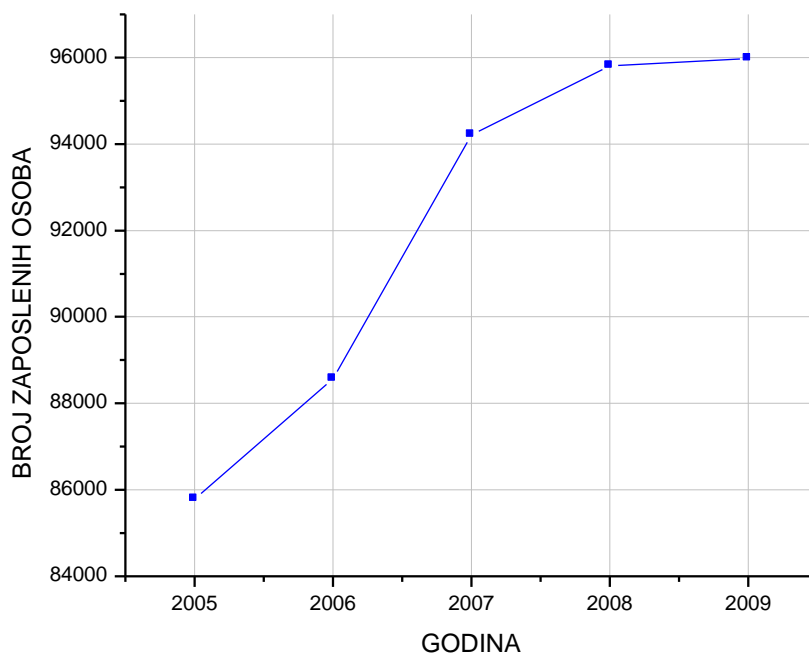
Слика 2.11. Упоредни приказ просјечне зараде запослених у посматраном периоду

Посматрајући слику бр. 2.9. и слику бр. 2.10. уочава се да количина комуналног чврстог отпада расте истовремено са повећањем дохотка.

Тренд промјене броја запослених лица у регији за посматрани период приказан је табелом бр. 2.3. и графички сликом бр. 2.12. [62].

Табела 2.3. *Проmjена броја запослених лица у регији  
у посматраном периоду*

<b>ЗАПОСЛЕНИ РЕГИЈЕ ПО ГОДИНАМА</b>				
<b>2005.</b>	<b>2006.</b>	<b>2007.</b>	<b>2008.</b>	<b>2009.</b>
85790	88570	94211	95810	95974



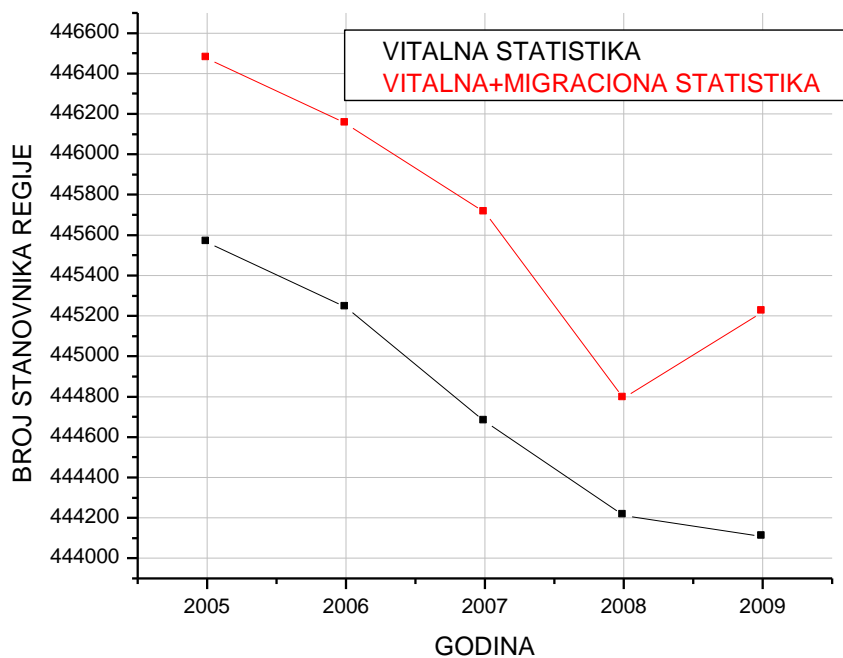
Слика 2.12. *Проmjена броја запослених лица у  
регији у посматраном периоду*

### 2.3.3. Број становника регије

Број становника регије укључујући виталну и миграциону статистику [62] укупно се није мијењао више од 0.36% кроз посматрани временски период (табела бр. 2.4 и слика бр. 2.13.) те се може сматрати приближно константним и закључити да повећање продукције комуналног чврстог отпада није узроковано промјеном броја становника.

Табела 2.4. Промјена броја становника регије у посматраном периоду

БРОЈ СТАНОВНИКА РЕГИЈЕ ПО ГОДИНАМА					
ВРСТА СТАТИСТИКЕ	2005.	2006.	2007.	2008.	2009.
ВИТАЛНА	445565	445241	444677	444212	444106
ВИТАЛНА + МИГРАЦИОНА	446475	446151	445712	444793	445220



Слика 2.13. Промјена броја становника регије у посматраном периоду

Промјена броја становника регије пропорционално је распоређена по мјесецима у току године.

## 2.4. ПРИЈЕДЛОГ НАЧИНА ПРОЦЈЕНЕ КОЛИЧИНЕ ОТПАДА

Искључењем утицаја количина допремљених са дивљих депонија из укупне количине опада (период јули – октобар 2006. год.) пратећи тренд промјене за посматрани мјесец кроз године (функције описане обрасцима у табели бр. 2.5.), регресионом методом добијају се количине отпада прикупљеног редовним одвозом, приказано на слици бр. 2.14.

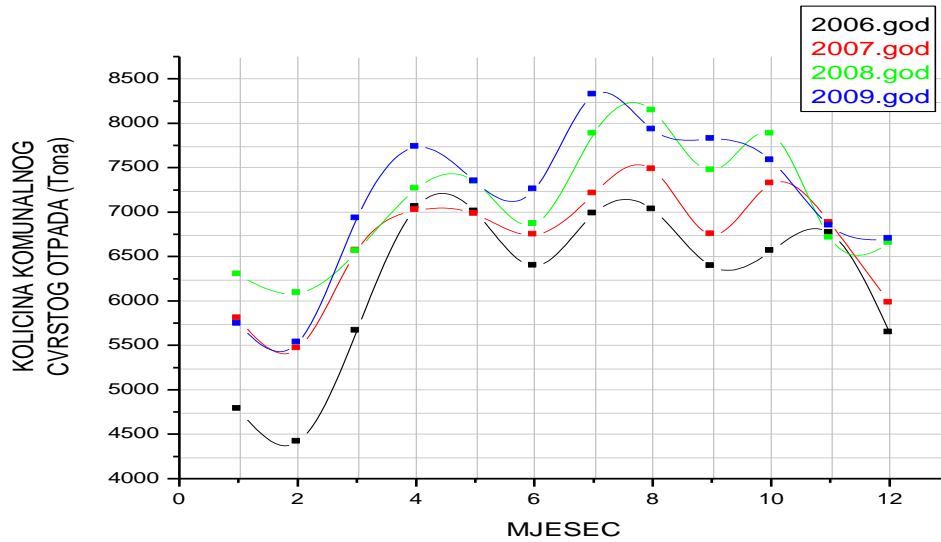
Табела 2.5. Количине отпада добијених редовним одвозом

Мјесец	Образац промјене: $Q_{\text{мјес}} = f(\text{год.})$	$Q_{\text{мјес. 2006.g.}}$ (t)	Коеф. кр. корел. $r^2$	Ср. кв. одст. $\sigma^2$
Август	$Q_{\text{ксо}} = 6891.0966 + 47.128709 \cdot G^3 - 32.703815 \cdot e^G$	7026,48	0.99847451	243394,9
Септембар	$Q_{\text{ксо}} = 6249.0286 + 33.,626436 \cdot G^3 - 17.710687 \cdot e^G$	6387,18	0.99669771	369576,3
Октобар	$Q_{\text{ксо}} = 5518.5638 + 412.77079 \cdot G^{1.5} - 17.202789 \cdot e^G$	6558,94	0.99999857	528726,6
Новембар	$Q_{\text{ксо}} = 6296.4078 + 1235.8005 \cdot G^{0.5} - 1628.7331 \cdot G^2$	6763,07	0.97441439	128289,2
Децембар	$Q_{\text{ксо}} = 5256.3757 + 112.85633 \cdot G^2 - 9.1769554 \cdot e^G$	5639,99	0.98114148	274012,7

гдје су:

- $G$  – година за коју је узета вриједност количине комуналног отпада посматраног мјесеца, са  $0$  је замњена прва посматрана година а то је 2006 (0-2006.), и тако редом 1-2007., 2-2008. и 3-2009., итд.,
- $Q_{\text{мјес.2006.g.}}$  – рачунска вриједност количине комуналног отпада за мјесеце од августа до децембра 2006. год. гдје су искључене количине отпада са дивљих депонија,
- $r^2$  – коефицијент криволинијске корелације (објашњава у којој мјери су полазни резултати описани апроксимативним),
- $\sigma^2$  – средње квадратно одступање.





Слика 2.14. Упоредни приказ количина произведеног комуналног чврстог отпада регије за посматрани период

За посматрани период (2006-2009) извршено је прерачунавање [39] укупне количине комуналног чврстог отпада ( $Q$ ) за посматрани мјесец свођењем на количину комуналног чврстог отпада по становнику ( $sd$ ) (1).

$$Q_m = \frac{Q}{sd} \quad (1)$$

гдје су:

- $Q$  [kg] - укупна количина комуналног чврстог отпада у текућем мјесецу,
- $s$  - укупан број становника

Означи ли се прерачуната вриједност количине отпада сведена на доходак по глави становника на четврти степен са  $V$ , количина отпада по становнику за посматрани мјесец са  $Q_m$  [kg/sd] и доходак по глави становника на месечном нивоу  $D_s$  [KM/sd], даља обрада података подразумијева прерачунавање количине комуналног чврстог отпада по становнику ( $Q_m$ ) дијелењем са дохотком по становнику ( $D_s$ ) на четврти степен (2). Може се писати [39]:

$$V_m = 10000 \cdot \frac{Q_m}{D_s^4}, \quad \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{sd}^3}{\text{KM}^4} \right] \quad (2)$$

гдје су:

- $D_s$   $\left[ \frac{\text{KM}}{\text{sd}} \right]$ , доходак по становнику ( $\text{KM}$  – конвертибилна марка, национална валута Босне и Херцеговине, са односом према еврју: 1euro = 1,95 KM),
- $V$   $\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{sd}^3}{\text{KM}^4} \right]$ , сведена вриједност

Подаци представљени на дијаграмима слике бр. 2.9. до 2.14. су обрађени примјеном једначине (2) те је формирана нова база података која се користи у даљој анализи (табела бр. 2.6.) [39].

Табела 2.6. Промјена односа  $V$  – статистички подаци

Мјесец	Промјена: $V_{(mes, god)} = 10000 Q_m / D_s^4$ [kg·sd <sup>3</sup> /KM <sup>4</sup> ]				
	0 - 2006.g.	1 - 2007.g.	2 - 2008.g.	3 - 2009.g.	4 - 2010.g.
1.	1.428	1.031	0.605	0.170	0.163
2.	1.240	0.768	0.246	0.132	0.156
3.	1.511	0.848	0.253	0.194	0.206
4.	1.666	0.839	0.250	0.211	0.203
5.	1.537	0.822	0.242	0.214	0.209
6.	1.305	0.737	0.214	0.190	
7.	1.347	0.815	0.248	0.220	
8.	1.292	0.693	0.237	0.212	
9.	1.136	0.597	0.211	0.213	
10.	1.146	0.588	0.222	0.204	
11.	1.186	0.571	0.181	0.187	
12.	0.889	0.408	0.154	0.181	

Анализирајући промјену односа  $V$  кроз мјесеце за посматране године [39] примјеном методе најмањих квадрата је утврђено да вриједности  $V$  довољно добро апроксимира експоненцијална функција (3)

$$y(s, x) = a_s + b_s \cdot e^{-x} \quad (3)$$

Метода најмањих квадрата заснива се на начелу да су најбољи они параметри  $a, b, \dots$ , за које је сума квадрата разлика између експерименталних вриједности  $y_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$  и израчунатих вриједности  $f(x, a, b)_i$  минимална.

Примјеном функционалне везе (3) на податке наведене у овом раду добија се:

$$V_{apr(mes, god)} = a_{mes} + b_{mes} \cdot e^{-god}, \quad \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{sd}^3}{\text{KM}^4} \right] \quad (4)$$

гдје су:

- $V_{apr}$  – вриједност  $V$  добијена апроксимацијом

- *god* – година за коју се израчунава  $V$ , са 0 је замијењена прва посматрана година а то је 2006. (0-2006.), и тако редом 1-2007., 2-2008. и 3-2009, итд.
- *mes* – мјесец за који се израчунава  $V$  од 1-јануара до 12-децембра,
- *a, b* – коефицијенти добијени апроксимацијом.

Функционална зависност (4) је универзалног карактера за посматрани регион и омогућава праћење промене вриједности  $V_m$  у току једне године. Исти образац (2) се користи и за одређивање вриједности  $V_m$  у другим годинама које су анализирани (2006 - 2009).

Добро слагање резултата добијених апроксимацијом (средња квадратна гешка  $\sigma^2 < 0.081249$  и коефицијент криволинијске корелације  $r^2 > 0,9046999$ ) омогућава да се примијењени образац (4) може примјенити и на године у будућности за које још не постоје статистички подаци и подаци са терена. Овом методологијом могу се са великом сигурношћу процијенити количине комуналног чврстог отпада у долазећим годинама што може да послужи као добар полазни податак за планирање изградње постројења за одлагање и прераду комуналног чврстог отпада. Коефицијенти  $a$  и  $b$  су представљени табелом бр. 2.7.

Табела 2.7. Проказ функције промјене и коефицијената

Мјесец	Замј. вриј.	Образац промјене $V_{apr(mes, god)}$		Коеф. кр. корелац.	Ср. кв. одст.
		$V_{apr}(mes, god) = a(mes) + b(mes) \cdot e^{-god}$			
		<b>a</b>	<b>b</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b><math>\sigma^2</math></b>
Јануар	1	0.2834402	1.2593247	0.86319486	0.181164
Фебруар	2	0.14488612	1.1570014	0.94574789	0.15292
Март	3	0.16417523	1.394734	0.96768305	0.222219
Април	4	0.1470589	1.549005	0.98258911	0.274096
Мај	5	0.16118932	1.4127033	0.97471986	0.227981
Јун	6	0.14463778	1.20241	0.96019917	0.165159
Јул	7	0.18717709	1.2112649	0.94488282	0.167601
Август	8	0.15590462	1.1653029	0.97588968	0.155123
Септембар	9	0.14827522	1.0072681	0.9789852	0.115901
Октобар	10	0.14406915	1.0193996	0.98482122	0.11871
Новембар	11	0.10704044	1.0933646	0.98478181	0.136561
Децембар	12	0.10225579	0.78751926	0.98633594	0.070847

Овим се добија могућност да се избором године аутоматски добије вриједност посматране величине за изабрани мјесец са задовољавајућом тачношћу за четири посматране године, као и процјену за три наредне године (табела бр. 2.8.). Избором односа  $V_{apr(mes, god)}$  за одређени мјесец у години нпр. октобар 2012. год.  $V_{apr(ОКТ., 2012.)} = 0.147$  (табела бр. 2.8.), кориштењем очекиване вриједности дохотка по становнику и уврштавањем у образац (4), добија се количина комуналног отпада за посматрани мјесец у години по становнику. Множењем са очекиваним бројем становника регије добија се количина комуналног чврстог отпада која би требала бити произведена на нивоу регије у октобру 2012. год.

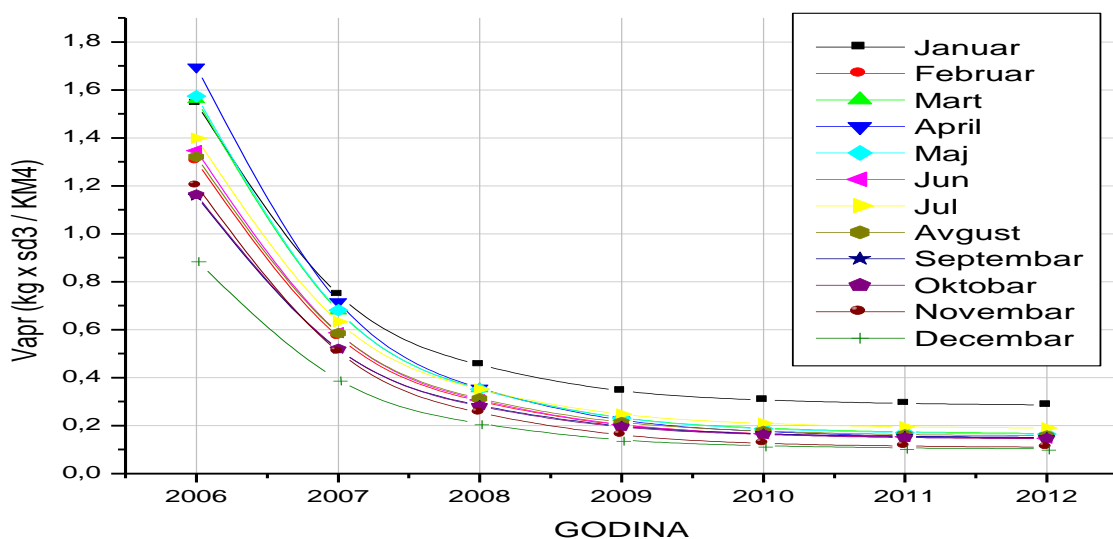
Табела 2.8. Промјена односа количине отпада по дохотку по становнику – рачунска вриједност

Мјесец	Промјена: $V_{apr(mes, god)} = 10000 Q_m / D_s^4, [kg \cdot sd^3 / KM^4]$						
	0 - 2006.g.	1 - 2007.g.	2 - 2008.g.	3 - 2009.g.	4 - 2010.g.	5 - 2011.g.	6 - 2012.g.
1.	1.543	0.747	0.454	0.346	0.307	0.292	0.287
2.	1.302	0.571	0.302	0.203	0.166	0.153	0.148
3.	1.559	0.677	0.353	0.234	0.190	0.174	0.168
4.	1.696	0.717	0.357	0.224	0.175	0.158	0.151
5.	1.574	0.681	0.352	0.232	0.187	0.171	0.165
6.	1.347	0.587	0.307	0.205	0.167	0.153	0.148
7.	1.398	0.633	0.351	0.248	0.209	0.195	0.190
8.	1.321	0.585	0.314	0.214	0.177	0.164	0.159
9.	1.156	0.519	0.285	0.198	0.167	0.155	0.151
10.	1.163	0.519	0.282	0.195	0.163	0.151	0.147
11.	1.200	0.509	0.255	0.161	0.127	0.114	0.110
12.	0.900	0.392	0.209	0.141	0.117	0.108	0.104

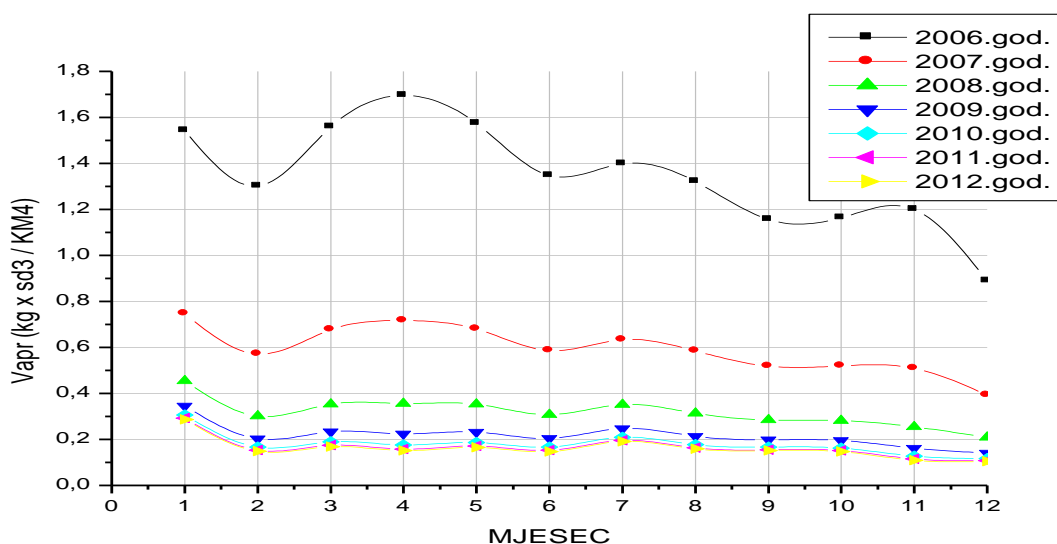
Графички приказ промјене односа  $V_{apr(mes, god)}$  за посматрани период по мјесецима за посматрану годину и по годинама за посматрани мјесец илустрован је сликама бр. 2.15. и бр. 2.16.

На слици бр. 2.15. се види да однос  $V_{apr(mes, god)}$  опада по годинама када је доходак по становнику (а с њим и количина произведеног отпада) растао, тј. за период од 2006. год. до 2009. год., а да је приближно константан за период 2009. год. до 2010. г. када доходак по становнику стагнира. Израчунати подаци за период 2010. год. до 2012. год. нуде могућност процјене продукције отпада уз услов да се у

посматраном периоду битно не измијени демографска или економска слика регије.



Слика 2.15. Приказ промјена  $V_{apr(mes, god)}$  за посматрани мјесећ по годинама



Слика 2.16. Приказ промјене  $V_{apr(mes, god)}$  за посматрану годину по мјесецима

Из графичког приказа уочљив је пад вриједности  $V_{apr(mes, god)}$  са повећањем количине комуналног отпада, дохотка и броја запослених особа у регији. Такође, уочава се да је пад вриједности мањи за године када се вриједност дохотка и броја запослених особа није битно мијењала. Претпоставка је да ће се сличан тренд промјене посматраних величина наставити за неколико наредних година, што би дало могућност употребе добијених образаца без корекције.

## 2.5. ПРОВЈЕРА МОДЕЛА

На бази статистичких података за 2010.год извршиће се провјера поузданости модела. Подаци просјечног личног дохотка преузети су од Републичког завода за статистику Републике Српске, док су подаци за број становника регије ( $S_{god}$ ) образац (5) и број запослених ( $Z_{god}$ ) образац (6) добијени прорачуном на бази промјене истих у претходном периоду.

$$S_{god} = 44654915 - 703.62345 G^2 + 308.11804 G^{2.5} \quad (r^2=0.9370901) \quad (5)$$

$$Z_{god} = 85243431 + 48688702 \cdot G - 268.24171 \cdot G^{2.5} \quad (r^2=0.97045297) \quad (6)$$

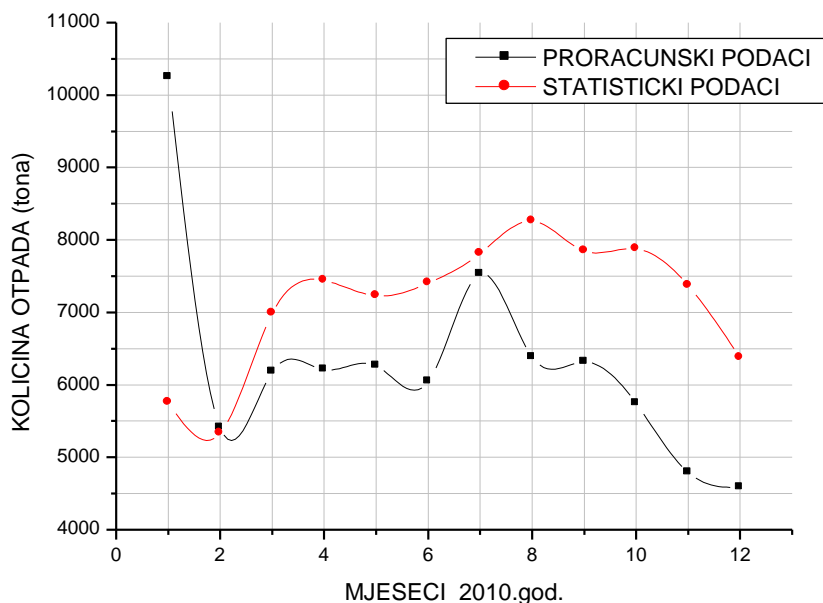
Кориштењем истог објашњења као за образац (4) те замјеном у обрасцима (5) и (6) величине  $G$  (посматрана година) бројем 4 за 2010. год. добићемо резултате приказане у табели бр. 2.9. ( $S_{2010}$  и  $Z_{2010}$  пропорционално су распоређени по мјесецима).

Табела 2.9. Подаци за 2010. год.

МЈЕС.	ЈАН	ФЕБ	МАР	АПР	МАЈ	ЈУН	ЈУЛ	АВГ	СЕП	ОКТ	НОВ	ДЕЦ
Доход. (КМ)	778	772	771	786	774	789	786	785	794	779	791	798
$Z_{2010}$	94721	94850	94979	95108	95237	95336	95495	95624	95753	95882	96011	96140
$S_{2010}$	445214	445208	445202	445196	445190	445184	445178	445172	445166	445160	445154	445148
$V_{apr,2010}$	0.307	0.166	0.190	0.175	0.187	0.167	0.209	0.177	0.167	0.163	0.127	0.117
Кол. КЧО (t) стат. подаци	5758	5329	6989	7441	7227	7404	7812	8260	7846	7878	7372	6375
Кол. КЧО (t) прор. подаци	10244	5411	6182	6209	6260	6047	7532	6379	6315	5831	4792	4583
Проц. одст. (%)	43.79	1.53	11.55	16.56	13.37	18.32	3.58	22.77	19.52	25.98	34.99	28.12

Укупно посматрано за 2010. год. количина отпада пристиглог на депонију је  $Q=85690.62$  тона, а прорачунска вриједност је  $Q_{apr}=75695.62$  тона, што је разлика од 11.66%. На слици бр. 2.17. графички је приказана разлика између

статистичке и прорачунске вриједности количине отпада по мјесецима за 2010. год.



Слика 2.17. Приказ промјене  $Q$  и  $Q_{apr}$  за 2010. годину по мјесецима

Разлика у количинама, статистичким и прорачунским, поред грешке модела јавља се због могућности да претпостављени демографски подаци и претпостављени подаци везани за запослене особе у 2010. год. значајно оступају од стварних.

Анализу продукцованог комуналног отпада по мјесецима у години вршили су и други аутори, нпр. у Кувајту за период од 2000. год. до 2006. год. [4], гдје је показано да продукција нема исти тренд промјене по мјесецима у години. Од априла до јуна продукција отпада је релативно константна, да би се од јула до марта повећавала. На годишњем нивоу количина отпада се од 2000. год. до 2002. год. повећавала, да би од 2003. год. до 2006. год. константно опадала. У истом раду процјена продукције комуналног отпада у будућности преузета је од других аутора, који су је вршили на годишњем нивоу, без приказа начина процјене. Такође процјена продукције по мјесецима у будућности није вршена. Процјена продукције комуналног отпада по мјесецима је важна за било који систем управљања комуналним отпадом јер директно утиче на креирање плана управљања на годишњим и мјесечним нивоима.

### **3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДИО: ПРОМЈЕНА МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИПРОПИЛЕНА ПУЊЕНОГ СТАКЛЕНИМ ПРАХОМ**

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 обрадивости и употребљивости [41]. Најчешће су кориштени термопластични полимери због погодности рециклаже за разлику од дуропласта који се рјеђе користе [49]. 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% [7]. 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 и сл., пилећег перја или отпадног папира, картона, текстила и сл. [6, 16].

Међутим, употреба више различитих материјала компликује рециклажу, јер се влакна и матрице требају раздвојити [3].

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. 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.

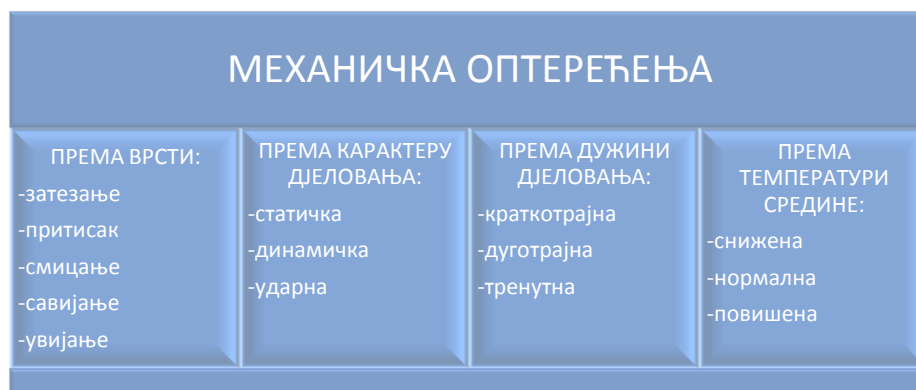
Отпадни полипропилен и отпадно стакло су пречишћени од механичких и других нечистоћа прањем и сушењем те припремљени мљењем за даљу обраду. Отпадни полипропилен и отпадно стакло је прикупљено случајним узорковањем са градске депоније Бања Лука. Узорковање је извршено са више различитих локација градске депоније, те су полипропилен и стакло коришћени у експерименту различити по старости и квалитету.

Извршена су испитивања механичких карактеристика мешавине 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.

### 3.1. МЕХАНИЧКА ИСПИТИВАЊА

Механичке карактеристике материјала битно утичу на поузданост производа током експлоатације. Оне показују понашање елемента изложеног механичким оптерећењима [45]. На слици бр. 3.1. је подјела механичких оптерећења према различитим критеријумима.



Слика 3.1. Подјела механичких карактеристика [27]

Механичке карактеристике материјала одређује њихов хемијски састав, молекулске карактеристике, структурне карактеристике, вријеме трајања оптерећења и температура. Добијају се механичким испитивањима.

Механичка испитивања се изводе тако што се најприје тијело изложи неком од механичких оптерећења, затим се прате промјене на њему.

Механичким испитивањем могу се установити:

- карактеристике чврстоће материјала,
- карактеристике пластичности материјала и
- карактеристике тврдоће материјала.

Величина механичких карактеристика, деформације, промјена кртости и пластичности зависи од температуре, те се при испитивању мора дефинисати температура околине. На вишој температури напон опада док се деформација повећава.

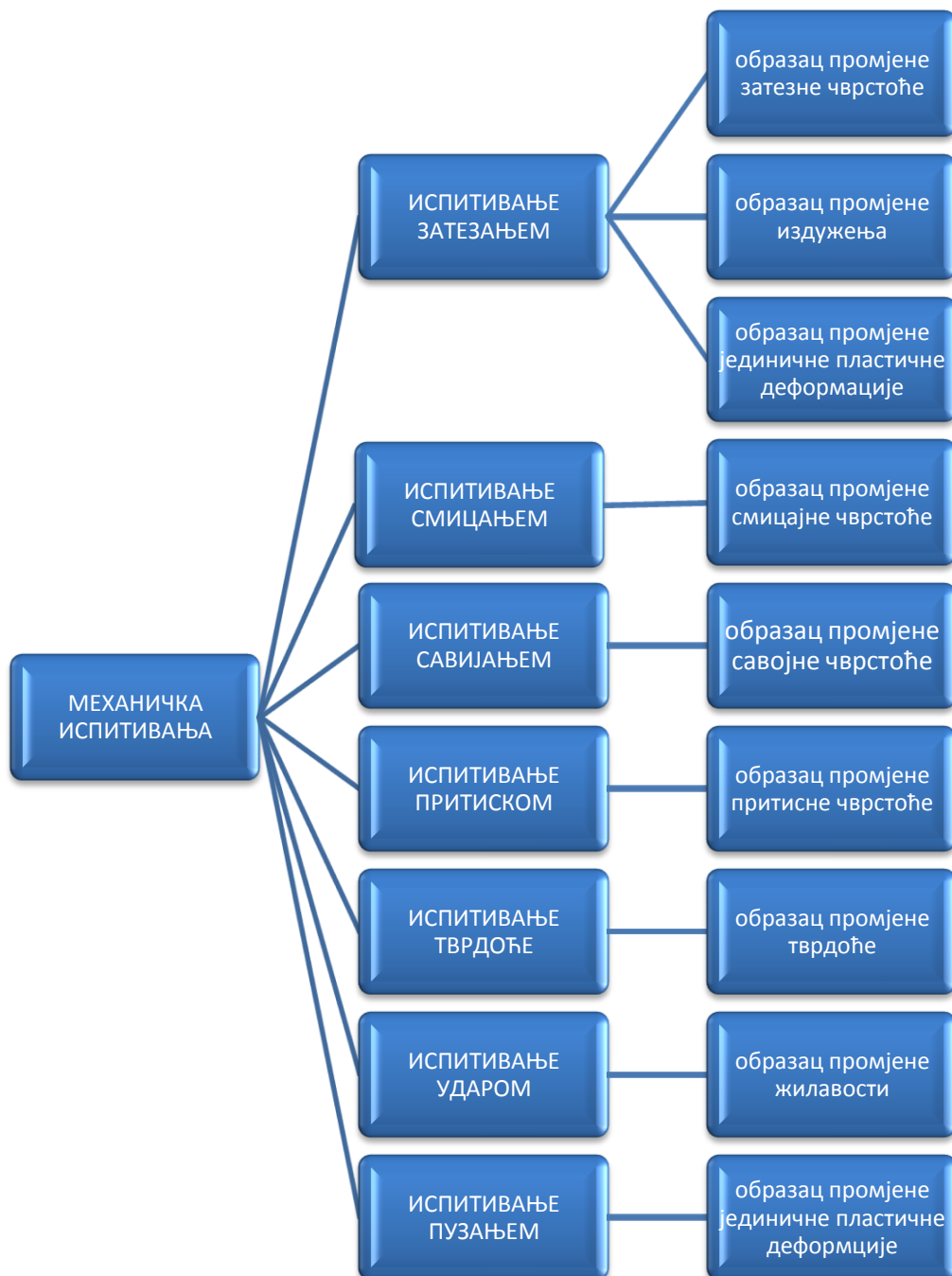
Услови испитивања морају бити константни током процеса.

Чврстоћа материјала представља отпор којим се материјал супротставља раздвајању кристала.

Пластичност материјала је способност материјала да се трајно деформише под дјеловањем оптерећења.

Тврдоћа материјала је способност материјала да се супротставља продирању другог тијела у његову површину под дејством силе.

Шематски приказ планираних испитивања механичких карактеристика и очекивани резултати представљен ја на слици бр. 3.2.



Слика 3.2. Шематски приказ планираних испитивања и очекиваних резултата

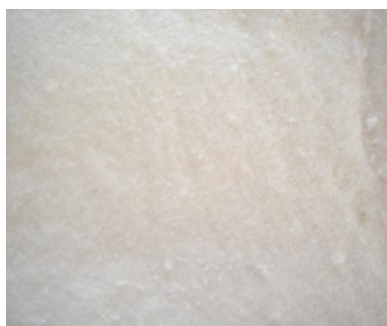
### 3.2. УЗОРЦИ ЗА ИСПИТИВАЊА

За експеримент је кориштен материјал полипропилен, у праху, ради постизања хомогености при мјешању са стакленим прахом. Коришћени стаклени прах је гранулације мање од 0,5mm што је постигнуто ситовном анализом послије мљењења стакленог праха. Мјешање је вршено механички – континуирано ради постизања хомогености смјеше.

Произведене су епрувете од основног материјала полипропилена и епрувете смјеше полипропилена са масеним удјелом 5%, 10%, 15%, 20%, 25% и 30% стакленог праха. Због дебљине епрувете за испитивање од 4mm и димензије максималне димензије грануле стакленог праха од 0,5mm испитивање није вршено за већи проценат удјела стакленог праха од 30%. Код припремака основног материјала и смјеше основног материјала са 10%, 20% и 30% стакленог праха стакленог праха одређен број припремака - 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.

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% свијетло плава и 30% црвена. Прије употребе основни материјал (полипропилен) и стаклени прах су загријавани – сушени у сврху одстрањивања влаге.

Полипропилен припремљен за прераду (кориштен у експерименту), сушара и боје приказани су фотографијама (слике бр.3.3. до 3.5.).



Слика 3.3. Полипропилен у праху



Слика 3.4. Сушара



Слика 3.5. Полипропиленске боје

Добијање стакленог праха кориштеног у експерименту, кроз различите фазе приказано је следећим фотографијама (слике бр.3.6. до 3.8.).



Слика 3.6. Стаклена амбалажа



Слика 3.7. Стаклени лом



Слика 3.8. Стаклени прах гранулације мање од 0,5mm

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 приказаном је на слици бр. 3.9., карактеристика:

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



Слика 3.9. Машина за прераду – екструдер

Поступак екструдирања је поступак континуираног истискивања (или потискивања) загријаног и омекшаног полимера кроз профилисану млазницу [59]. Температура прераде је била константна и износила је 230<sup>0</sup>С, 220<sup>0</sup>С, 210<sup>0</sup>С, 200<sup>0</sup>С 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 (приказана на слици бр. 3.33.), а из њих су изрезивани припремци за мјерење осталих механичких величина.

Епрувете су ливене у специјално направљеном калупу. На слици бр. 3.10. приказан је алат и затварач кориштен за израду епрувета.



Слика 3.10. Затварач и калуп

Необрађене епрувете и отпад при производњи приказани су на сликама бр. 3.11. до 3.13.



Слика 3.11. Необрађене епрувете основног материјала са додатком 20% стакленог праха



Слика 3.12. Необрађене епрувете основног материјала са додатком 30% стакленог праха



Слика 3.13. Отпад при производњи

Обрађене епрувете припремљене за испитивање затезањем и за припрему узорка за друга предвиђена испитивања приказане су на сликом бр. 3.14.

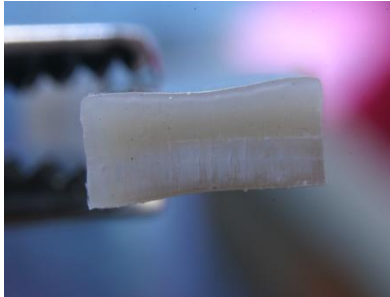
За потребе предвиђених испитивања произведено је преко хиљаду (1000) епрувета.



Слика 3.14. Обрађене епрувете основног материјала и материјала са додатком: 5%, 10%, 15%, 20%, 25% и 30% стакленог праха

Попречни пресјек произведених епрувета посматран без увећања приказан је фотографијама на сликама бр. 3.15. до 3.21.

На сликама бр. 3.22. и 3.23. приказан је поступак одсјецања и уређај на коме је вршено сјечење епрувета за испитивања.



Слика 3.15. Попречни пресјек епрувете основног материјала



Слика 3.16. Попречни пресјек епрувете основног материјала са додатком 5% стакленог праха



Слика 3.17. Попречни пресјек епрувете основног материјала са додатком 10% стакленог праха



Слика 3.18. Попречни пресјек епрувете основног материјала са додатком 15% стакленог праха



Слика 3.19. Попречни пресјек епрувете основног материјала са додатком 20% стакленог праха



Слика 3.20. Попречни пресјек епрувете основног материјала са додатком 25% стакленог праха



Слика 3.21. Попречни пресјек епрувете основног материјала са додатком 30% стакленог праха



Слика 3.22. Поступак одсјецања епрувете



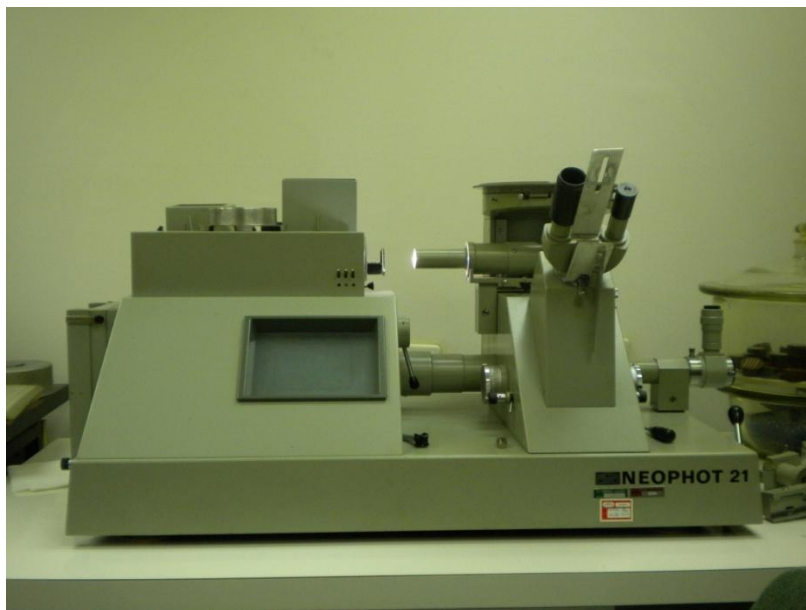
Слика 3.23. Уређај за одсјецање



### 3.3. МЕТАЛОГРАФСКА ИСПИТИВАЊА

Металографска испитивања изводе се с циљем посматрања унутрашње структуре материјала. Макроскопским металографским испитивањима (повећање око 20 пута) откривају се грешке у материјалу (шупљине, гасни мјехури, пукотине, укључци и сл.), док микроскопски прегледи (повећање око 1000 пута) откривају структуру материјала (распоред, облик и величину кристалних зрна). Макроскопска металографска испитивања узорака вршена су у лабораторији за испитивање материјала / производа „Орао“ А. Д. Бијељина, јануара 2010. год. Подаци о микроскопу на коме је вршено испитивање (приказан на слици бр. 3.24.):

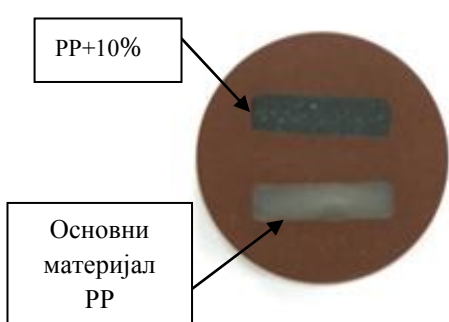
1. Врста уређаја: металографски микроскоп
2. Произвођач: CARL ZEISS – JENA
3. Тип: NEOPHOT 21



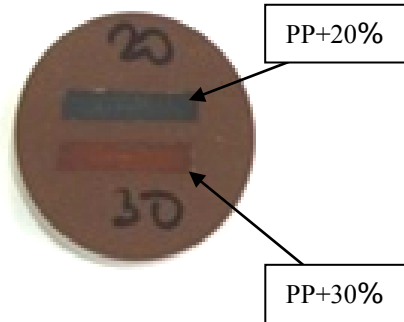
Слика 3.24. Металографски микроскоп

Узорци су припремани из епрувета за металографско испитивање (попречни пресјек): основног материјала и материјала са 10% стакленог праха на слици бр.3.25. , са 20% и 30% додатка стакленог праха на слици бр. 3.26.

Епрувете у бакелитном припремку су пресежане затим је посматрана површина полирана.



Слика 3.25. Металографски узорци основног материјала и материјала са додатком 10% стакленог праха

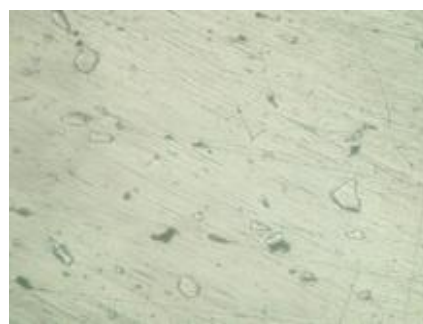


Слика 3.26. Металографски узорци материјала са додатком 20% и 30% стакленог праха

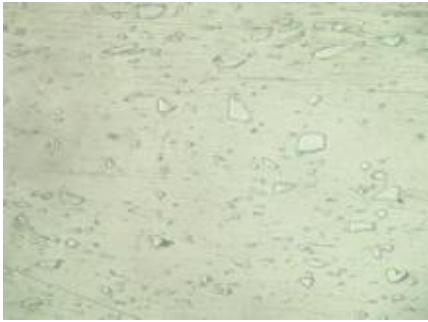
Металографски снимци описаних узоака са увећањем од 20 пута приказани су на сликама бр. 3.27. до 3.30. На снимцима се уочава величина додатих честица стакла, као и разлика у густини распореда у попречним пресејцима материјала са различитим постотком стакленог праха у структури. Такођер, види се хомогеност распореда страног тијела унутар површине матрице.



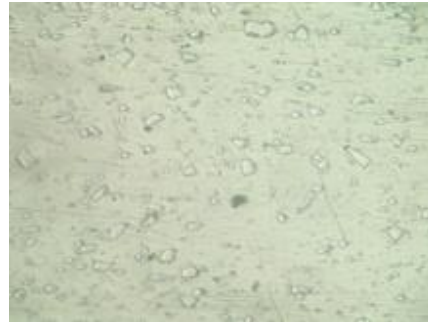
Слика 3.27. Металографски снимак дијела површине основног материјала 20x увећан



Слика 3.28. Металографски снимак дијела површине материјала са 10% стакленог праха 20x увећан



*Слика 3.29. Металографски снимак дијела површине материјала са 20% стакленог праха 20x увећан*



*Слика 3.30. Металографски снимак дијела површине материјала са 30% стакленог праха 20x увећан*

На слици бр. 3.27. по дубини попречног пресека основног материјала уочава се да нема примјеса страних тијела што показује да је за експеримент кориштен материјал високе чистоће. На сликама бр. 3.28. до 3.30. види се неправилан облик мљевеног стакленог праха – пунила чије су честице у матрици заузимале различит положај у односу на раван посматрања.

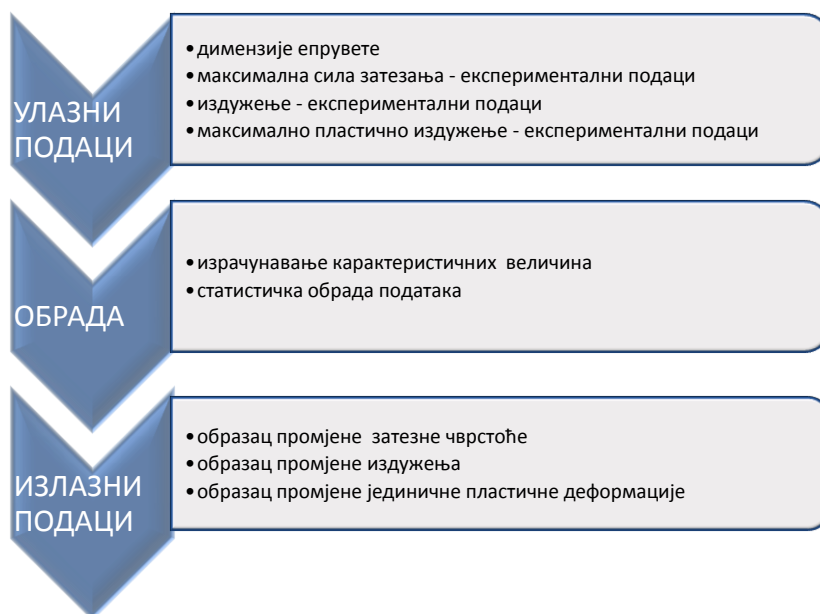
По дубини пресека не примјећују се ваздушни мјехури што указује на правилно одабране параметре процеса прераде и хлађења.

## 3.4. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА

### 3.4.1. Резултати испитивања затезањем

Испитивање затезањем се врши тако што се епрувета стандардних димензија подвргава затезном оптерећењу, по правилу до прекида. При томе се прате промјене на епрувети, на основу којих се одређују тражене механичке карактеристике [45]. Облик и димензије епрувете зависе од материјала, облика, димензија и намјене коначног производа.

План испитивања затезањем представљен је на слици бр. 3.31.



Слика 3.31. План испитивања затезањем

Испитивање је вршено краткотрајним растућим оптерећењем по стандарду SRPS G.S2.612 за одређивање затезних својстава пластичних маса.

Испитивање затезањем је вршено у лабораторији за испитивање материјала / производа „Орао“ А. Д. Бијељина, јануара 2010. год.

Подаци о мјерној машини:

1. Назив уређаја: Електрична кидалица "CHATILLON",
2. Модел: UTSM

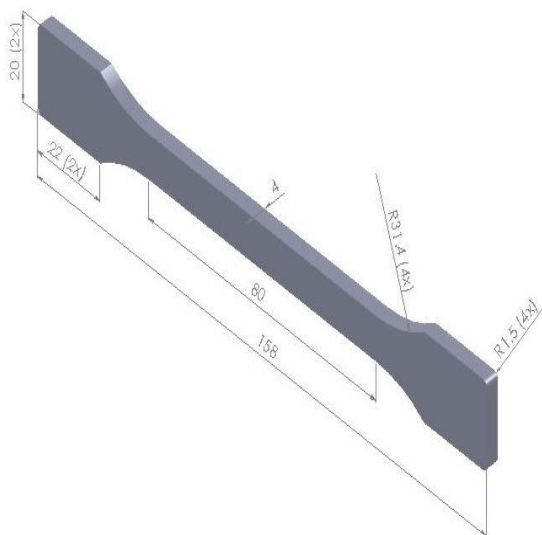
3. Произвођач мјерила: John Chatillon & Sons, N. Y. USA,
4. Серијски број: 1091,
5. Назив мјерила: Динамометар "CHATILLON"
6. Модел: TCG 250 К
7. Серијски број: 232,

Уређај за мјерење затезне чврстоће – кидалица кориштена за мјерење приказан је на слици бр. 3.32.

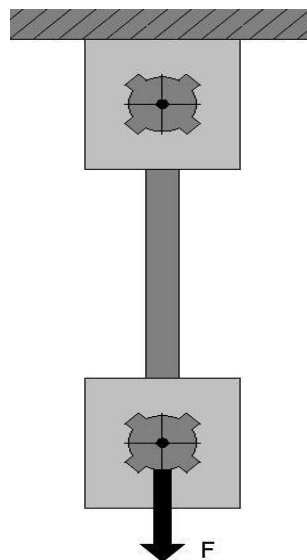


Слика 3.32. Уређај за испитивање затезањем - електрична кидалица

Епрувета за испитивање (приказана на слици бр. 3.33.) стандардног је облика и димензија. Методе израде епрувета утврђују стандарди: SRPS G.S2.603 , SRPS G.S2.604, SRPS G.S2.605, SRPS G.S2.606 и SRPS G.S2.607. Шематски приказ испитивања затезањем дат је на слици бр. 3.34.



Слика 3.33. Епрувета за испитивање  
затезањем



Слика 3.34. Приказ процеса испитивања  
затезањем

Димензије епрувете за испитивање:

1. Укупна дужина епрувете  $l_1=158\text{mm}$
2. Почетна дужина мијерног дијела  $l_0=80\text{mm}$ ,
3. Ширина стезног дијела  $B=20\text{mm}$ ,
4. Почетна ширина мијерног пресјека  $b_0=10\text{mm}$ ,
5. Почетна дебљина мијерног пресјека  $s_0=4\text{mm}$ .

Покидане епрувете након испитивања приказане су на слици бр. 3.35.



Сл.3.35. Покидане епрувета полипропилена са 15% удјела стакленог  
праха

За један циклус вршено је испитивање три епрувете исте серије прераде. Резултати испитивања су: максимална сила затезања  $F_m$  [N] те пластично

издужење мјерењем помичним мјерилом и издужење мјерењем директно на мјерном инструменту постављеном на кидалицу. Резултати испитивања максималне силе затезања приказани су у табели бр. 3.1.

Табела 3.1. Резултати испитивања максималне силе затезања

МАКСИМАЛНА СИЛА ЗАТЕЗАЊА $F_{max}$ [N]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	1353.78	1334.16	1290.02	1314.54	1304.73	1290.02	1304.73
2.	1309.64	1343.97	1324.35	1294.92	1304.73	1353.78	1299.82
3.	1304.73	1339.06	1324.35	1294.92	1324.35	1304.73	1304.73
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	1226.25						
2.	1231.16						
3.	1236.06						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	1201.72	1191.92	1221.34	1191.92	1206.63	1206.63	1191.92
2.	1206.63	1206.63	1226.25	1206.63	1191.92	1216.44	1211.54
3.	1196.82	1206.63	1226.25	1211.54	1196.82	1221.34	1187.01
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	1147.77						
2.	1152.68						
3.	1142.86						
<b>20% стакленог праха</b>							
1.	1128.15	1177.20	1177.20	1196.82	1196.82	1167.39	1147.77
2.	1128.15	1187.01	1196.82	1226.25	1177.20	1167.39	1147.77
3.	1133.06	1182.10	1191.92	1201.72	1177.20	1157.58	1147.77
<b>25% стакленог праха</b>							
1.	1113.44						
2.	1108.53						
3.	1113.44						
<b>30% стакленог праха</b>							
1.	1103.62	1128.15	1128.15	1128.15	1108.53	1103.62	1098.72
2.	1118.34	1147.77	1128.15	1123.24	1103.62	1093.82	1108.53
3.	1108.53	1137.96	1108.53	1118.34	1098.72	1103.62	1103.62

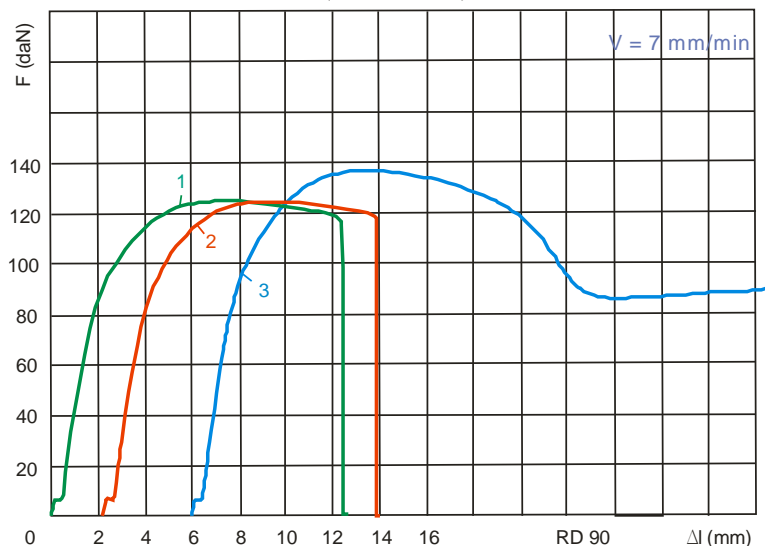
У већини случајева није било могуће измјерити издужење епрувете основног материјала полипропилена, јер није долазило до пуцања ни при постизању максималног хода стезних чељусти кориштене кидалице (слика бр. 3.31.).

Приказани резултати издужења у табели број 3.2. добијени су у лабораторији института ВТИ Београд (означени црном бојом) и Машинског факултета Крагујевац мјерни систем Zwick/roell Z100 (означени црвеном бојом).

Табела 3.2. Резултати испитивања издужења

ИЗДУЖЕЊЕ $\Delta l$ [mm]							
Р. бр.	Полипропилен + проценат удјела стакленог праха						
	PP	PP+5%	PP+10%	PP+15%	PP+20%	PP+25%	PP+30%
1.	211	14	18	11	11	12	12
2.	74	13	16	10	11	13	10
3.		12.5		10.5			
4.		14.5					

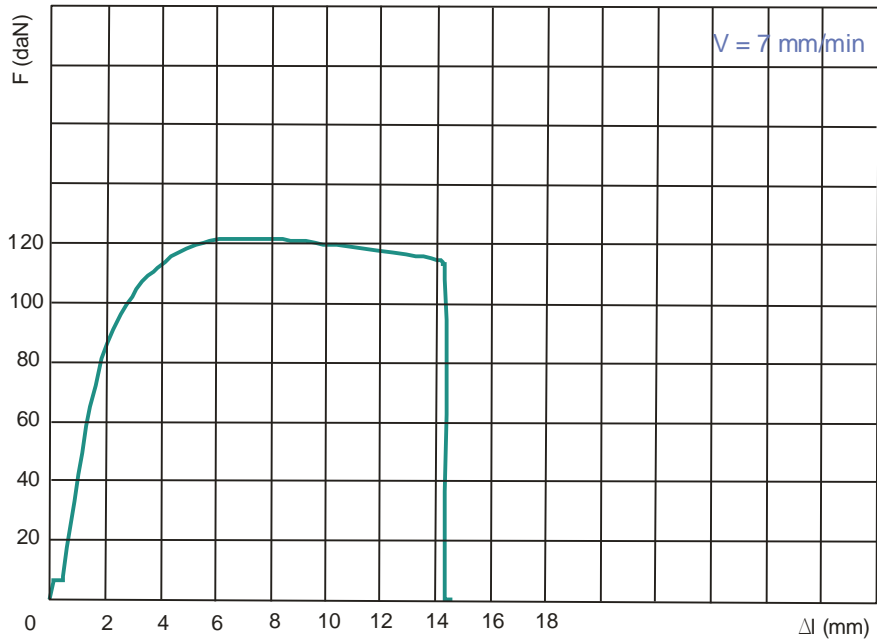
Дијаграми сила-издужење испитивања епрувете основног материјала (кривуља бр.3) и епрувета са додатком 5% стакленог праха (кривуље бр. 1 и 2) приказан је на слици бр. 3.36.



Слика 3.36. Дијаграм сила-издужење за чист PP(3) и PP са додатком 5% стакленог праха(1 и 2)

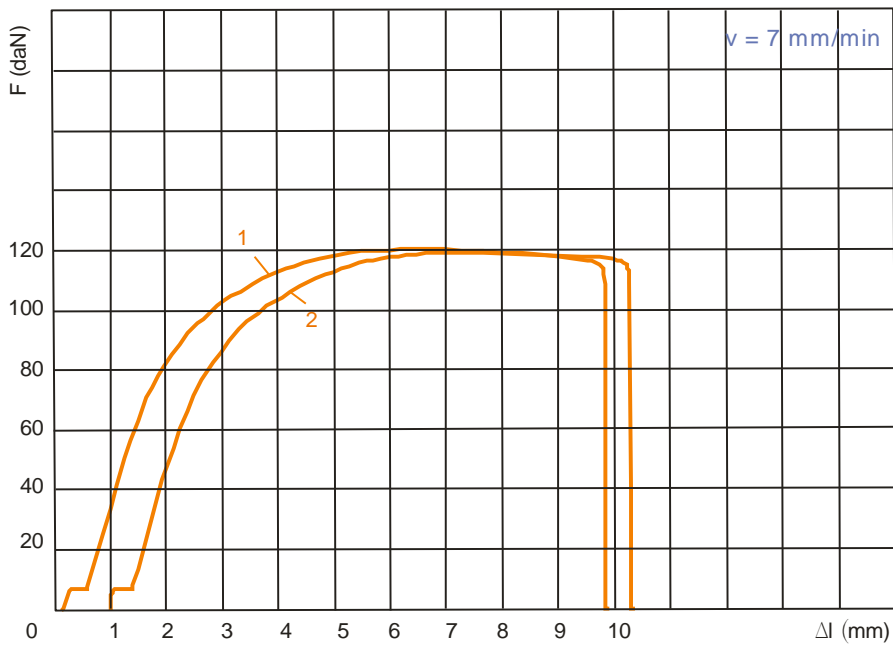
Дијаграм сила-издужење испитивања епрувете основног материјала са додатком 10% стакленог праха приказан је на слици бр. 3.37.





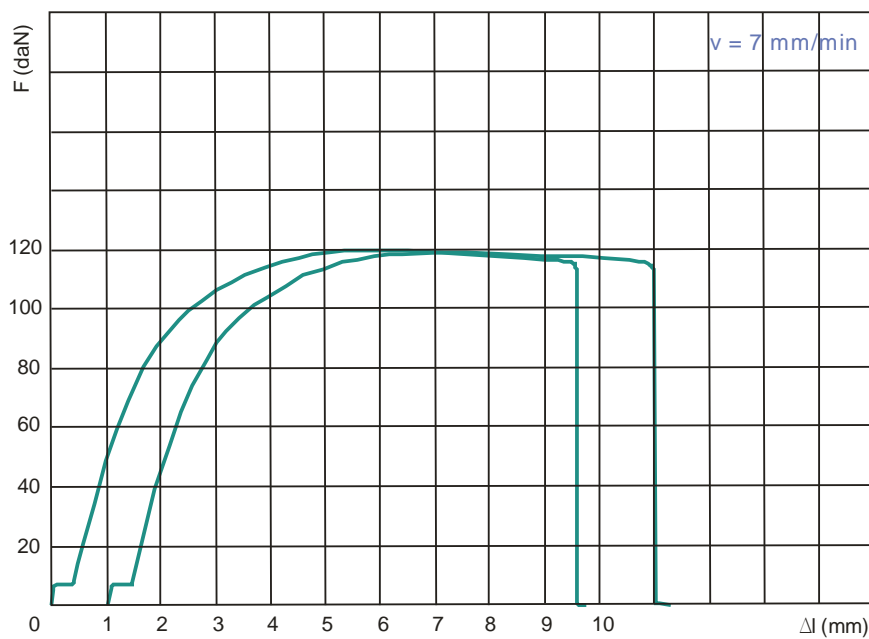
Слика 3.37. Дијаграм сила-издужење за PP са додатком 10% стакленог праха

Дијаграм сила-издужење испитивања епрувете основног материјала са додатком 15% стакленог праха приказан је на слици бр. 3.38.



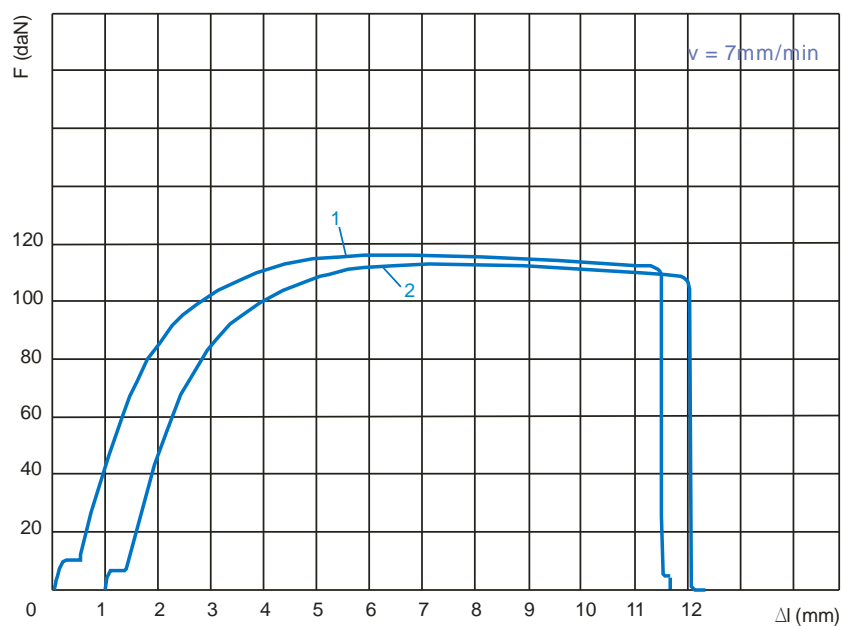
Слика 3.38. Дијаграм сила-издужење за PP са додатком 15% стакленог праха

Дијаграм сила-издужење испитивања епрувете основног материјала са додатком 20% стакленог праха приказан је на слици бр. 3.39.



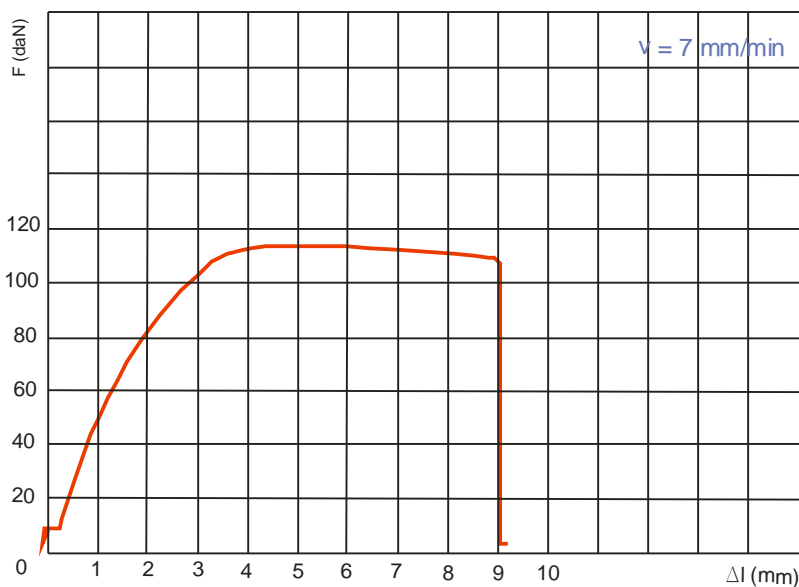
Слика 3.39. Дијаграм сила-издужење за PP са додатком 20% стакленог праха

Дијаграм сила-издужење испитивања епрувете основног материјала са додатком 25% стакленог праха приказан је на слици бр. 3.40.



Слика 3.40. Дијаграм сила-издужење за PP са додатком 25% стакленог праха

Дијаграм сила-издужење испитивања епрувете основног материјала са додатком 30% стакленог праха приказан је на слици бр. 3.41.



Слика 3.41. Дијаграм сила-издужење за РР са додатком 30% стакленог праха

Максимално пластично издужење мјерено је помичним мјерилом, резултати су приказани у табели бр. 3.3.

Табела 3.3. Резултати мјерења максималног пластичног издужења

МАКСИМАЛНО ПЛАСТИЧНО ИЗДУЖЕЊЕ $l_{max}$ [mm]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	84.9						
2.	84.0						
3.	83.4						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	84.0	87.7	84.6	86.5	88.6	86.0	86.6
2.	83.3	85.3	85.1	87.0	85.3	85.1	87.0
3.	84.1	84.7	84.1	83.9	87.1	84.2	89.2
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	82.5						
2.	82.6						
3.	82.7						

20% стакленог праха							
1.	82.1	83.0	81.9	83.9	83.1	85.0	84.0
2.	82.1	83.0	83.9	82.6	83.1	85.0	84.9
3.	83.2	81.9	83.3	83.7	84.0	83.0	84.7
25% стакленог праха							
1.	82.9						
2.	81.9						
3.	82.2						
30% стакленог праха							
1.	81.9	83.6	82.8	83.2	84.5	83.3	83.3
2.	81.1	82.2	82.3	83.0	83.1	83.2	84.5
3.	82.2	81.9	83.1	84.3	84.0	84.0	85.3

Јединична деформација  $\varepsilon$  израчунава се по обрасцу:  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ . Резултати израчунавања јединичне деформације приказани су у табели бр. 3.4.

Табела 3.4. Резултати израчунавања јединичне пластичне деформације

ЈЕДИНИЧНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЈА $\varepsilon_{pl}$							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
5% стакленог праха							
1.	$6.125 \times 10^{-2}$						
2.	$5 \times 10^{-2}$						
3.	$4.25 \times 10^{-2}$						
10% стакленог праха							
1.	$5 \times 10^{-2}$	$5.75 \times 10^{-2}$	$7.5 \times 10^{-2}$	$8.125 \times 10^{-2}$	$9.625 \times 10^{-2}$	$10.75 \times 10^{-2}$	$8.25 \times 10^{-2}$
2.	$4.125 \times 10^{-2}$	$6.375 \times 10^{-2}$	$6.375 \times 10^{-2}$	$8.75 \times 10^{-2}$	$6.625 \times 10^{-2}$	$6.625 \times 10^{-2}$	$8.75 \times 10^{-2}$
3.	$5.125 \times 10^{-2}$	$5.125 \times 10^{-2}$	$5.25 \times 10^{-2}$	$4.875 \times 10^{-2}$	$5.875 \times 10^{-2}$	$8.875 \times 10^{-2}$	$11.5 \times 10^{-2}$
15% стакленог праха							
1.	$3.125 \times 10^{-2}$						
2.	$3.25 \times 10^{-2}$						
3.	$3.375 \times 10^{-2}$						
20% стакленог праха							
1.	$2.625 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-2}$	$2.375 \times 10^{-2}$	$4.875 \times 10^{-2}$	$3.875 \times 10^{-2}$	$6.25 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$
2.	$2.625 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-2}$	$4.875 \times 10^{-2}$	$3.25 \times 10^{-2}$	$3.875 \times 10^{-2}$	$6.25 \times 10^{-2}$	$6.125 \times 10^{-2}$
3.	$4 \times 10^{-2}$	$2.375 \times 10^{-2}$	$4.125 \times 10^{-2}$	$4.625 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	$3.75 \times 10^{-2}$	$5.875 \times 10^{-2}$

25% стакленог праха							
1.	3.625 x10 <sup>-2</sup>						
2.	2.375 x10 <sup>-2</sup>						
3.	2.75 x10 <sup>-2</sup>						
30% стакленог праха							
1.	2.375 x10 <sup>-2</sup>	4.5 x10 <sup>-2</sup>	3.5 x10 <sup>-2</sup>	4 x10 <sup>-2</sup>	4.125 x10 <sup>-2</sup>	5.625 x10 <sup>-2</sup>	4.125 x10 <sup>-2</sup>
2.	1.375 x10 <sup>-2</sup>	2.75 x10 <sup>-2</sup>	2.875 x10 <sup>-2</sup>	3.75 x10 <sup>-2</sup>	4 x10 <sup>-2</sup>	3.875 x10 <sup>-2</sup>	5.625 x10 <sup>-2</sup>
3.	2.75 x10 <sup>-2</sup>	2.375 x10 <sup>-2</sup>	3.875 x10 <sup>-2</sup>	5.375 x10 <sup>-2</sup>	5 x10 <sup>-2</sup>	5 x10 <sup>-2</sup>	6.625 x10 <sup>-2</sup>

Затезна чврстоћа  $R_m$  [N/mm<sup>2</sup>] се израчунава по обрасцу:  $R_m = \frac{F_{\max}}{A_0}$ , гдје је:

$A_0 = b_0 \cdot s_0$  – површина почетног попречног пресека. Резултати израчунавања затезне чврстоће приказани су у табели бр. 3.5.

Табела 3.5. Резултати израчунавања затезне чврстоће

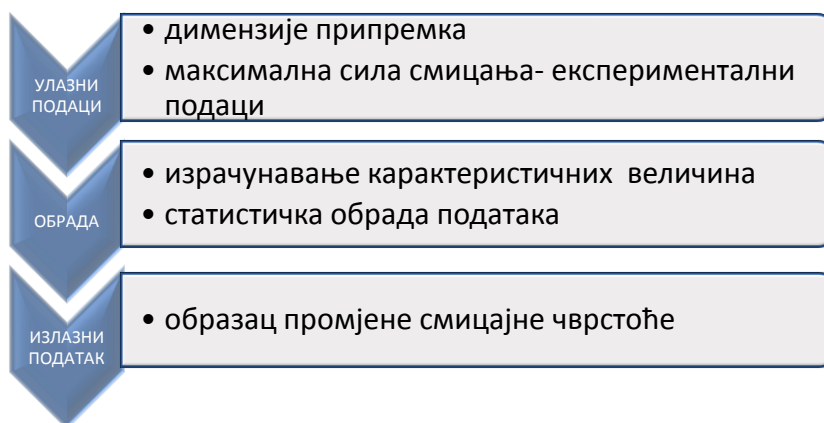
ЗАТЕЗНА ЧВРСТОЋА $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]							
Ред. бр.	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
0% стакленог праха							
1.	33.84	33.35	32.25	32.86	32.618	32.25	32.62
2.	32.74	33.60	33.11	32.37	32.618	33.84	32.50
3.	32.62	33.48	33.11	32.37	33.11	32.62	32.62
5% стакленог праха							
1.	30.66						
2.	30.78						
3.	30.90						
10% стакленог праха							
1.	30.04	29.80	30.53	29.80	30.17	30.17	29.80
2.	30.17	30.17	30.66	30.17	29.80	30.41	30.29
3.	29.92	30.17	30.66	30.29	29.92	30.53	29.68
15% стакленог праха							
1.	28.69						
2.	28.82						
3.	28.57						
20% стакленог праха							
1.	28.20	29.43	29.43	29.92	29.92	29.18	28.69
2.	28.20	29.68	29.92	30.66	29.43	29.18	28.69
3.	28.33	29.55	29.80	30.04	29.43	28.94	28.69

25% стакленог праха							
1.	27.84						
2.	27.71						
3.	27.84						
30% стакленог праха							
1.	27.59	28.20	28.20	28.20	27.71	27.59	27.47
2.	27.96	28.69	28.20	28.08	27.59	27.34	27.71
3.	27.71	28.45	27.71	27.96	27.47	27.59	27.59

### 3.4.2. Резултати испитивања смицањем

Испитивање смицањем се врши тако што се припремак подвргава смицајном оптерећењу, по правилу до потпуног раздвајања оптерећених површина. Смицање је напон који образују паралелне силе супротних праваца чији се правци налазе на кратком растојању, тако да не могу да изазову спрег, него теже да изазову раздвајање кристала материјала. Такав напон је могуће изазвати дјеловањем жига и матрице силом док се материјал не раздвоји, односно док се не формира отвор [56].

Испитивање је вршено краткотрајним растућим оптерећењем. На припремцима је пробијана рупа пробојцем пречника  $d = 4,90\text{mm}$ , а на мјерном инструменту је очитавана вриједност силе пробијања, док се чврстоћа смицања израчунава по обрасцу. Пречник отвора матрице је  $D = 5,7\text{ mm}$ . За припремке за испитивање кориштени су шири дијелови стандардне епувете за испитивање затезањем. План испитивања смицањем представљен је на слици бр. 3.42.



Слика 3.42. План испитивања смицањем

Испитивање смицањем је вршено у лабораторији за испитивање материјала / производа „Орао“ А. Д. Бијељина, јануара 2010. год.

Подаци о мјерној машини на којој вршено испитивање (слика бр. 3.43.):

1. Назив мјерила: Хидраулична кидалица,
2. Произвођач мјерила: ALFRED J. AMSLER & CO.
3. Тип: 599/529

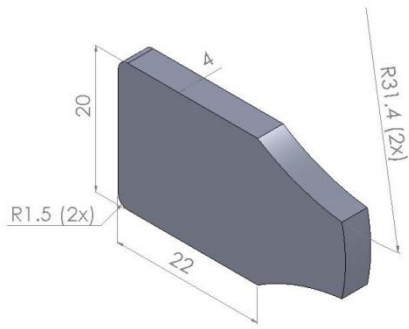


Слика 3.43. Уређај за испитивање смицањем – хидраулична кидалица

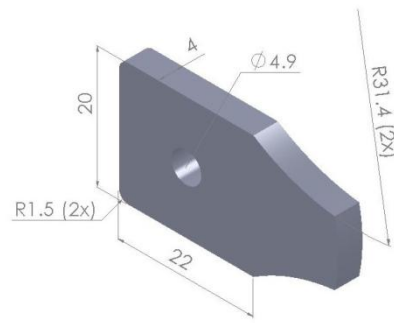
Димензије и приказ припремака за испитивање:

1. Дужина  $l = 22\text{mm}$ ,
2. Ширина  $B = 20\text{mm}$ ,
3. Дебљина  $s = 4\text{mm}$ ,
4. Пречник отвора  $d = 5,20\text{mm}$ .

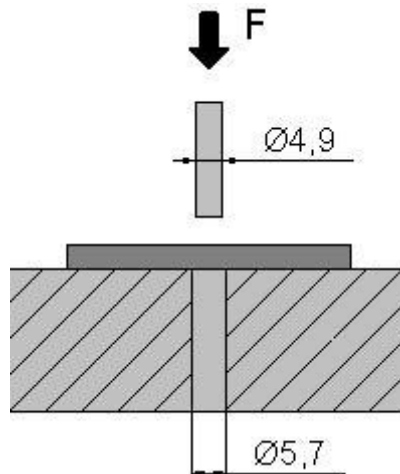
На сликама бр. 3.44. и 3.45. приказани су припремак за испитивање и припремак након испитивања. Процес испитивања смицањем приказан је на слици бр. 3.46.



Слика 3.44. Припремак за испитивање  
смицањем



Слика 3.45. Припремак након  
испитивања смицањем



Слика 3.46. Приказ процеса испитивања смицањем

Припремци за испитивање и припремци након испитивања приказани су фотографијама на сликама бр. 3.47. и 3.48.



Слика 3.47. Фотографије припремака за  
испитивање смицањем



Слика 3.48. Фотографије припремака  
испитаних смицањем



Алат кориштен за испитивање смицањем приказан је на слици бр. 3.49.



Слика 3.49. Алат за испитивање смицањем

Резултат испитивања је максимална сила смицања  $F_m$ [N].

Резултати испитивања максималне силе смицања приказани су у табели бр. 3.6.

Табела 3.6. Резултати испитивања максималне силе смицања

МАКСИМАЛНА СИЛА СМИЦАЊА $F_{max}$ [N]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	1863.90	1903.14	1824.66	1844.28	1844.28	1814.85	1863.90
2.	1844.28	1844.28	1844.28	1814.85	1814.85	1863.90	1863.90
3.	1814.85	1863.90	1844.28	1844.28	1863.90	1883.52	1863.90
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	1765.80						
2.	1795.23						
3.	1795.23						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	1746.18	1844.28	1805.04	1814.85	1814.85	1853.21	1877.74
2.	1706.94	1844.28	1785.42	1814.85	1814.85	1785.42	1805.04
3.	1746.18	1814.85	1854.09	1814.85	1814.85	1853.21	1877.74
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	1726.56						
2.	1716.75						
3.	1736.37						

20% стакленог праха							
1.	1716.75	1805.04	1824.66	1755.99	1765.80	1785.42	1818.88
2.	1746.18	1814.85	1746.18	1746.18	1805.04	1784.26	1818.88
3.	1706.94	1814.85	1765.80	1765.80	1775.61	1784.26	1726.56
25% стакленог праха							
1.	1667.70						
2.	1667.70						
3.	1667.70						
30% стакленог праха							
1.	1667.70	1736.37	1687.32	1687.32	1677.51	1648.08	1746.18
2.	1655.40	1765.80	1706.94	1687.32	1657.89	1677.51	1687.32
3.	1667.70	1667.70	1677.51	1716.75	1687.32	1716.75	1746.18

Смицајна чврстоћа  $\tau_m$  [N/mm<sup>2</sup>] се израчунава по обрасцу:  $\tau_{\max} = \frac{F_{\max}}{L \cdot s}$ , гдје је:

$L = d\pi$  - обим отвора који се пробија и пречник отвора  $d = 4,90mm$ .

Резултати израчунавања смицајне чврстоће приказани су у табели бр. 3.7.

Табела 3.7. Резултати израчунавања смицајне чврстоће

СМИЦАЈНА ЧВРСТОЋА $\tau_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
0% стакленог праха							
1.	30.29	30.92	29.65	29.97	29.97	29.49	30.29
2.	29.97	29.97	29.97	29.49	29.49	30.29	30.29
3.	29.49	30.29	29.97	29.97	30.29	30.60	30.29
5% стакленог праха							
1.	28.69						
2.	29.17						
3.	29.17						
10% стакленог праха							
1.	28.37	29.97	29.33	29.49	29.49	30.11	30.51
2.	27.74	29.97	29.01	29.49	29.49	29.01	29.33
3.	28.37	29.49	30.13	29.49	29.49	30.11	30.51
15% стакленог праха							
1.	28.05						
2.	27.89						
3.	28.21						

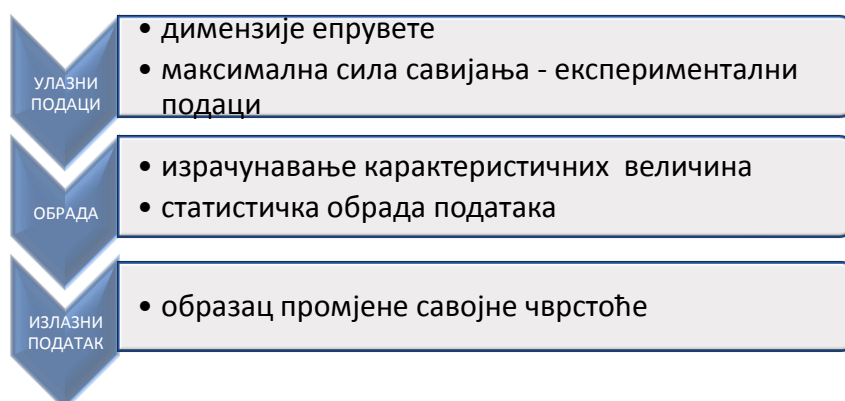
20% стакленог праха							
1.	27.89	29.33	29.65	28.53	28.69	29.01	29.55
2.	28.37	29.49	28.37	28.37	29.33	28.99	29.55
3.	27.74	29.49	28.69	28.69	28.85	28.99	28.05
25% стакленог праха							
1.	27.10						
2.	27.10						
3.	27.10						
30% стакленог праха							
1.	27.10	28.21	27.42	27.42	27.26	26.78	28.37
2.	26.90	28.69	27.74	27.42	26.94	27.26	27.42
3.	27.10	27.10	27.26	27.89	27.42	27.89	28.37

### 3.4.3. Резултати испитивања савијањем

Испитивање савијањем се врши тако што се епрувета стандардних димензија подвргава савојном оптерећењу, по правилу до појаве пукотине или до постизања заданог угла савијања  $\alpha$  или угиба  $f$ . Облик и димензије епрувете зависе од материјала, прописани су стандардом. Епрувете су исјецане из стандардних епрувета за испитивање затезањем. Кориштене епрувете основног материјала приказане су на слици бр. 3.51.).

Испитивање је вршено краткотрајним растућим оптерећењем до постизања угла савијања  $\alpha = 120^\circ$ , по стандарду SRPS G.S2.614 за испитивање савијањем пластичних маса.

План испитивања смицањем представљен је на слици бр. 3.50.



Слика 3.50. План испитивања савијањем

Испитивање савијањем је вршено у лабораторији за испитивање материјала / производа „Орао“ А. Д. Бијељина, јануара 2010. год. Подаци о мјерној машини (приказана на слици бр.3.44. иста која је кориштена за испитивање смицањем):

1. Назив мјерила: Хидраулична кидалица,
2. Произвођач мјерила: ALFRED J. AMSLER & CO.
3. Тип: 599/529

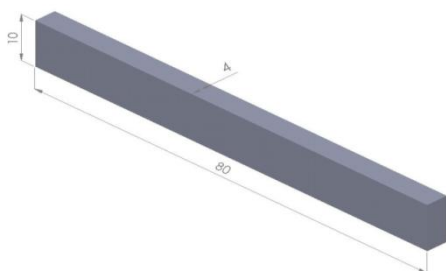


Слика 3.51. Епрувете за испитивање савијањем

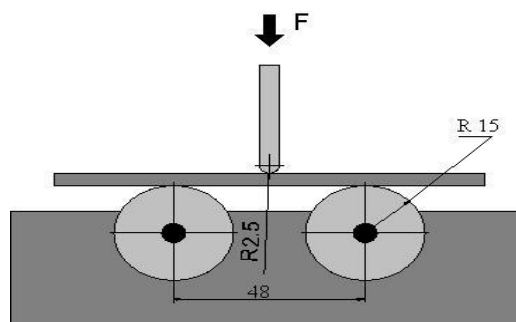
Димензије и приказ припремке за испитивање:

1. Дужина  $l = 80\text{mm}$ ,
2. Размак ослонаца  $l_s = 48\text{mm}$ ,
3. Ширина  $b = 10\text{mm}$ ,
4. Дебљина  $h = 4\text{mm}$ .

Стандардна епрувета за испитивање савијањем и приказ процеса испитивања савијањем [12] приказани су на сликама бр. 3.52. и 3.53.



Слика 3.52. Припремак за испитивање савијањем



Слика 3.53. Приказ процеса испитивања савијањем

Процес испитивања савијања, почетна и завршна фаза испитивања приказане су сликама бр. 3.54. и 3.55.



Слика 3.54. Почетни положај испитивања савијањем



Слика 3.55. Крајњи положај испитивања савијањем

Резултат испитивања је максимална сила савијања  $F_m$  [N] (за угао савијања  $120^\circ$ ).

Резултати испитивања максималне силе савијања приказани су у табели бр. 3.8.

Табела 3.8. Резултати испитивања максималне силе савијања

МАКСИМАЛНА СИЛА САВИЈАЊА $F_{max}$ [N]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	170.29	191.30	196.20	181.48	186.39	181.48	181.48
2.	170.29	186.20	186.39	186.39	181.48	186.39	186.39
3.	166.77	186.20	186.39	181.48	181.48	181.48	186.39
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	156.96						
2.	156.03						
3.	157.40						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	156.50	166.77	171.68	169.45	166.77	166.77	165.00
2.	156.52	171.68	171.68	169.45	166.77	166.77	165.47
3.	156.52	166.77	171.68	169.20	166.77	166.77	164.53
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	155.64						
2.	155.64						
3.	155.64						

20% стакленог праха							
1.	154.73	161.86	161.86	161.86	155.66	155.66	155.66
2.	155.20	161.86	166.77	155.66	155.66	155.66	155.66
3.	155.20	166.77	166.77	155.66	155.66	155.66	155.66
25% стакленог праха							
1.	152.52						
2.	152.52						
3.	152.52						
30% стакленог праха							
1.	149.84	151.59	148.07	147.15	147.15	147.15	147.15
2.	150.29	151.59	151.59	147.15	147.15	147.15	147.15
3.	149.84	151.59	151.59	147.15	147.15	147.15	147.15

Савојна чврстоћа  $\sigma_{sf}$  [N/mm<sup>2</sup>] (за угао савијања 120°) се израчунава по обрасцу:

$$\sigma_s = \frac{M_s}{W}, \text{ за конкретан случај: } \sigma_{sf} = \frac{1,5 \cdot F_{\max} \cdot l_s}{b_0 \cdot h^2}.$$

Резултати израчунавања савојне чврстоће (за угао савијања 120°) приказани су у табели бр. 3.9.

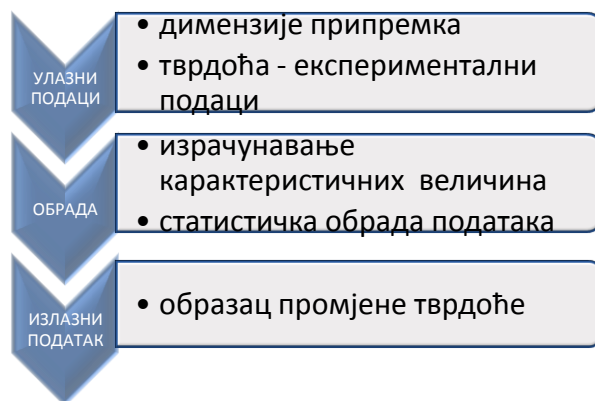
Табела 3.9. Резултати израчунавања савојне чврстоће (за угао савијања 120°)

САВОЈНА ЧВРСТОЋА $\sigma_{sf}$ [N/mm <sup>2</sup> ]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
0% стакленог праха							
1.	76.63	86.08	88.29	81.67	83.88	81.67	81.67
2.	76.63	83.79	83.88	83.88	81.67	83.88	83.88
3.	75.05	83.79	83.88	81.67	81.67	81.67	83.88
5% стакленог праха							
1.	70.63						
2.	70.22						
3.	70.83						
10% стакленог праха							
1.	70.42	75.05	77.25	76.25	75.05	75.05	74.25
2.	70.43	77.25	77.25	76.25	75.05	75.05	74.46
3.	70.43	75.0465	77.25	76.14	75.05	75.05	74.04

15% стакленог праха							
1.	70.04						
2.	70.04						
3.	70.04						
20% стакленог праха							
1.	69.63	72.84	72.84	72.84	70.05	70.05	70.05
2.	69.84	72.84	75.05	70.05	70.05	70.05	70.05
3.	69.84	75.05	75.05	70.05	70.05	70.05	70.05
25% стакленог праха							
1.	68.63						
2.	68.63						
3.	68.63						
30% стакленог праха							
1.	67.42	68.22	66.63	66.22	66.22	66.22	66.22
2.	67.63	68.22	68.22	66.22	66.22	66.22	66.22
3.	67.42	68.22	68.22	66.22	66.22	66.22	66.22

### 3.4.4. Резултати испитивања тврдоће

Испитивање се врши у циљу одређивање тврдоће површинског слоја материјала, по стандарду SRPS G.S2.525 за одређивање тврдоће пластичних маса по Шору "D". План испитивања тврдоће представљен је на слици бр. 3.56.



Слика 3.56. План испитивања тврдоће

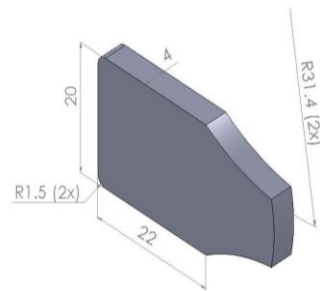
Испитивање тврдоће је вршено у лабораторији за испитивање материјала / производа „Орао“ А. Д. Бијељина, јануара 2010. год.

Подаци о мјерилу кориштеном за испитивање, приказано на слици бр. 3.57.:

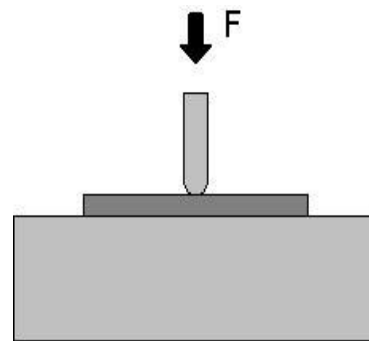
1. Назив мјерила: FRANK,
2. Тип мјерила: "Shore – D",
3. Серијски број: 26930,
4. Стандард: DIN 53 505, ISO R 868



Слика 3.57. Уређај за испитивање тврдоће - "Shore"



Слика 3.58. Припремак за испитивање тврдоће



Слика 3.59. Приказ процеса испитивања тврдоће

Поступак мјерења се врши тако што се мјерна игла утискује у површину епрувете док равна површина мјерног инструмента не налегне на површину епрувете. Уређај сигнализира да је мјерење обављено, вриједност се читава на мјерној скали. Припремак за испитивање тврдоће и процес испитивања тврдоће приказани су сликама бр. 3.58. и 3.59.



Резултати испитивања тврдоће *HS* [Shore-D] приказани су у табели бр. 3.10.

Табела 3.10. Резултати испитивања тврдоће по "Shore"-у

<b>ТВРДОЋА HS-D [Shore-D]</b>							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	69.5	69.1	69.3	68.7	69	69.6	71.5
2.	71.2	70	68.6	69	69.5	69.7	69.9
3.	68.8	69	69.8	69.6	69	70.1	68.7
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	69.6						
2.	69						
3.	69.3						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	70.1	70.2	70.6	69.6	69.5	70.5	70.1
2.	69.6	71.1	69.1	70.5	70.7	70.2	71
3.	67.8	69.9	70	69.6	69.9	70.1	69.9
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	69.2						
2.	69.6						
3.	69.1						
<b>20% стакленог праха</b>							
1.	70.4	71.7	71.2	71.1	71.7	71	70.8
2.	69.5	72.5	70.2	71.2	71.3	70.8	70.9
3.	71.1	72.9	69.2	71.2	71.7	70.5	70.3
<b>25% стакленог праха</b>							
1.	71.5						
2.	71.7						
3.	69.9						
<b>30% стакленог праха</b>							
1.	70.8	70.7	69.8	70.5	71.2	71	70.4
2.	70.9	70.1	71.1	71	70.1	70	70.2
3.	70.8	69.8	70.4	70.6	70.4	70.5	71.2

### 3.4.5. Резултати испитивања пузањем

Испитивање пузањем врши се излагањем епрувете дуготрајном константном статичком оптерећењу. При овој врсти напрезања долази до трајног (пластичног) издужења припремка. Испитивање материјала пузањем описује се величином деформације и временом изложености епрувете оптерећењу. Напон који на датој температури за одређено вријеме доведе до прекида епрувете назива се трајна чврстоћа а у индекс се ставља вијеме (у часовима) за које дође до лома нпр.  $\sigma_{1000}$  [45].

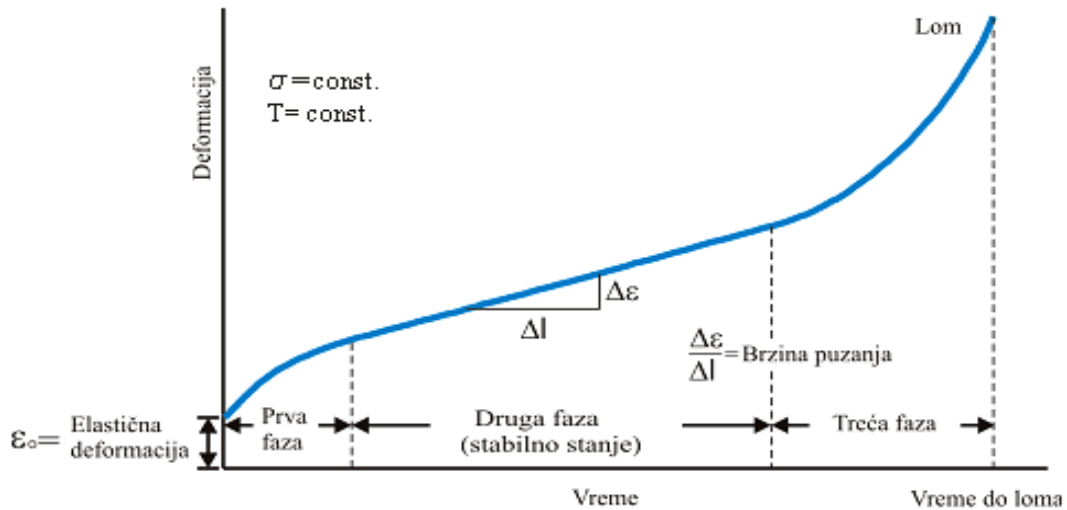
План испитивања пузањем представљен је на слици бр. 3.60.



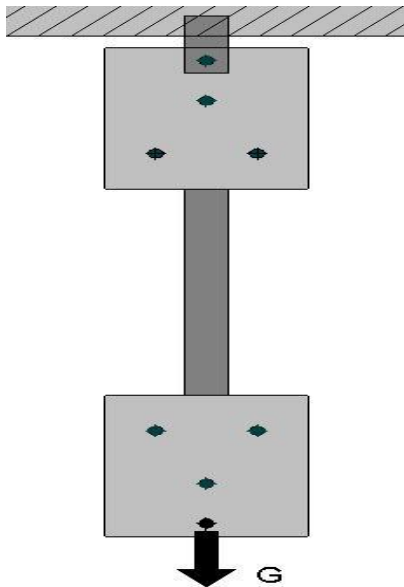
Слика 3.60. План испитивања пузањем

Испитивање пузањем је вршено у радионици СР "Ј – АУТО" Лакташи, јануара 2010. год. Стандардне епрувете за испитивање затезањем (слика бр. 3.14.) оптерећена је силом од  $G = 392,4 \text{ N}$ , то јест напоном  $\sigma = 9,81 \text{ N/mm}^2$  на период од 60 дана. Издужење је мјерено помичним мјерилом.

Шематски приказ дијаграма деформација-вријеме ( $\epsilon$ - $\tau$ ) [12] дат је на слици бр. 3.61.



Слика 3.61. Дијаграм деформација - вријеме



Слика 3.62. Приказ процеса испитивања пузањем



Слика 3.63. Узорци под оптерећењем – тест на пузање

Процес испитивања пузањем приказан је сликом бр. 3.62., а оптерећени узорци приказани су на слици бр. 3.63.

Епрувета за испитивање стандардног је облика и димензија. Димензије су:

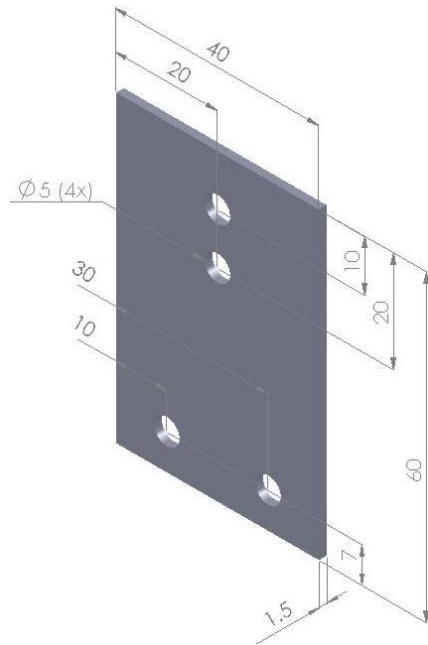
1. Укупна дужина епрувете  $l_1=155\text{mm}$
2. Почетна дужина мијерног дијела  $l_0=80\text{mm}$ ,
3. Ширина стезног дијела  $B=20\text{mm}$ ,

4. Почетна ширина мијерног пресјека  $b_0=10\text{mm}$ ,
5. Почетна дебљина мијерног пресјека  $s_0=4\text{mm}$ .

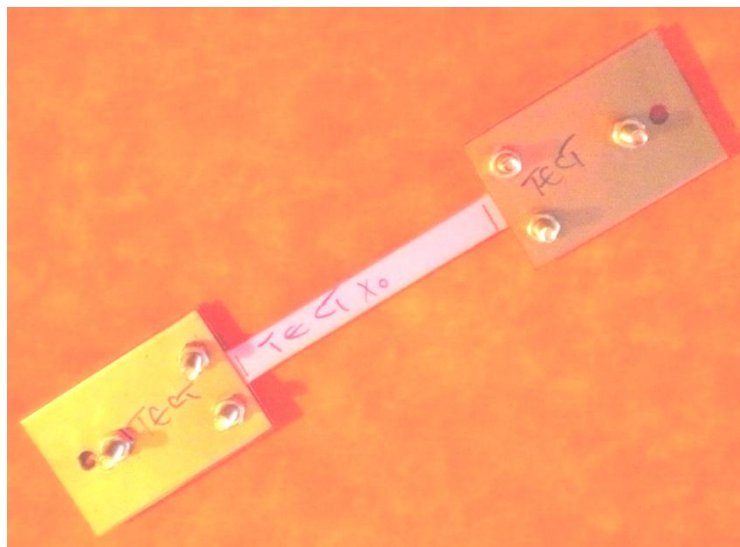
Фотографија и скица стезног прибора кориштеног за држање епрувете приликом испитивања приказани су на сликама бр. 3.64. и 3.65., те епрувета у стезном прибору сликом бр. 3.66.



Слика 3.64. Фотографија стезне плочице



Слика 3.65. Цртеж стезне плочице



Слика 3.66. Фотографија епрувете за испитивање пузањем - припремљена

Резултат испитивања је максимално пластично издужење  $l_{max}[mm]$  пошто се епрувете оптерећене задатом тежином на наведени временски рок нису кидале. Добијено мјерењем помичним мјерилом. Резултати мјерења максималног пластичног издужења након 60 дана оптерећења приказани су у табели бр. 3.11.

Табела 3.11. Резултати испитивања максималног пластичног издужења након 60 дана

МАКСИМАЛНО ПЛАСТИЧНО ИЗДУЖЕЊЕ $l_{max}[mm]$							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	80.45	80.45	80.6	80.45	80.75	80.5	80.55
2.	80.45	80.45	80.5	80.45	80.45	80.45	80.5
3.	80.6	80.5	80.55	80.8	80.5	80.5	80.45
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	80.6						
2.	81.5						
3.	81.1						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	80.6	80.7	80.7	80.8	80.8	80.7	80.7
2.	80.7	80.65	80.75	80.8	80.75	80.75	80.75
3.	80.65	80.65	80.75	80.75	80.75	80.75	80.7
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	80.4						
2.	80.35						
3.	80.35						
<b>20% стакленог праха</b>							
1.	80.3	80.35	80.35	80.3	80.35	80.4	80.4
2.	80.3	80.3	80.3	80.35	80.35	80.35	80.35
3.	80.25	80.3	80.35	80.35	80.35	80.35	80.35
<b>25% стакленог праха</b>							
1.	80.30						
2.	80.25						
3.	80.25						
<b>30% стакленог праха</b>							
1.	80.25	80.35	80.3	80.35	80.35	80.35	80.35
2.	80.25	80.3	80.3	80.35	80.35	80.35	80.35
3.	80.2	80.25	80.35	80.3	80.3	80.35	80.35

Јединична деформација  $\varepsilon$  (након 60 дана) се израчунава по обрасцу:  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ .

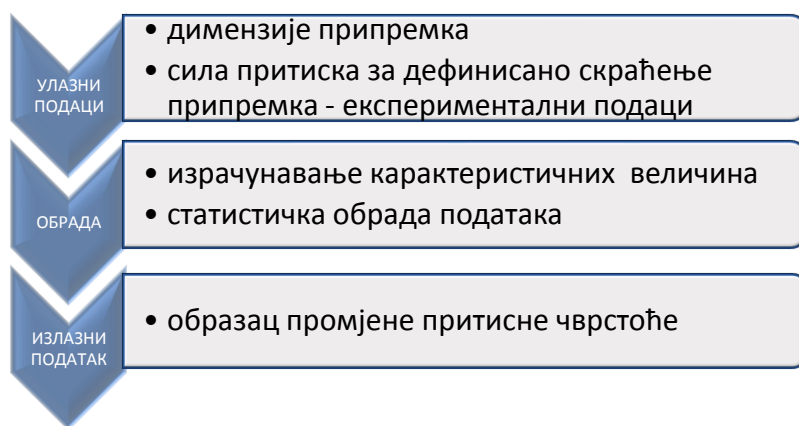
Резултати израчунавања јединичне деформације приказани су у табели бр. 3.12.

Табела 3.12. Резултати израчунавања јединичне пластичне деформације након 60 дана

ЈЕДИНИЧНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЈА - $\varepsilon_{pl}$							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	$5.625 \times 10^{-3}$	$5.625 \times 10^{-3}$	$7.5 \times 10^{-3}$	$5.625 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-3}$	$6.875 \times 10^{-3}$
2.	$5.625 \times 10^{-3}$	$5.625 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-3}$	$5.625 \times 10^{-3}$	$5.625 \times 10^{-3}$	$5.625 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-3}$
3.	$7.5 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-3}$	$6.875 \times 10^{-3}$	$10 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-3}$	$5.625 \times 10^{-3}$
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	$7.5 \times 10^{-3}$						
2.	$18.75 \times 10^{-3}$						
3.	$13.75 \times 10^{-3}$						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	$7.5 \times 10^{-3}$	$8.75 \times 10^{-3}$	$8.75 \times 10^{-3}$	$10 \times 10^{-3}$	$10 \times 10^{-3}$	$8.75 \times 10^{-3}$	$8.75 \times 10^{-3}$
2.	$8.75 \times 10^{-3}$	$8.125 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$10 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$
3.	$8.125 \times 10^{-3}$	$8.125 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$9.375 \times 10^{-3}$	$8.75 \times 10^{-3}$
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	$5 \times 10^{-3}$						
2.	$4.375 \times 10^{-3}$						
3.	$4.375 \times 10^{-3}$						
<b>20% стакленог праха</b>							
1.	$3.75 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$	$5 \times 10^{-3}$
2.	$3.75 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$
3.	$3.125 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$
<b>25% стакленог праха</b>							
1.	$3.75 \times 10^{-3}$						
2.	$3.125 \times 10^{-3}$						
3.	$3.125 \times 10^{-3}$						
<b>30% стакленог праха</b>							
1.	$3.125 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$
2.	$3.125 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$
3.	$2.5 \times 10^{-3}$	$3.125 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$

### 3.4.6. Резултати испитивања притиском

Испитивање притиском се врши тако што се припремак подвргава нормалном оптерећењу на притисак, по правилу до потпуног разарања оптерећених површина или прописаног скраћења припремка, јер код пластичних материјала не долази до лома припремка [12]. Испитивање је вршено краткотрајним растућим оптерећењем. За припремке за испитивање кориштени су шири дијелови стандардне епрувете за испитивање затезањем. Циљ испитивања је био да се одреди тренд промјене напона притиска до скраћења припремка од  $\Delta h = 5\text{mm}$ . План испитивања притиском представљен је на слици бр. 3.67.



Слика 3.67. План испитивања притиском

Испитивање притиском је вршено у лабораторији Института за испитивање материјала и конструкција Републике Српске, Бања Лука, фебруара 2010. год.

Подаци о мјерној машини на којој је вршено испитивање на притисак (приказана на слици бр. 3.70.):

1. Назив мјерила: Уређај за испитивање – хидраулична преса,
2. Произвођач мјерила: LOSENHAUSEN MASCHINENBAU AG, DÜSELDORF, Њемачка,
3. Серијски број: 23352/1971,

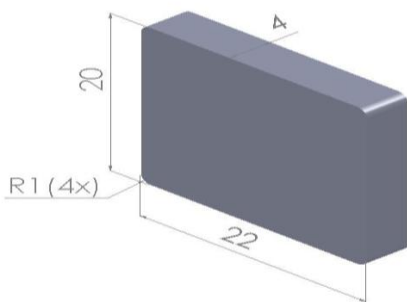
Димензије епрувете за испитивање притиском:

1. Почетна дужина припремка  $a_0 = 22\text{mm}$ ,
2. Почетна ширина припремка  $b_0 = 4\text{mm}$ ,
3. Почетна висина припремка  $h_0 = 20\text{mm}$ ,
4. Дефинисано скраћење припремка  $\Delta h = 5\text{mm}$ ,

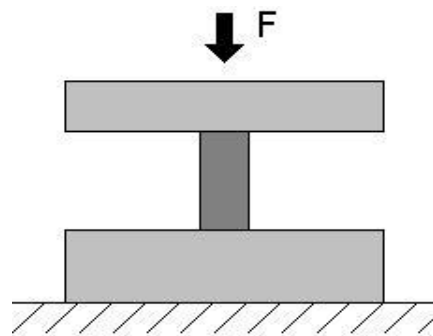
За један циклус вршено је испитивање три припремка. До лома припремка није долазило при постизању максималне силе притиска  $F_{pmax}$ , због пластичности материјала, па је испитивање вршено до дефинисаног скраћења припремка  $\Delta h$  те мјерена сила  $F_p$ . Припремци за испитивање изрезивани су из стандардне епрувете (приказани су на слици бр. 3.68.), а процес испитивања на слици бр. 3.69.

Резултат испитивања је сила притиска за дефинисано скраћење  $F_p[N]$ .

Резултати испитивања силе притиска за дефинисано скраћење приказани су у табели бр. 3.8.



Слика 3.68. Припремак за испитивање притиском



Слика 3.69. Приказ процеса испитивања притиском



Слика 3.70. Уређај за испитивање притиском - хидраулична кидалица



Процес испитивања притиском, почетна и завршна фаза испитивања приказе су сликама бр. 3.71. и 3.72.



Слика 3.71. Почетни положај испитивања притиском



Слика 3.72. Крајњи положај испитивања притиском

Табела 3.13. Резултати испитивања силе притиска за дефинисано скраћење од  $\Delta h=5\text{mm}$

СИЛА ПРИТИСКА за дефинисано скраћење $F_p$ [N]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	4800	4850	5200	5200	5200	4800	5000
2.	4800	4900	5000	5100	5000	5000	4800
3.	4900	5000	5100	5000	5100	5200	5200
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	4700						
2.	4600						
3.	4600						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	4400	4650	5000	5000	5000	5000	5200
2.	4600	4800	5000	5000	5000	5000	5000
3.	4600	5200	5200	5300	5200	5400	5000
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	4800						
2.	4600						
3.	4700						

20% стакленог праха							
1.	4900	4800	5200	5100	5000	5000	5200
2.	4900	4900	5200	5000	5200	5400	5400
3.	4800	5200	5000	5200	5300	5200	5000
25% стакленог праха							
1.	5400						
2.	5300						
3.	5100						
30% стакленог праха							
1.	5400	5100	5300	5300	5900	5600	5800
2.	5100	5800	5900	5900	5400	5300	5500
3.	5600	5200	5200	5200	5400	5600	5300

Притисна чврстоћа за дефинисано скраћење  $\sigma_p$  [N/mm<sup>2</sup>] се израчунава по обрасцу:  $\sigma_p = \frac{F_p}{A_0}$ , гдје је:  $A_0 = a_0 \cdot b_0$  – површина почетног попречног пресека.

Резултати израчунавања притисне чврстоће приказани су у табели бр. 3.14.

Табела 3.14. Резултати израчунавања притисне чврстоће за дефинисано скраћење од  $\Delta h=5\text{mm}$

ПРИТИСНА ЧВРСТОЋА за дефинисано скраћење $\sigma_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
0% стакленог праха							
1.	54.55	55.11	59.09	59.09	59.09	54.55	56.82
2.	54.55	55.68	56.82	57.95	56.82	56.82	54.55
3.	55.68	56.82	57.95	56.82	57.95	59.09	59.09
5% стакленог праха							
1.	53.41						
2.	52.27						
3.	52.27						
10% стакленог праха							
1.	50.00	52.84	56.82	56.82	56.82	56.82	59.09
2.	52.27	54.55	56.82	56.82	56.82	56.82	56.82
3.	52.27	59.09	59.09	60.23	59.09	61.36	56.82
15% стакленог праха							
1.	54.55						
2.	52.27						
3.	53.41						

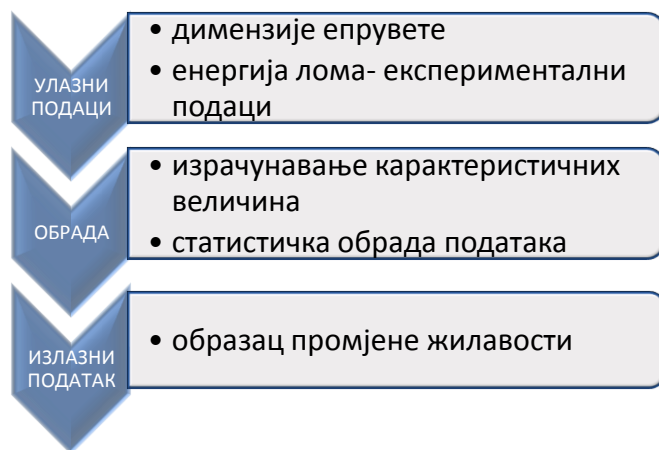
20% стакленог праха							
1.	55.68	54.55	59.09	57.95	56.82	59.09	59.09
2.	55.68	55.68	59.09	56.82	59.09	61.36	61.36
3.	54.55	59.09	56.82	59.09	60.23	59.09	59.09
25% стакленог праха							
1.	61.36						
2.	60.23						
3.	57.95						
30% стакленог праха							
1.	61.36	57.95	60.23	60.23	67.05	63.64	65.91
2.	57.95	65.91	67.05	67.05	61.36	60.23	62.50
3.	63.64	59.09	59.09	59.09	61.36	63.64	60.23

### 3.4.7. Резултати испитивања ударом

Испитивање ударом изводи се у сврху оцјене понашања материјала изложеног динамичком оптерећењу. Доносе се закључци о његовој кртости или жилавости.

Испитивање је прописано стандардом SRPS G.S2.616 за одређивање ударне жилавости крутих пластичних маса по шарпију.

План испитивања ударом представљен је на слици бр. 3.73.



Слика 3.73. План испитивања ударом

Испитивање ударом је вршено у лабораторији Института за испитивање материјала и конструкција Републике Српске, Бања Лука, фебруара 2010. год.

Жилавост је способност материјала да се супротстави ударном оптерећењу. Дефинише се као енергија потребна да изазове лом на епрувети дефинисаног геометријског облика или као енергија која је потребна да изазове лом на епрувети подијелена са површином попречног пресека [12, 45].

Карактеристичне механичке величине су: енергија лома  $E_L$ [J] и жилавост материјала  $\rho$ [J/cm<sup>2</sup>].

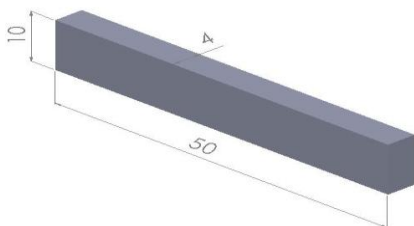
Подаци о мјерној машини на којој је вршено испитивање ударом (приказана на слици бр. 3.78.):

1. Назив мјерила: Уређај за испитивање жилавости - Шарпијево клатно,
2. Произвођач мјерила: VEB WERKSTOFFPRUFMASCHINEN, Leipzig, Њемачка,
3. Серијски број: 403/14,

Димензије епрувете за испитивање жилавости:

1. Дужина епрувете  $l = 50\text{mm}$ ,
2. Ширина епрувете  $b = 10\text{mm}$ ,
3. Дебљина епрувете  $s = 4\text{mm}$ ,

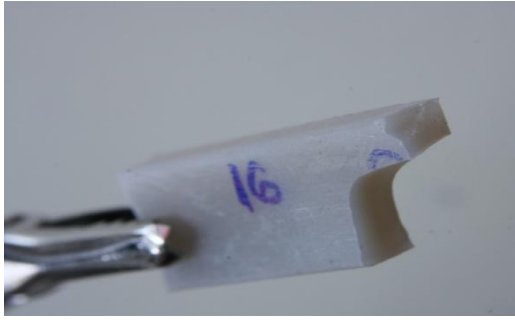
За један циклус вршено је испитивање три епрувете. Припремци за испитивање изрезивани су из ужег дијела стандардне епрувете (скица и фотографија приказани су на сликама бр. 3.74. и 3.75.). Припремак је димензија мале стандардне епрувете без жлијеба, ширине 10 mm. Ради постизања већег отпора удару је излаган шири дио пресека епрувете. Разлика у геометрији површине лома епрувете основног материјала и материјала са додатком 30% стакленог праха приказана је сликама бр. 3.76. и 3.77. Положај припремка за испитивање ударом и скица процеса испитивања ударом приказани су сликама бр. 3.79. и 3.80.



Слика 3.74. Припремак за испитивање ударом



Слика 3.75. Фотографија припремака за испитивање ударом PPса додатком 30% стакленог праха



Слика 3.76. Припремак након испитивања ударом (чист PP)



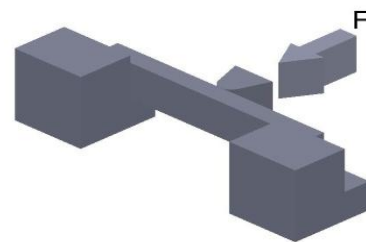
Слика 3.77. Припремак након испитивања ударом (PP са 30% стакленог праха)



Слика 3.78. Уређај за испитивање – шарпијево клатно



Слика 3.79. Положај припремка



Слика 3.80. Приказ процеса испитивања ударом

Резултат испитивања је енергија лома  $E_L$ [J].

Резултати испитивања енергије лома приказани су у табели бр. 3.15.

Табела 3.15. Резултати испитивања енергије лома

ЕНЕРГИЈА ЛОМА $E_L$ [J]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	12.5	12.5	12.5	12.5	12.75	12.5	12.5
2.	12.25	12	12.25	12.5	12.25	12.5	12.75
3.	12.5	12	12	12	12.75	12.75	12.5
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	10						
2.	10.25						
3.	10.25						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	10	10.5	10.5	10.25	10.75	10.5	10.5
2.	10	10.5	10.5	10.5	10.25	10.5	10.25
3.	10	10	10.5	10.5	10	10.25	10.25
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	10						
2.	10						
3.	10						
<b>20% стакленог праха</b>							
1.	10	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
2.	10	10	10	10.5	10	10	10
3.	10	10	10.5	10	10.5	10.5	10
<b>25% стакленог праха</b>							
1.	10						
2.	10						
3.	10						
<b>30% стакленог праха</b>							
1.	10	10	10	10	10	10	10
2.	10	10	10.25	10	10	10	10
3.	10	10.25	10	10.25	10	10	10

Жилавост материјала  $\rho$  [J/cm<sup>2</sup>] се израчунава по обрасцу:  $\rho = \frac{E_L}{A}$ , гдје је:  $A = b \cdot s$  – површина попречног пресека. Резултати израчунавања жилавости приказани су у табели бр. 3.16.

Табела 3.16. Резултати израчунавања жилавости

ЖИЛAVOCT $\rho$ [J/cm <sup>2</sup> ]							
Ред. број	Основни материјал	Прва прерада	Друга прерада	Трећа прерада	Четврта прерада	Пета прерада	Шеста прерада
<b>0% стакленог праха</b>							
1.	31.25	31.25	31.25	31.25	31.88	31.25	31.25
2.	30.62	30	30.62	30.5	30.25	31.25	31.88
3.	31.25	30	30	30	31.88	31.88	31.25
<b>5% стакленог праха</b>							
1.	25						
2.	25.62						
3.	25.62						
<b>10% стакленог праха</b>							
1.	25	26.25	26.25	25.62	26.88	26.25	26.25
2.	25	26.25	26.25	26.25	25.62	26.25	25.62
3.	25	25	26.25	26.25	25	25.62	25.62
<b>15% стакленог праха</b>							
1.	25						
2.	25						
3.	25						
<b>20% стакленог праха</b>							
1.	25	26.25	26.25	26.25	26.25	26.25	26.25
2.	25	25	25	26.25	25	25	25
3.	25	25	26.25	25	26.25	26.25	25
<b>25% стакленог праха</b>							
1.	25						
2.	25						
3.	25						
<b>30% стакленог праха</b>							
1.	25	25	25	25	25	25	25
2.	25	25	25.62	25	25	25	25
3.	25	25.62	25	25.62	25	25	25

## 4. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ФУНКЦИОНАЛНЕ ВЕЗЕ

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 аналитичким са задовољавајућом тачношћу.

### 4.1. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ЗАТЕЗАЊЕМ

Код испитивања затезањем добијени су резултати: затезне чврстоће, издужења и јединичне пластичне деформације који су подвргнути даљој обради.

#### 4.1.1. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ЗАТЕЗНЕ ЧВРСТОЋЕ

За обраду су кориштене средње вриједности затезне чврстоће, добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр.4.1.

Табела 4.1. Подаци за обраду

Удио стакла	Затезна чврстоћа $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] – средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	33.07	33.48	32.82	32.54	32.78	32.90	32.58
5%	30.78						
10%	30.04	30.04	30.62	30.08	29.96	30.37	29.92
15%	28.69						
20%	28.24	29.55	29.72	30.21	29.59	29.10	28.69
25%	27.80						
30%	27.75	28.45	28.04	28.08	27.59	27.51	27.59

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 затезне чврстоће, масеног удјела стакла и циклуса прераде.



Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена затезне чврстоће 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 затезне чврстоће и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену затезне чврстоће у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^{2.5} + c(s) \cdot e^{-x} \quad (7)$$

где су:

- $y(s, x)$  - затезна чврстоћа,  $[\text{N}/\text{mm}^2]$ ,
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a$ ,  $b$  и  $c$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0, 1, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a$ ,  $b$ , и  $c$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.2. Добро слагање претпостављене функције зависности (7) са осредњеним вриједностима затезне чврстоће су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели бр. 4.2.

Табела 4.2. Образац промјене затезне чврстоће и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)			Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$R_m(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^{2.5} + c(s) \cdot e^{-x}$				
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$	$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	29.903865	-0.00055386486	3.1699895	0.89769005	2.92872
I прер.	30.160569	-0.00034644511	3.3160605	0.99998456	2.219633
II прер.	30.575015	-0.00055431569	2.0656163	0.99968062	1.945667
III прер.	30.564687	-0.00047229163	1.9717979	0.96275204	1.55396
IV прер.	30.299101	-0.00053335009	2.4826418	0.99294925	2.192353
V прер.	30.406709	-0.00060248563	2.4976783	0.99487022	2.513646
IV прер.	29.862614	-0.00048085224	2.7147751	0.98921707	2.174294

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 + F \cdot s^5 \quad (8)$$

гдје је:

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

$A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  и  $F$  - вриједности коефицијената у једначини (8) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$  се одређује.

Вриједности коефицијената  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  и  $F$  су приказани у табели бр. 4.3.

Табела 4.3. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ , $b(s)$ и $c(s)$						
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot s^4 + Fa \cdot s^5$						
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot s^4 + Fb \cdot s^5$						
$c(s) = Ac + Bc \cdot s + Cc \cdot s^2 + Dc \cdot s^3 + Ec \cdot s^4 + Fc \cdot s^5$						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
$a(s)$	29.905982	-0.64404924	1.5150322	-0.76658902	0.14875568	-0.010020833
$b(s)$	$-5.5150725 \cdot 10^{-4}$	$8.1220098 \cdot 10^{-4}$	$-9.6817064 \cdot 10^{-4}$	$4.1828428 \cdot 10^{-4}$	$-7.657178 \cdot 10^{-5}$	$5.0079167 \cdot 10^{-6}$
$c(s)$	3.1702208	2.9382076	-4.3838447	1.9012765	-0.33160985	0.020425

	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$	Средње квадратно одступање - $\sigma^2$
$a(s)$	0.99287482	0.072776
$b(s)$	0.8738275	$5.99 \cdot 10^{-9}$
$c(s)$	0.99997102	0.222172

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.4. За рециклиране материјале полипропилена са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.4. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Затезна чврстоћа $R_m$ [N/mm <sup>2</sup> ] – обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	33.07	33.48	32.64	32.54	32.78	32.90	32.58
5%	29.89	30.16	30.56	30.55	30.29	30.39	29.85
10%	29.73	30.05	30.4	30.42	30.13	30.22	29.71
15%	29.42	29.86	30.09	30.15	29.83	29.88	29.44
20%	28.91	29.54	29.58	29.72	29.34	29.33	29
25%	28.17	29.08	28.84	29.09	28.64	28.52	28.36
30%	27.17	28.45	27.84	28.24	27.67	27.44	27.49

Тачност поступка је потврђена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.5.

$$\Delta = \frac{R_{m_t} - R_{m_c}}{R_{m_t}} \cdot 100\%$$

гдје су:

$R_{m_t}$  - средња вриједност затезне чврстоће добијена мјерењем

$R_{m_c}$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (7)

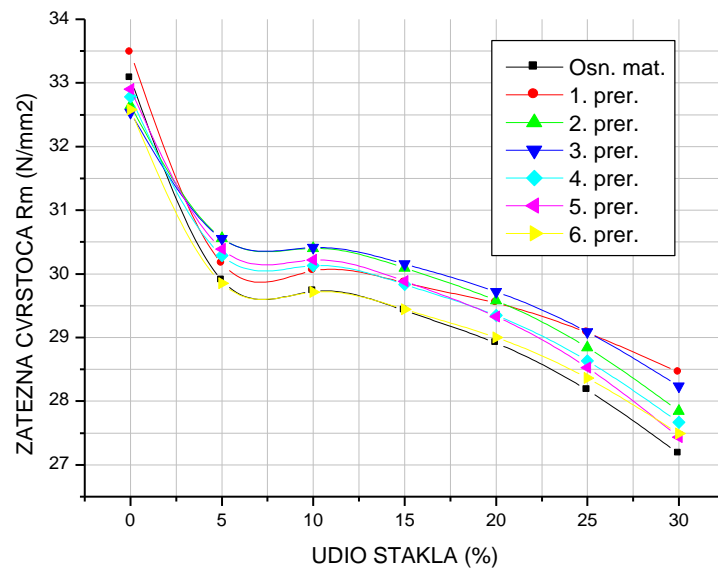
и (8)

Табела 4.5. Процентуална грешка за појединачна мјерења

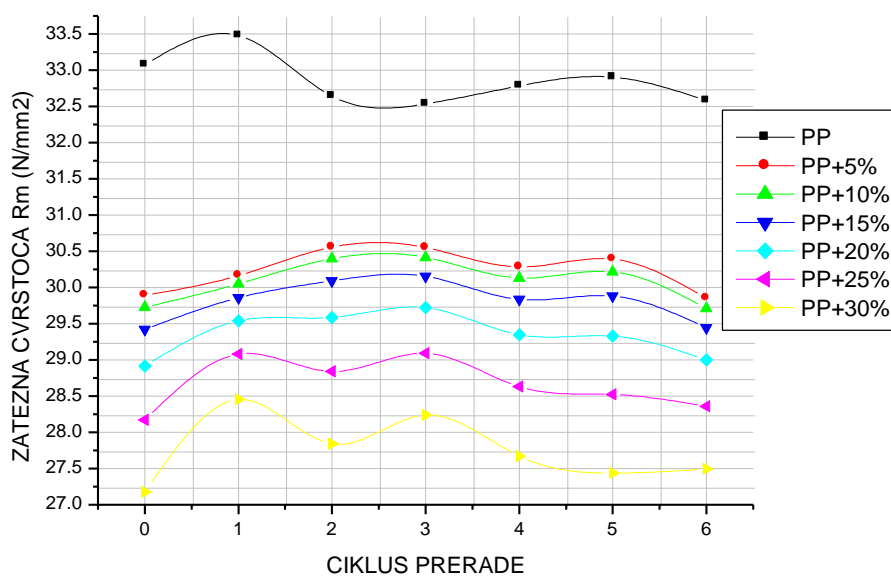
Удио стакла	Грешка $\Delta_{Rm}$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	0.02	0.001	0.55	0.002	0.001	0.001	0.001
5%	2.87						
10%	1.05	0.03	0.70	1.10	0.57	0.51	0.70
15%	2.53						
20%	2.37	0.04	0.45	1.61	0.84	0.78	1.07
25%	1.36						
30%	2.09	0.01	0.70	0.56	0.29	0.26	0.36

Максимална вриједност израчунате процентуалне грешке ( $\Delta$ ) износи 2,87% што је у границама потребне тачности.

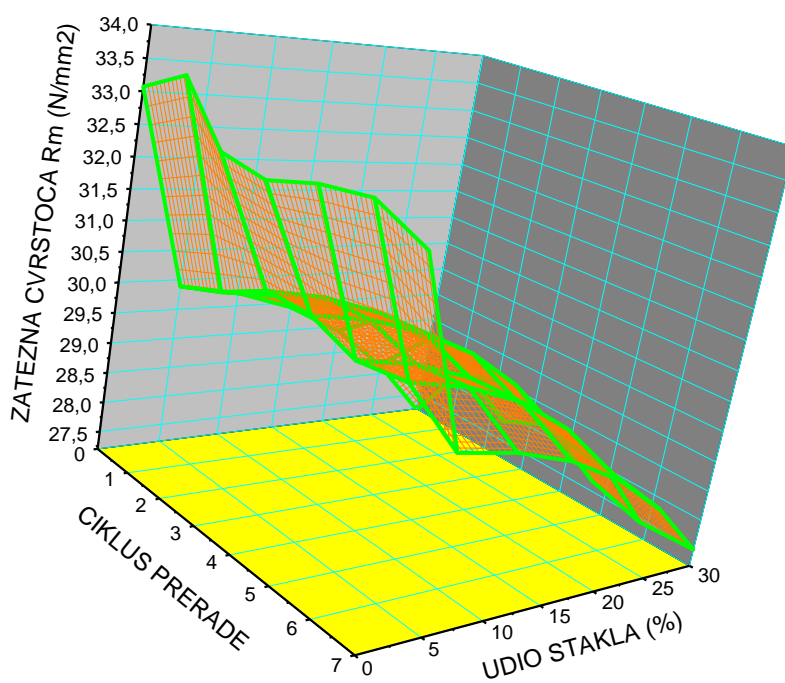
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на сликама бр. 4.1. до 4.3.



Слика 4.1. Дијаграм - 2D приказ промјене затезне чврстоће дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.2. Дијаграм - 2D приказ промјене затезне чврстоће дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.3. Дијаграм 3D приказ промјене затезне чврстоће полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима јасно се види да затезна чврстоћа расте код прве и друге прераде па даље кроз циклусе прераде лагано опада. Када се говори о промени 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 мало се разликује од промјене код материјала са додатком стакленог праха. Ни у првом ни у другом наведеном случају промјене нису радикалне и релативно једноставни математички обрасци (7) и (8) их описују са задовољавајућом прецизношћу. 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 додавањем пилећих пера у проценту од 0% до 50% полипропилену [16] затезна чврстоћа је континуирано опадала, слично описаној анализи.

#### 4.1.2. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИЗДУЖЕЊА ЗАТЕЗАЊЕМ

За обраду су кориштене средње вриједности издужења, добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр. 4.6

Табела 4.6. Подаци за обраду

ИЗДУЖЕЊЕ $\Delta l$ [mm] – средња вриједност						
PP	PP+5%	PP+10%	PP+15%	PP+20%	PP+25%	PP+30%
142.5	13.5	17	10.5	11	12.5	11

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 издужења и масеног удјела стакла за основни материјал.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата. У конкретном случају промјена издужења изражена је у зависности од удјела стакла у основном материјалу.

Описано подразумијева проналажење функционалне зависности која довољно добро описује везу између издужења и удјела масеног удјела стакла за основни циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе функционална веза која ће довољно добро описати промјену издужења у функцији масеног удјела стакла основни циклус прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x + c(s) \cdot x^{1.5} + d(x) \cdot x^{0.5} + k \cdot e^{-x} \quad (9)$$

гдје су:

- $y(s, x)$  – издужење, [mm],
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a, b, c, d$  и  $k$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0$ ).

Коефицијенти a, b, c, d и k уз промјенљиву (x) имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.7. Добро слагање претпостављене функције зависности (9) са осредњеним вриједностима издужења су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели бр.4.7.

Табела 4.7. Образац промјене издужења и коефицијенти

Образац промјене $\Delta l$ [mm] = f(P)				
(Удјела стакленог праха)				
$\Delta l(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x + c(s) \cdot x^{1.5} + d(x) \cdot x^{0.5} + k \cdot e^{-x}$				
a(s)	b(s)	c(s)	d(s)	k(s)
-51.656829	- 15.232728	1.2894326	56.359968	194.15403
Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање $\sigma^2$	
0.9989373			2068,775	

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.8.

Табела 4.8. Обрађени подаци по постотку стакла

ИЗДУЖЕЊЕ $\Delta l$ [mm] – рачунска вриједност						
PP	PP+5%	PP+10%	PP+15%	PP+20%	PP+25%	PP+30%
142.50	13.93	15.03	13.04	11.07	10.50	11.93

Тачност поступка је провјерена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.9.

$$\Delta = \frac{\Delta l_t - \Delta l_c}{\Delta l_t} \cdot 100\%$$

гдје су:

$\Delta l_t$  - средња вриједност издужења добијена мерењем

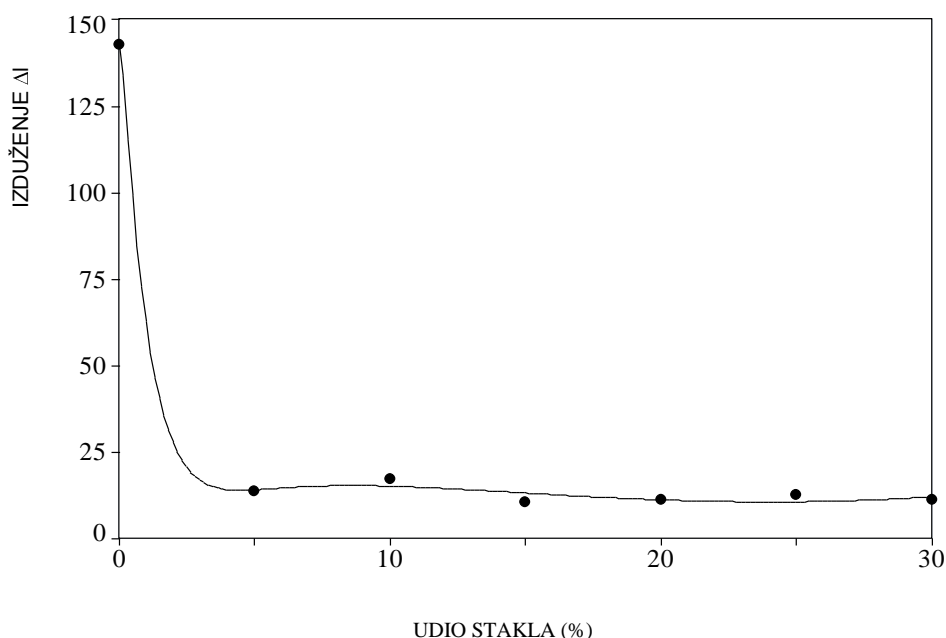
$\Delta l_c$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативне функције (9)



Табела 4.9. Процентуална грешка за појединачна мјерења

Грешка $\Delta_{\Delta l}$ [%]						
PP	PP+5%	PP+10%	PP+15%	PP+20%	PP+25%	PP+30%
0.002	3.18	11.61	24.22	0.62	15.97	8.48

Графички приказ функционалне зависности за основни материјал  $\Delta l = f(x)$  [mm], представљен је на слици бр. 4.4.



Слика 4.4. Дијаграм - 2D приказ промјене издужења дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха

Из табеларног и графичког приказа види се да се код основног материјала полипропилена вриједности издужења битно разликују, а у већини случајева није дошло до кидања епрувете при максималном ходу стезног алата мјерне машине, те се димензије не могу узети као мјеродавне. Додавањем стакленог праха у основни материјал долази до уједначавања измерених вриједности. У односу на садржај стакленог праха од 5% издужење се повећава за 6,67% код саджаја 10% те опада за 13,33% код саджаја 15% стакленог праха. Даљи тренд промјене је релативно низак, креће се у граници испод 10%. Функција се описује релативно једноставним математиким обрасцем (9).

Поједини истраживачи успијевали су побољшати издужење повећањем садржаја влаге у материјалу што је постизано ураћањем у каду са водом одређени временски период, али је истовремено долазило до смањења максималне силе затезања [8].

### 4.1.3 ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ЈЕДИНИЧНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ ЗАТЕЗАЊЕМ

За обраду су кориштене средње вриједности јединичне пластичне деформације, добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр. 4.10.

Табела 4.10. Подаци за обраду

Удио стакла	ЈЕДИНИЧНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЈА $\epsilon_{pl}$ – средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	-	-	-	-	-	-	-
5%	$5.125 \times 10^{-2}$						
10%	$4.75 \times 10^{-2}$	$5.75 \times 10^{-2}$	$6.375 \times 10^{-2}$	$7.25 \times 10^{-2}$	$7.375 \times 10^{-2}$	$8.75 \times 10^{-2}$	$9.5 \times 10^{-2}$
15%	$3.25 \times 10^{-2}$						
20%	$3.083 \times 10^{-2}$	$3.292 \times 10^{-2}$	$3.792 \times 10^{-2}$	$4.25 \times 10^{-2}$	$4.25 \times 10^{-2}$	$5.417 \times 10^{-2}$	$5.667 \times 10^{-2}$
25%	$2.917 \times 10^{-2}$						
30%	$2.167 \times 10^{-2}$	$3.208 \times 10^{-2}$	$3.417 \times 10^{-2}$	$4.375 \times 10^{-2}$	$4.375 \times 10^{-2}$	$4.833 \times 10^{-2}$	$5.458 \times 10^{-2}$

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 јединичне пластичне деформације, масеног удјела стакла и циклуса прераде.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена јединичне пластичне деформације 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 јединичне пластичне деформације и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену јединичне

пластичне деформације у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + \frac{b(s)}{x} \quad (10)$$

гдје су:

- $y(s, x)$  - јединична пластична деформација,
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a$  и  $b$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 1, 2, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a$  и  $b$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.11. Добро слагање претпостављене функције зависности (10) са осредњеним вриједностима јединичне пластичне деформације су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели бр. 4.11.

Табела 4.11. Образац промјене јединичне пластичне деформације и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене $\varepsilon_{pl} = f(N, P)$ (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)		Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$\varepsilon_{pl}(s, x) = a(s) + \frac{b(s)}{x}$			
	$a(s)$	$b(s)$	$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	0.022141776	0.16340071	0.8013962	$8.69167 \cdot 10^{-5}$
I прер.	0.015977423	0.40673308	0.95503102	0.000537
II прер.	0.017131962	0.46057154	0.98423566	0.000691
III прер.	0.024182692	0.47019231	0.92394631	0.000715
IV прер.	0.023365385	0.49038462	0.9247408	0.000775
V прер.	0.026313962	0.60577154	0.98920648	0.001178
IV прер.	0.029438962	0.64327154	0.9617826	0.001352

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$  и  $b(s)$ . На

начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 \quad (11)$$

гдје је:

$z(s)$  - вриједности коефицијената  $a(s)$  и  $b(s)$

$A, B, C, D$  и  $E$  - вриједности коефицијената у једначини (11) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$  и  $b(s)$  се одређује

Вриједности коефицијената  $A, B, C, D$  и  $E$  су приказани у табели бр. 4.12.

Табела 4.12. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ и $b(s)$					
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot s^4$					
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot s^4$					
	A	B	C	D	K
$a(s)$	0.022192275	-0.014728379	0.010245164	-0.0022710325	0.00016778795
$b(s)$	0.16185143	0.42769392	-0.22177929	0.047673011	-0.0033916878
	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање - $\sigma^2$	
$a(s)$	0.95098748			$1.96149 \cdot 10^{-5}$	
$b(s)$	0.99650165			0.005995	

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.13. За рециклиране материјале полипропилена са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.13. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Јединична пластична деформација $\varepsilon_{pl}$ – обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	-	-	-	-	-	-	-
5%	$5.5 \times 10^{-2}$	$9.7 \times 10^{-2}$	$10.9 \times 10^{-2}$	$11.8 \times 10^{-2}$	$12.1 \times 10^{-2}$	$14.7 \times 10^{-2}$	$15.8 \times 10^{-2}$
10%	$3.8 \times 10^{-2}$	$5.7 \times 10^{-2}$	$6.3 \times 10^{-2}$	$7.1 \times 10^{-2}$	$7.2 \times 10^{-2}$	$8.7 \times 10^{-2}$	$9.4 \times 10^{-2}$
15%	$3.3 \times 10^{-2}$	$4.3 \times 10^{-2}$	$4.8 \times 10^{-2}$	$5.6 \times 10^{-2}$	$5.6 \times 10^{-2}$	$6.7 \times 10^{-2}$	$7.2 \times 10^{-2}$
20%	$3 \times 10^{-2}$	$3.6 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$4.8 \times 10^{-2}$	$4.8 \times 10^{-2}$	$5.7 \times 10^{-2}$	$6.2 \times 10^{-2}$
25%	$2.9 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-2}$	$3.6 \times 10^{-2}$	$4.3 \times 10^{-2}$	$4.3 \times 10^{-2}$	$5.1 \times 10^{-2}$	$5.5 \times 10^{-2}$
30%	$2.8 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$	$3.2 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$4.7 \times 10^{-2}$	$5.1 \times 10^{-2}$

Тачност поступка је провјерена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.14.

$$\Delta = \frac{\varepsilon_{pl_t} - \varepsilon_{pl_c}}{\varepsilon_{pl_t}} \cdot 100\%$$

гдје су:

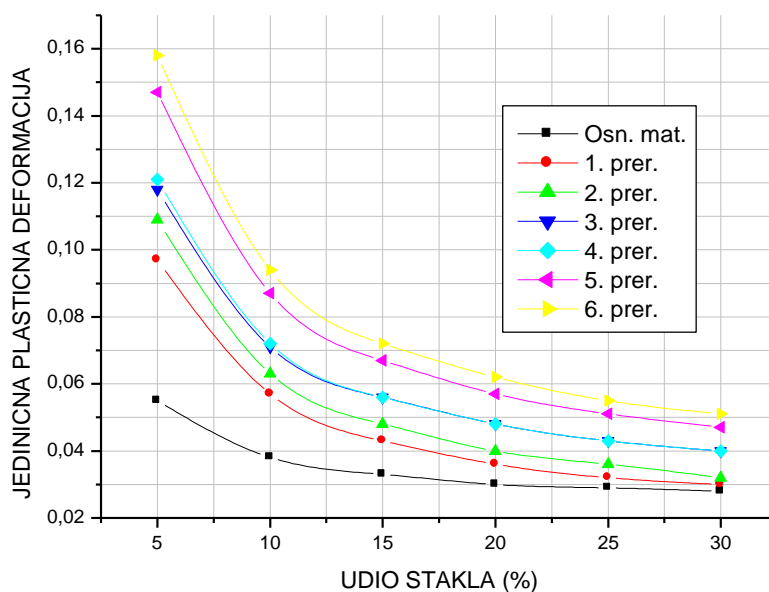
$\varepsilon_{pl_t}$  - средња вриједност јединичне пластичне деформације добијена мјерењем

$\varepsilon_{pl_c}$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (10) и (11)

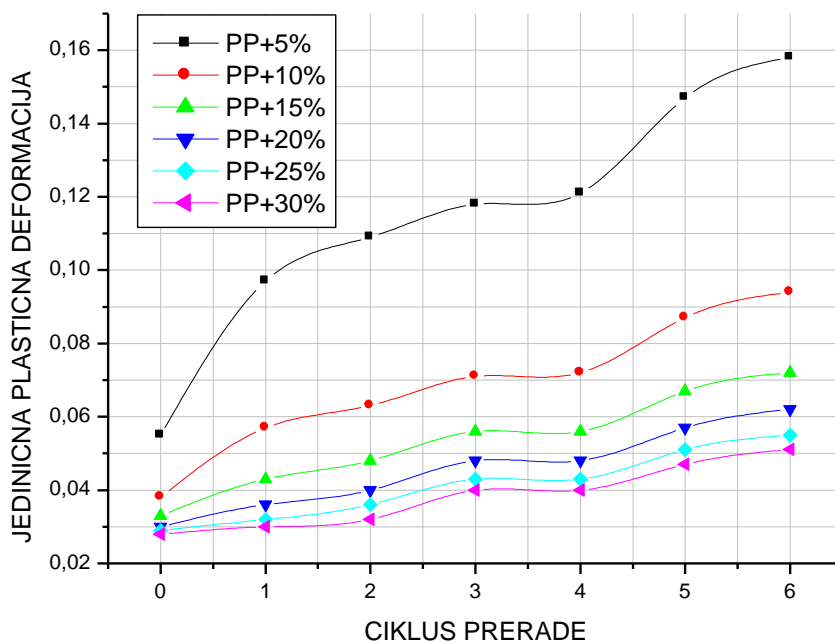
Табела 4.14. Процентуална грешка за појединачна мјерења

Удио стакла	Грешка $\Delta_{\varepsilon_{pl}}$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	-	-	-	-	-	-	-
5%	7.32						
10%	20	0.87	1.18	2.07	2.37	0.57	1.05
15%	1.54						
20%	2.70	9.37	5.49	12.94	12.94	5.23	9.41
25%	0.57						
30%	29.23	6.49	6.34	8.57	8.57	2.76	6.56

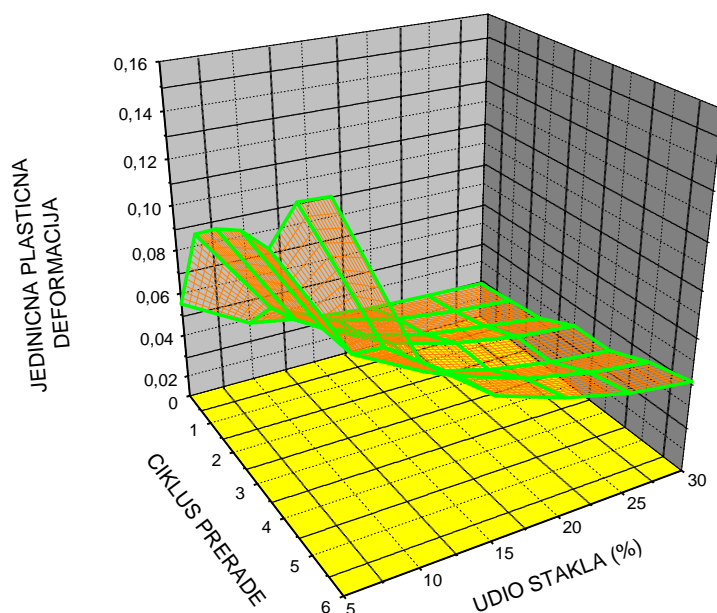
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на сликама бр. 4.5. до 4.7., упоредним дијаграмима (2D) и просторним дијаграмом (3D).



Слика 4.5. Дијаграм - 2D приказ промјене јединичне пластичне деформације дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.6. Дијаграм - 2D приказ промјене јединичне пластичне деформације дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.7. Дијаграм 3D приказ промјене јединичне пластичне деформације полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима јасно се види да јединична пластична деформација код краткотрајног растућег оптерећења на затезање расте кроз циклусе прераде. Те да опада са додавањем стакленог праха основном материјалу. Највећи пад се појављује између 5% и 10% додатка стакленог праха, нешто блажи у интервалу 10% до 15% додатка стакленог праха, те скоро линеаран, благ пад даље до 30% удјела стакленог праха. Функција кроз циклусе прераде спорије расте са већим дефинисаним садржајем стакленог праха у основном материјалу.

Промјене функције  $\varepsilon_{pl} = f(s, x)$  релативно једноставни математички обрасци (10) и (11) описују са задовољавајућом тачношћу.



## 4.2. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА СМИЦАЊЕМ

За обраду су кориштене средње вриједности смицајне чврстоће [35], добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр. 4.15.

Табела 4.15. Подаци за обраду

Удио стакла	Смицања чврстоћа $\tau_s$ [N/mm <sup>2</sup> ] – средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	29.91	30.39	29.86	29.81	29.91	30.13	30.30
5%	29.01						
10%	28.16	29.81	29.49	29.49	29.49	29.74	30.12
15%	28.05						
20%	28	29.44	28.90	28.53	28.96	29	29.05
25%	27.10						
30%	27.03	28	27.47	27.58	27.20	27.31	28.05

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 смицајне чврстоће, масеног удјела стакла и циклуса прераде.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена смицајне чврстоће 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 смицајне чврстоће и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену смицајне чврстоће у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot e^{-x} \quad (12)$$

гдје су:

- $y(s, x)$  - смицајна чврстоћа, [N/mm<sup>2</sup>],
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a, b$  и  $c$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0, 1, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a$ ,  $b$ , и  $c$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.16. Добро слагање претпостављене функције зависности (12) са осредњеним вриједностима смицајне чврстоће су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели бр. 4.16.

Табела 4.16. Образац промјене смицајне чврстоће и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене $\tau_s = f(N, P)$ (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)			Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$\tau_s(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot e^{-x}$				
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$	$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	28.658986	-0.0020266181	1.2573728	0.9337126	0.831651
I прер.	30.164198	-0.0023204853	0.22770611	0.98038698	0.580647
II прер.	29.815047	-0.0025590431	0.045539658	0.99411938	0.649526
III прер.	29.625276	-0.002342164	0.18217881	0.98775558	0.578887
IV прер.	29.913727	-0.0029223007	-0.000013489797	0.98374003	0.832576
V прер.	30.12031	-0.0030771265	0.0059369326	0.9961424	0.924817
IV прер.	30.25063	-0.0025192916	0.035024936	0.9830806	0.628013

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot e^{-s} \quad (13)$$

гдје је:

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

$A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $E$  - вриједности коефицијената у једначини (13) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$  се одређује

Вриједности коефицијената  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $E$  су приказани у табели бр. 4.17.

Табела 4.17. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ , $b(s)$ и $c(s)$					
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot e^{-s}$					
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot e^{-s}$					
$c(s) = Ac + Bc \cdot s + Cc \cdot s^2 + Dc \cdot s^3 + Ec \cdot e^{-s}$					
	A	B	C	D	K
$a(s)$	38.274125	-5.8269366	1.3242006	-0.095957991	-9.6105565
$b(s)$	-0.0068964306	0.0036048876	-0.0010074307	0.000087893502	0.0048847419
$c(s)$	-2.7301425	1.859086	-0.41945149	0.031037069	3.9902179
	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање - $\sigma^2$	
$a(s)$	0.99298515			0.254789	
$b(s)$	0.88364211			$1.12 \cdot 10^{-07}$	
$c(s)$	0.99026472			0.175712	

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.18. За рециклиране материјале полипропилена са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.18. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Смицајна чврстоћа $\tau_s$ [N/mm <sup>2</sup> ] – обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	29.92	30.39	29.86	29.81	29.91	30.13	30.29
5%	28.62	30.11	29.75	29.57	29.84	30.04	30.19

10%	28.46	29.93	29.56	29.39	29.62	29.81	30
15%	28.20	29.64	29.24	29.10	29.26	29.43	29.68
20%	27.85	29.24	28.79	28.69	28.74	29	29.23
25%	27.39	28.71	28.22	28.16	28.09	28.20	28.68
30%	26.84	28.08	27.51	27.52	27.28	27.35	27.98

Тачност поступка је потврђена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.19.

$$\Delta = \frac{\tau_{st} - \tau_{sc}}{\tau_{st}} \cdot 100\%$$

гдје су:

$\tau_{st}$  - средња вриједност смицајне чврстоће добијена мјерењем

$\tau_{sc}$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (12)

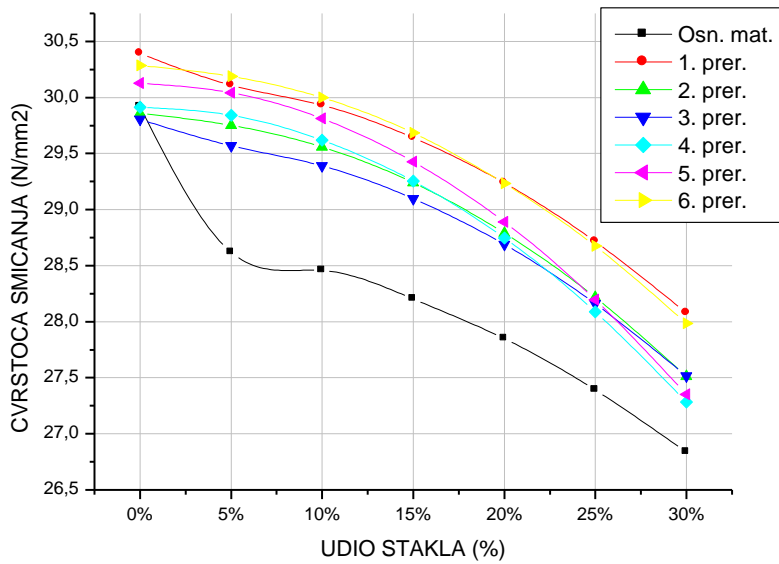
и (13)

Табела 4.19. Процентуална грешка за појединачна мјерења

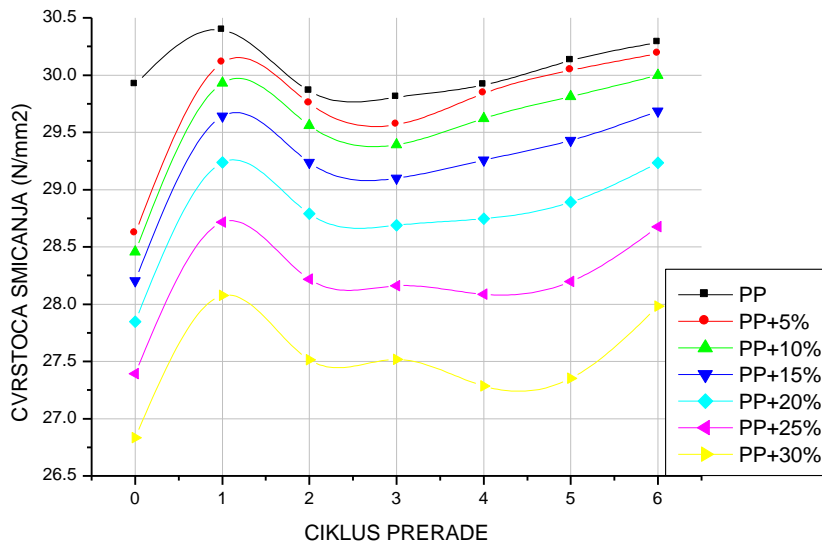
Удио стакла	Грешка $\Delta_{cs}$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	0.01	0.0003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
5%	1.36						
10%	1.05	0.42	0.24	0.33	0.45	0.23	0.39
15%	0.53						
20%	0.55	0.68	0.39	0.55	0.73	0.38	0.62
25%	1.09						
30%	0.73	0.27	0.15	0.21	0.29	0.15	0.25

Максимална вриједност израчунате процентуалне грешке ( $\Delta$ ) износи 1,36% што је у границама потребне тачности.

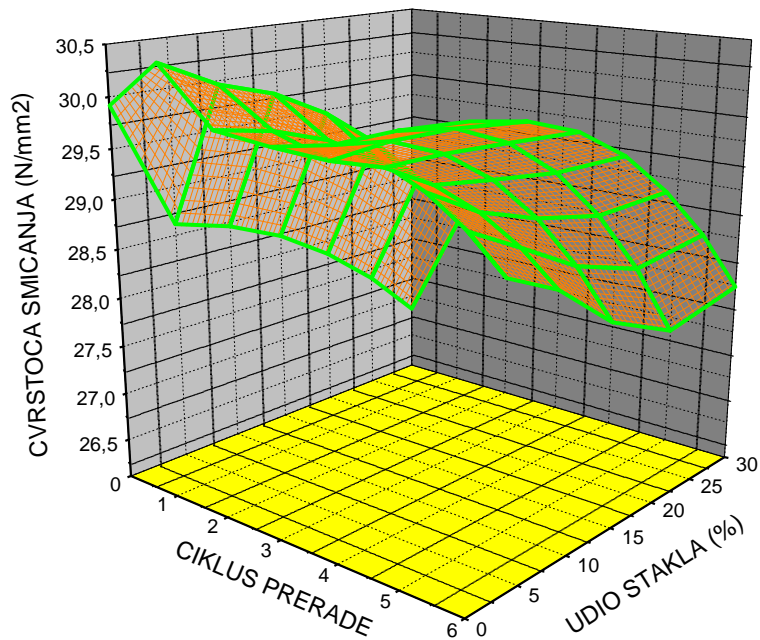
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на следећим сликама, упоредним дијаграмима (2D) и просторним дијаграмом (3D) сликама бр. 4.8. до 4.10.



Слика 4.8. Дијаграм - 2D приказ промјене смицајне чврстоће дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.9. Дијаграм - 2D приказ промјене смицајне чврстоће дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.10. Дијаграм 3D приказ промјене смицајне чврстоће полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима јасно се види да смицајна чврстоћа расте код прве прераде за око 10% па опада до трећег циклуса прераде, па затим поново расте (све даљње 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. Промјене описују релативно једноставни математички обрасци (12) и (13).

### 4.3. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА САВИЈАЊЕМ

За обраду су кориштене средње вриједности савојне чврстоће за дефинисан угао савијања [34], добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр. 4.20.

Табела 4.20. Подаци за обраду – средње вриједности измјерених величина

Удио стакла	Савојна чврстоћа $\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]– средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	76.10	84.55	85.35	82.40	82.40	82.40	83.14
5%	70.56						
10%	70.43	75.78	77.25	76.22	75.05	75.05	74.25
15%	70.04						
20%	69.77	73.58	74.31	70.98	70.05	70.05	70.31
25%	68.63						
30%	67.49	68.22	67.69	66.22	66.22	66.22	66.22

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 савојне чврстоће, масеног удјела стакла и циклуса прераде.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена савојне чврстоће 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 савојне чврстоће и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену савојне чврстоће у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x} \quad (14)$$

гдје су:

- $y(s, x)$  - савојна чврстоћа, [N/mm<sup>2</sup>],
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a$ ,  $b$  и  $c$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0, 1, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a$ ,  $b$ , и  $c$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.21. Добро слагање претпостављене функције зависности (14) са осредњеним вриједностима савојне чврстоће су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели бр. 4.21.

Табела 4.21. Образац промјене савојне чврстоће и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене $\sigma_s = f(N, P)$ (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)			Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$\sigma_s(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x}$				
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$	$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	70.524247	-0.00011352235	5.57934	0.99888779	4.898152
I прер.	75.993447	-0.00028905506	8.5608068	0.99986993	21.93399
II прер.	77.449965	-0.00036379894	7.8970424	0.99947678	25.76337
III прер.	75.413529	-0.0003564016	6.9905234	0.9721992	22.78019
IV прер.	74.16366	-0.00031058076	8.2403945	0.9707965	22.57335
V прер.	74.16366	-0.00031058076	8.2403945	0.9707965	22.57335
IV прер.	73.730821	-0.00028929658	9.4089657	0.98746501	24.33974

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 + F \cdot s^5 \quad (15)$$



гдје је:

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

$A, B, C, D, E$  и  $F$  - вриједности коефицијената у једначини (15) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$  се одређује

Вриједности коефицијената  $A, B, C, D, E$  и  $F$  су приказани у табели бр. 4.22.

Табела 4.22. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ , $b(s)$ и $c(s)$						
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot s^4 + Fa \cdot s^5$						
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot s^4 + Fb \cdot s^5$						
$c(s) = Ac + Bc \cdot s + Cc \cdot s^2 + Dc \cdot s^3 + Ec \cdot s^4 + Fc \cdot s^5$						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
$a(s)$	70.51424	7.1339385	-0.83611597	-1.0491421	0.31517426	-0.024607512
$b(s)$	- 0.00011374639	-1.8545869·10 <sup>-4</sup>	-2.26889·10 <sup>-5</sup>	4.3809002·10 <sup>-5</sup>	-1.0358752·10 <sup>-5</sup>	7.3507917·10 <sup>-7</sup>
$c(s)$	5.5615563	8.6769282	-8.1137974	2.9962868	-0.48191477	0.028450147
	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање - $\sigma^2$		
$a(s)$	0.9967411			4.055883		
$b(s)$	0.9988882			5.98·10 <sup>-9</sup>		
$c(s)$	0.9680176			1.305299		

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.23. За рециклиране материјале полипропилен са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.23. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Савојна чврстоћа $\sigma_s$ [N/mm <sup>2</sup> ]- обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	76.10	84.55	85.35	82.40	82.40	82.40	83.14
5%	70.55	76.02	77.46	75.42	74.18	74.18	73.76

10%	70.41	75.70	77.09	75.06	73.85	73.85	73.44
15%	70.14	75.02	76.22	74.21	73.12	73.12	72.75
20%	69.62	73.68	74.54	72.56	71.68	71.68	71.42
25%	68.75	71.45	71.77	69.84	69.31	69.31	69.21
30%	67.46	68.19	67.63	65.79	65.78	65.78	65.92

Тачност поступка је потврђена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.24.

$$\Delta = \frac{\sigma_{st} - \sigma_{sc}}{\sigma_{st}} \cdot 100\%$$

гдје су:

$\sigma_{st}$  - средња вриједност савојне чврстоће добијена мјерењем

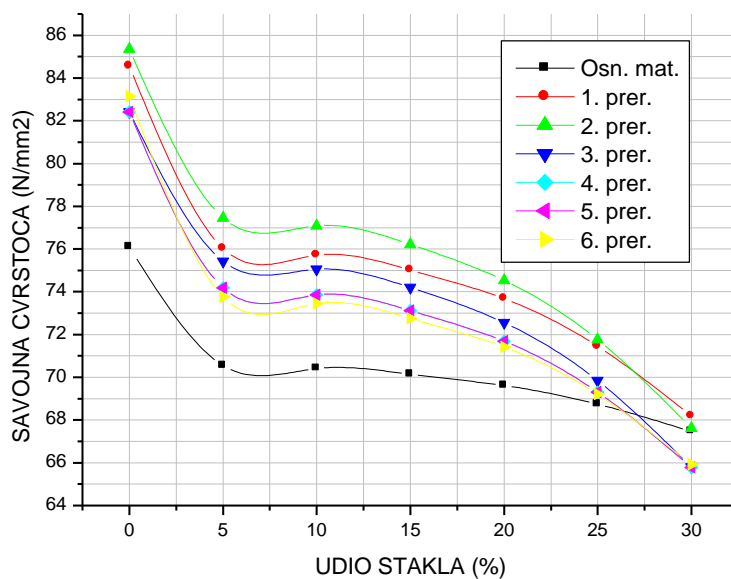
$\sigma_{sc}$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (14) и (15)

Табела 4.24. Процентуална грешка за појединачна мјерења

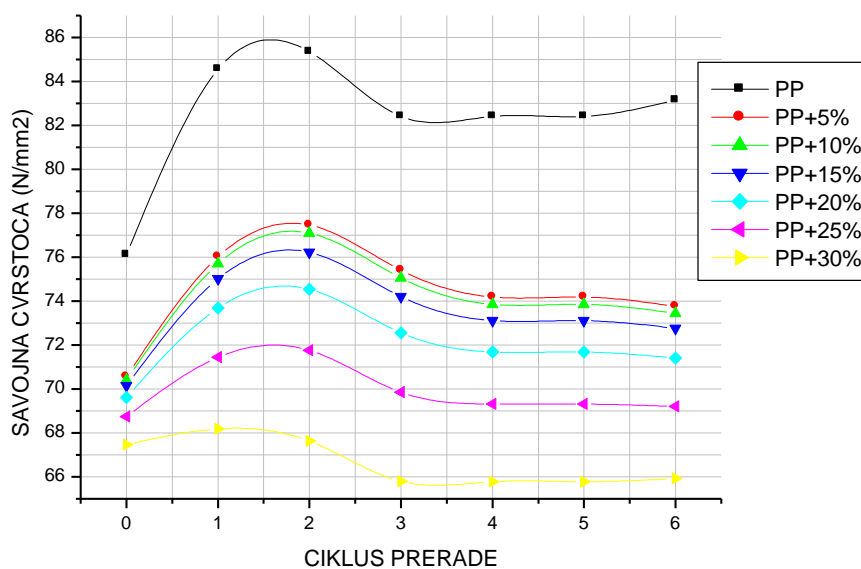
Удио стакла	Грешка $\Delta_{os}$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	0.001	0.0003	0	0	0	0	0.0003
5%	0.02						
10%	0.03	0.10	0.22	1.52	1.59	1.59	1.09
15%	0.14						
20%	0.22	0.14	0.31	2.23	2.33	2.33	1.57
25%	0.17						
30%	0.05	0.04	0.09	0.64	0.66	0.66	0.45

Максимална вриједност израчунате процентуалне грешке ( $\Delta$ ) износи 2,33% што је у границама потребне тачности.

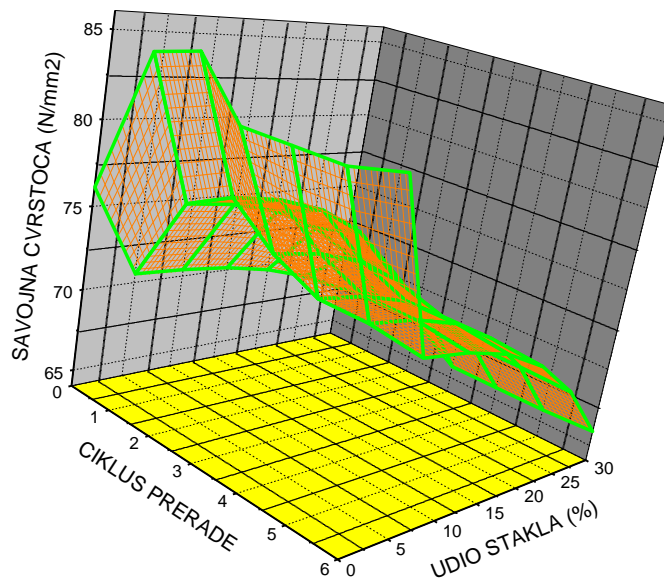
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на сликама бр. 4.11. до 4.13., упоредним дијаграмима (2D) и просторним дијаграмом (3D).



Слика 4.11. Дијаграм - 2D приказ промјене савојне чврстоће дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.12. Дијаграм - 2D приказ промјене савојне чврстоће дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.13. Дијаграм 3D приказ промјене савојне чврстоће полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима се види да савојна чврстоћа расте до друге прераде за око 10% па даље кроз циклусе опада до четврте прераде за око 5%. Даље до шестог циклуса задржава релативно константан тренд промјене. Такође се види да савојна чврстоћа опада са додавањем стакленог праха основном материјалу од 0% до 5% додатка стакленог праха опадне за 10%. Додавањем стакленог праха до 15% промјена савојне чврстоће је релативно константна, да би даљим додавањем праха наставила да лагано опада, скоро линеарно (испод 3% на даљих 5% додатка стакленог праха). Промјене описују релативно једноставни математички обрасци (14) и (15).

#### 4.4. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ТВРДОЋЕ

За обраду су кориштене средње вриједности тврдоће [20], добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр. 4.25.

Табела 4.25. Подаци за обраду – средње вриједности измјерених величина

Удио стакла	Тврдоћа HS [Shore – D] – средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	69.5	69.37	69.23	69.1	69.17	69.8	70.03
5%	69.3						
10%	69.17	70.4	69.9	69.9	70.03	70.27	70.33
15%	69.27						
20%	70.33	72.37	70.2	71.17	71.57	70.77	70.67
25%	71.03						
30%	70.83	70.2	70.43	70.7	70.57	70.5	70.6

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 тврдоће, масеног удјела стакла и циклуса прераде.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена тврдоће 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 тврдоће и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену тврдоће у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2.5} \quad (16)$$

гдје су:

- $y(s, x)$  - тврдоћа, [Shore – D]
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a$ ,  $b$  и  $c$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0, 1, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a$ ,  $b$ , и  $c$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.26. Добро слагање претпостављене функције зависности (16) са осредњеним вриједностима тврдоће су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели бр. 4.26.

Табела 4.26. Образац промјене тврдоће и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене HS-D = f(N,P) (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)			Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$		
	$HS(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2.5}$				
				$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	69.203	0.002887	-0.00014017798	0.80876765	0.831651
I прер.	69.172	0.036	-0.0062650603	0.95948134	0.580647
II прер.	69.33	0.00785	-0.0012143291	0.9408154	0.649526
III прер.	69.046	0.02	-0.0032956101	0.99397893	0.578887
IV прер.	69.061	0.025	-0.0042716492	0.98074554	0.832576
V прер.	69.804	0.009734	-0.001636088	0.99984584	0.924817
IV прер.	70.039	0.002887	-0.00095724153	0.99927889	0.628013

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 + F \cdot s^5 \quad (17)$$

гдје је:

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

$A, B, C, D, E$  и  $F$  - вриједности коефицијената у једначини (17) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$  се одређује

Вриједности коефицијената  $A, B, C, D, E$  и  $F$  су приказани у табели бр. 4.27.

Табела 4.27. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ , $b(s)$ и $c(s)$						
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot s^4 + Fa \cdot s^5$						
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot s^4 + Fb \cdot s^5$						
$c(s) = Ac + Bc \cdot s + Cc \cdot s^2 + Dc \cdot s^3 + Ec \cdot s^4 + Fc \cdot s^5$						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
$a(s)$	69.202438	-0.94584717	1.6166879	-0.86709547	0.18054234	-0.012651683
$b(s)$	0.0030671327	0.13368781	-0.15995616	0.069375273	-0.012544515	0.00080142817
$c(s)$	-0.00017257194	-0.02462542	0.029188452	-0.012581978	0.002265071	-0.00014424813
	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање - $\sigma^2$		
$a(s)$	0.8613022			0.254789		
$b(s)$	0.86481619			$1.12 \times 10^{-07}$		
$c(s)$	0.87763864			0.175712		

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.28. За рециклиране материјале полипропилена са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.28. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Тврдоћа HS [Shore – D] – обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	69.20	69.17	69.33	69.05	69.06	69.80	70.04

5%	69.27	69.71	69.46	69.36	69.45	69.96	70.13
10%	69.45	70.74	69.73	69.99	70.22	70.26	70.32
15%	69.73	71.70	70.04	70.65	70.99	70.57	70.52
20%	70.11	72.17	70.30	71.11	71.46	70.77	70.67
25%	70.57	71.79	70.44	71.19	71.40	70.78	70.71
30%	71.11	70.25	70.41	70.71	70.59	70.50	70.60

Тачност поступка је потврђена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.29.

$$\Delta = \frac{HS_t - HS_c}{HS_t} \cdot 100\%$$

гдје су:

$HS_t$  - средња вриједност тврдоће добијена мјерењем

$HS_c$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (16) и (17)

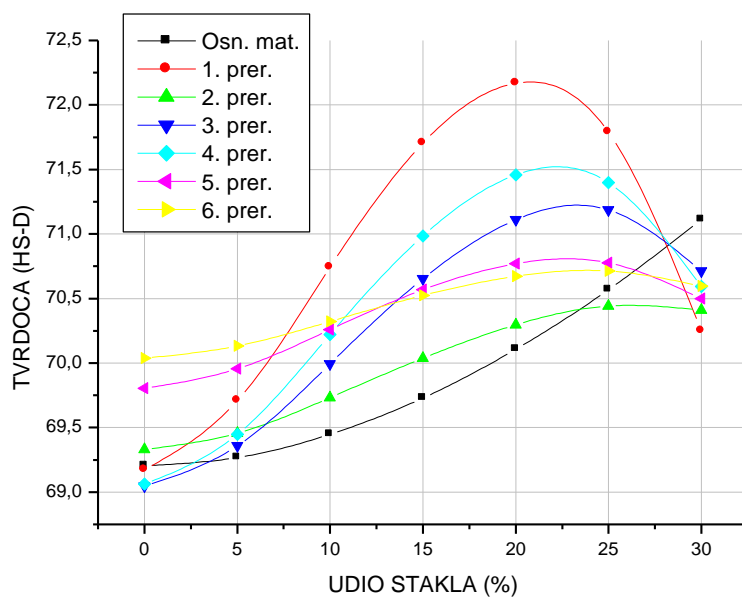
Табела 4.29. Процентуална грешка за појединачна мјерења

Удио стакла	Грешка $\Delta_{HS-D}$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	0.43	0.28	0.14	0.08	0.15	0.01	0.01
5%	0.05						
10%	0.41	0.49	0.24	0.13	0.27	0.01	0.015
15%	0.67						
20%	0.32	0.27	0.14	0.08	0.15	0.01	0.01
25%	0.65						
30%	0.39	0.07	0.04	0.02	0.04	0.001	0.003

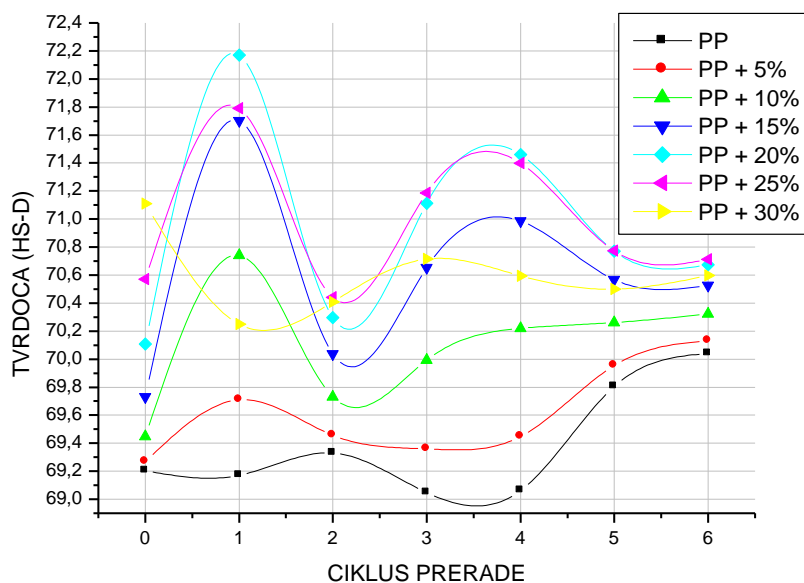
Максимална вриједност израчунате процентуалне грешке ( $\Delta$ ) износи 0,67% што је у границама потребне тачности.



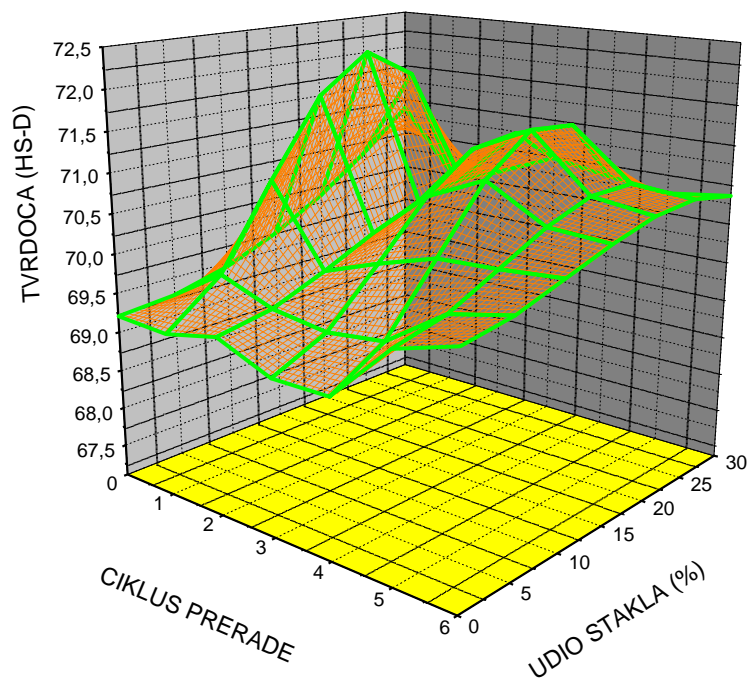
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на сликама бр. 4.14. до 4.16., упоредним дијаграмима (2D) и просторним дијаграмом (3D).



Слика 4.14. Дијаграм - 2D приказ промјене тврдоће дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.15. Дијаграм - 2D приказ промјене тврдоће дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.16. Дијаграм 3D приказ промјене тврдоће полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима јасно се види да 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 на даље опада. Разлика је код посматрања основног материјала гдје тврдоћа константно расте. Промјене нису са великим разликама по фазама посматрања, описују их релативно једноставни математички обрасци (16) и (17). 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 (постигана је до 10% већа тврдоћа од тврдоће полипропилена коришћеног у експерименту (74-78 Shore D) [63] и (70-76 Shore D) [64]).

#### 4.5. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ПУЗАЊЕМ

За обраду су кориштене средње вриједности јединичне пластичне деформације, добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр. 4.30.

Табела 4.30. Подаци за обраду

Удио стакла	ЈЕДИНИЧНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЈА - ПУЗАЊЕ $\epsilon_{pp1}$ – средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	$6.25 \times 10^{-3}$	$5.833 \times 10^{-3}$	$6.875 \times 10^{-3}$	$7.083 \times 10^{-3}$	$7.083 \times 10^{-3}$	$6.042 \times 10^{-3}$	$6.25 \times 10^{-3}$
5%	$13.33 \times 10^{-3}$						
10%	$8.125 \times 10^{-3}$	$8.333 \times 10^{-3}$	$9.167 \times 10^{-3}$	$9.792 \times 10^{-3}$	$9.583 \times 10^{-3}$	$9.167 \times 10^{-3}$	$8.958 \times 10^{-3}$
15%	$4.583 \times 10^{-3}$						
20%	$3.542 \times 10^{-3}$	$3.958 \times 10^{-3}$	$4.167 \times 10^{-3}$	$4.167 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.583 \times 10^{-3}$	$4.583 \times 10^{-3}$
25%	$3.333 \times 10^{-3}$						
30%	$2.917 \times 10^{-3}$	$3.75 \times 10^{-3}$	$3.958 \times 10^{-3}$	$4.167 \times 10^{-3}$	$4.167 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$	$4.375 \times 10^{-3}$

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 јединичне пластичне деформације, масеног удјела стакла и циклуса прераде.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена јединичне пластичне деформације 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 јединичне пластичне деформације и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену јединичне пластичне деформације у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^{0.5} + c(s) \cdot e^{-x} \quad (18)$$

гдје су:

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

Коефицијенти  $a$ ,  $b$ , и  $c$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.31. Добро слагање претпостављене функције зависности (18) са осредњеним вриједностима јединичне пластичне деформације су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели бр. 4.31.

Табела 4.31. Образац промјене јединичне пластичне деформације и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене $\varepsilon_{\text{пл}} = f(N, P)$ (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)			Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$\varepsilon_{\text{пуз-пл}}(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^{0.5} + c(s) \cdot e^{-x}$				
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$	$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	0.018842696	-0.0031852618	-0.012581288	0.87235668	$1.09481 \cdot 10^{-5}$
I прер.	0.014293821	-0.002047044	-0.0084607976	0.84492679	$4.27 \cdot 10^{-6}$
II прер.	0.015937339	-0.0023276747	-0.0090623117	0.84751993	$5.93 \cdot 10^{-6}$
III прер.	0.017064981	-0.0025220738	-0.0099819491	0.81950059	$6.04 \cdot 10^{-6}$
IV прер.	0.016620827	-0.0024205269	-0.0095377988	0.8449616	$5.8 \cdot 10^{-6}$
V прер.	0.015398107	-0.0021407637	-0.0093560827	0.84156926	$5.25 \cdot 10^{-6}$
IV прер.	0.014918843	-0.0020470482	-0.0086688193	0.84355232	$3.99 \cdot 10^{-6}$

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 + F \cdot s^5 \quad (19)$$

гдје је:

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

$A, B, C, D, E$  и  $F$  - вриједности коефицијената у једначини (19) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$  се одређује

Вриједности коефицијената  $A, B, C, D, E$  и  $F$  су приказани у табели бр. 4.32.

Табела 4.32. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ , $b(s)$ и $c(s)$						
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot s^4 + Fa \cdot s^5$						
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot s^4 + Fb \cdot s^5$						
$c(s) = Ac + Bc \cdot s + Cc \cdot s^2 + Dc \cdot s^3 + Ec \cdot s^4 + Fc \cdot s^5$						
	A	B	C	D	K	F
$a(s)$	0.018839792	-0.011491898	0.009624673	-0.0030560676	0.00041525706	-2.0514821·10 <sup>-5</sup>
$b(s)$	-0.003184302	0.0026806244	-0.0021280266	0.00066380556	-8.9275307·10 <sup>-5</sup>	4.3701417·10 <sup>-6</sup>
$c(s)$	-0.012588094	0.009832344	-0.0079125544	0.0026131626	-3.8613951·10 <sup>-5</sup>	2.1317392·10 <sup>-5</sup>
	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање - $\sigma^2$		
$a(s)$	0.99943883			1.98301·10 <sup>-6</sup>		
$b(s)$	0.9991054			1.36·10 <sup>-7</sup>		
$c(s)$	0.99628572			1.65·10 <sup>-6</sup>		

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.33. За рециклиране материјале полипропилена са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.33. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Јединична пластична деформација $\epsilon$ – обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	6.261 x10 <sup>-3</sup>	5.833 x10 <sup>-3</sup>	6.875 x10 <sup>-3</sup>	7.083 x10 <sup>-3</sup>	7.083 x10 <sup>-3</sup>	6.042 x10 <sup>-3</sup>	6.25 x10 <sup>-3</sup>
5%	12 x10 <sup>-3</sup>	9.659 x10 <sup>-3</sup>	11 x10 <sup>-3</sup>	11 x10 <sup>-3</sup>	11 x10 <sup>-3</sup>	11 x10 <sup>-3</sup>	10 x10 <sup>-3</sup>
10%	8.769 x10 <sup>-3</sup>	7.82 x10 <sup>-3</sup>	8.576 x10 <sup>-3</sup>	9.089 x10 <sup>-3</sup>	8.966 x10 <sup>-3</sup>	8.628 x10 <sup>-3</sup>	8.445 x10 <sup>-3</sup>
15%	6.506 x10 <sup>-3</sup>	6.366 x10 <sup>-3</sup>	6.922 x10 <sup>-3</sup>	7.297 x10 <sup>-3</sup>	7.246 x10 <sup>-3</sup>	7.107 x10 <sup>-3</sup>	6.991 x10 <sup>-3</sup>
20%	4.598 x10 <sup>-3</sup>	5.139 x10 <sup>-3</sup>	5.528 x10 <sup>-3</sup>	5.786 x10 <sup>-3</sup>	5.796 x10 <sup>-3</sup>	5.824 x10 <sup>-3</sup>	5.764 x10 <sup>-3</sup>
25%	2.916 x10 <sup>-3</sup>	4.059 x10 <sup>-3</sup>	4.299 x10 <sup>-3</sup>	4.455 x10 <sup>-3</sup>	4.518 x10 <sup>-3</sup>	4.694 x10 <sup>-3</sup>	4.684 x10 <sup>-3</sup>
30%	1.396 x10 <sup>-3</sup>	3.082 x10 <sup>-3</sup>	3.188 x10 <sup>-3</sup>	3.251 x10 <sup>-3</sup>	3.363 x10 <sup>-3</sup>	3.673 x10 <sup>-3</sup>	3.707 x10 <sup>-3</sup>

Тачност поступка је провјерена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.34.

$$\Delta = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_c}{\varepsilon_t} \cdot 100\%$$

гдје су:

$\varepsilon_t$  - средња вриједност јединичне пластичне деформације добијена мјерењем

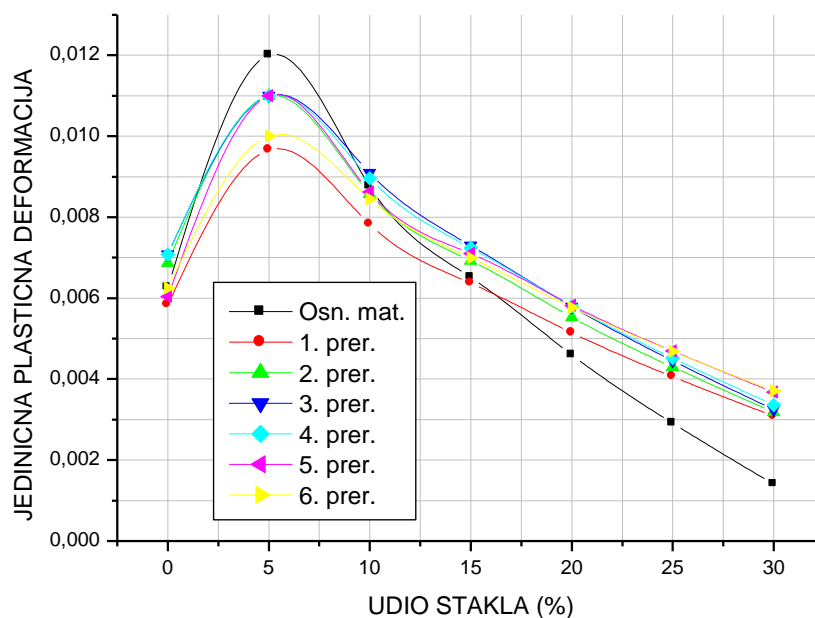
$\varepsilon_c$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (18)

и (19)

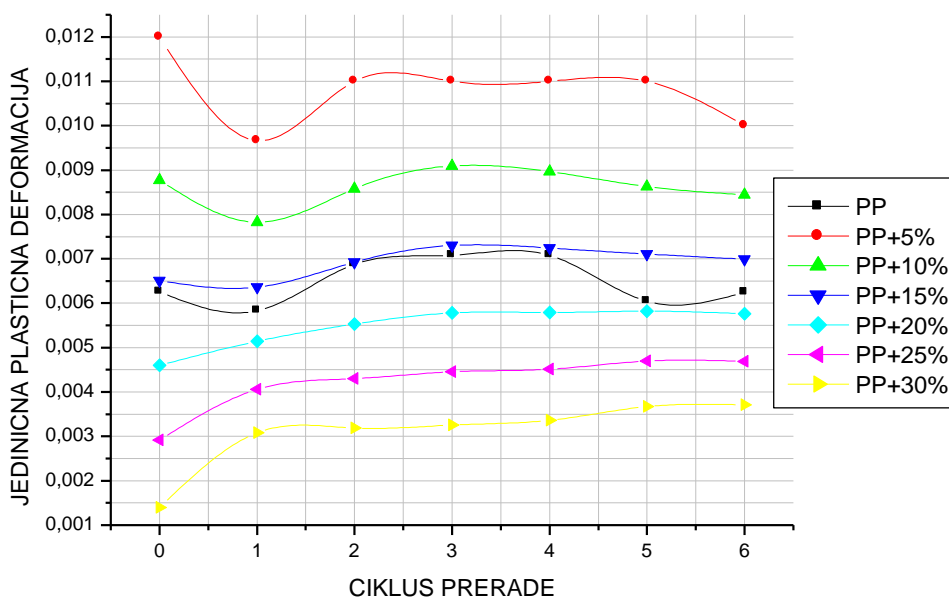
Табела 4.34. Процентуална грешка за појединачна мјерења

Удио стакла	Грешка $\Delta_e$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	0.18	0	0	0	0	0	0
5%	10						
10%	7.93	6.16	6.45	7.18	6.44	5.88	5.73
15%	41.96						
20%	29.81	29.84	32.66	38.85	32.48	27.08	25.77
25%	12.51						
30%	52.14	17.81	19.45	21.98	19.29	16.05	15.27

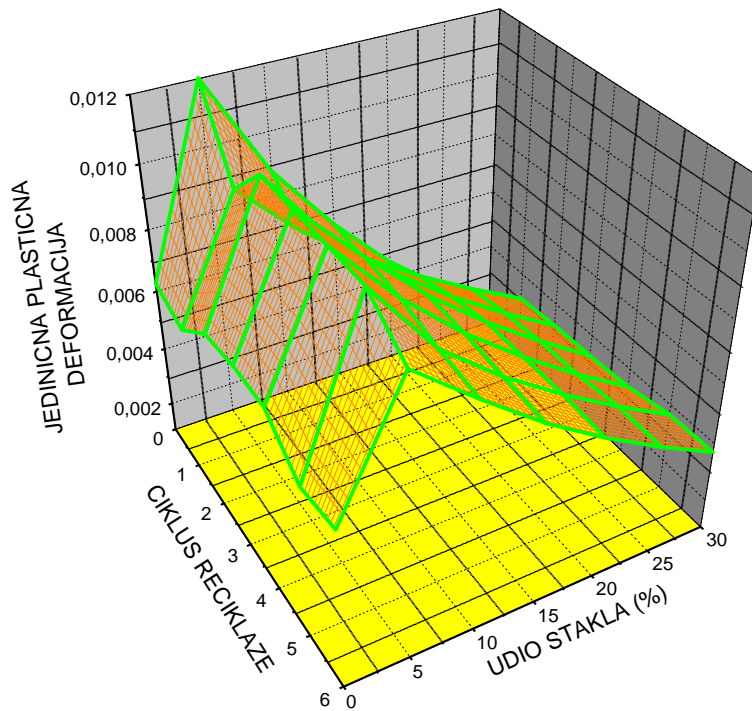
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на сликама бр. 4.17. до 4.19., упоредним дијаграмима (2D) и просторним дијаграмом (3D).



Слика 4.17. Дијаграм - 2D приказ промјене јединичне пластичног деформације дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.18. Дијаграм - 2D приказ промјене јединичне деформације дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.19. Дијаграм 3D приказ промјене јединичне деформације полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима се види да јединична деформација код дуготрајног статичког оптерећења на затезање за чист полипропилен и полипропилен са додатком 5%, 10% и 15% стакленог праха опада од основног материјала до првог циклуса прераде, расте до другог циклуса, задржава константан тренд до петог циклуса и опада до шестог. Док деформација код полипропилена са додатком 20%, 25% и 30% стакленог праха константно расте, нешто више од нулте до прве фазе прераде, а затим лагано, скоро линеарно до шестог циклуса прераде. Такође се види да је јединична деформација два пута већа код материјала са додатком 5% стакленог праха у односу на основни материјал, а затим даље опада са додавањем стакленог праха основном материјалу (од прилике по 15% на сваких 5% додатка стакленог праха основном материјалу. Промјене описују релативно једноставни математички обрасци (18) и (19).



#### 4.6. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА ПРИТИСКОМ

За обраду су кориштене средње вриједности притисне чврстоће за дефинисано скраћење, добијене као аритметичка средина експерименталних резултата и приказане су у табели бр. 4.35.

Табела 4.35. Подаци за обраду

Удио стакла	Притисна чврстоћа $\sigma_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]- средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	54.92	55.87	57.95	57.95	57.95	56.82	56.82
5%	52.65						
10%	51.52	55.49	57.58	57.95	57.58	58.33	57.58
15%	53.41						
20%	55.30	56.44	58.33	57.95	58.71	59.85	59.85
25%	59.85						
30%	60.98	60.98	62.12	62.12	63.26	62.50	62.88

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 притисне чврстоће, масеног удјела стакла и циклуса прераде.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена притисне чврстоће 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 притисне чврстоће за дефинисано скраћење и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену притисне чврстоће у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика  $y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2.5}$  (20)

гдје су:

- $y(s, x)$  - притисна чврстоћа за дефинисано скраћење, [N/mm<sup>2</sup>],
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a, b$  и  $c$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0, 1, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a, b$ , и  $c$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.36. Добро слагање претпостављене функције зависности (20) са осредњеним вриједностима притисне чврстоће су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели 4.36.

Табела 4.36. Образац промјене притисне чврстоће и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене $\sigma_p = f(N, P)$ (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)			Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$		
	$\sigma_p(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2.5}$				
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$	$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	53.265481	-0.015416488	0.004586536	0.86526705	9.608082
I прер.	55.882927	-0.017465904	0.0042231955	0.99996371	3.517736
II прер.	57.956739	-0.015425126	0.0036609222	0.99999813	2.380759
III прер.	58.159349	-0.019295891	0.0043160625	0.98332189	2.257738
IV прер.	57.938559	-0.01599839	0.0040007363	0.99993625	3.754872
V прер.	57.019475	0.014475026	-0.0015413783	0.98808786	3.626022
IV прер.	56.780946	0.01108406	-0.00078473116	0.99967724	4.51548

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа

$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 + F \cdot s^5 \quad (21)$$

гдје је:

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

$A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  и  $F$  вриједности коефицијената у једначини (21) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$  се одређује

Вриједности коефицијената  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$  и  $F$  су приказани у табели бр. 4.37.

Табела 4.37. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ , $b(s)$ и $c(s)$						
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot s^4 + Fa \cdot s^5$						
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot s^4 + Fb \cdot s^5$						
$c(s) = Ac + Bc \cdot s + Cc \cdot s^2 + Dc \cdot s^3 + Ec \cdot s^4 + Fc \cdot s^5$						
	A	B	C	D	K	F
$a(s)$	53.256959	2.5057376	0.60018021	-0.5119487	0.087805699	-0.0046734458
$b(s)$	-0.015338758	-0.031501308	0.051152972	-0.027791907	0.0059805932	-0.00043387288
$c(s)$	0.0045688796	0.0048400351	-0.0091865376	0.0051384057	-0.0011124239	0.000080775412
	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање - $\sigma^2$		
$a(s)$	0.99623279			2.54482		
$b(s)$	0.99556944			0.00018		
$c(s)$	0.99301027			$5.89 \cdot 10^{-6}$		

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.38. За прериклиране материјале полипропилена са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.38. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Притисна чврстоћа $\sigma_p$ [N/mm <sup>2</sup> ]- обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	53.26	55.88	57.96	58.16	57.94	57.02	56.78
5%	53.14	55.68	57.78	57.92	57.76	57.30	57.01
10%	53.17	55.47	57.57	57.60	57.60	57.98	57.64

15%	53.79	55.63	57.68	57.60	57.82	58.93	58.59
20%	55.30	56.45	58.33	58.16	58.70	60.05	59.81
25%	57.96	58.16	59.75	59.59	60.44	61.25	61.26
30%	62	60.98	62.12	62.07	63.26	62.45	62.89

Тачност поступка је потврђена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.39.

$$\Delta = \frac{\sigma_{p_t} - \sigma_{p_c}}{\sigma_{p_t}} \cdot 100\%$$

гдје су:

$\sigma_{p_t}$  - средња вриједност притисне чврстоће мјерењем

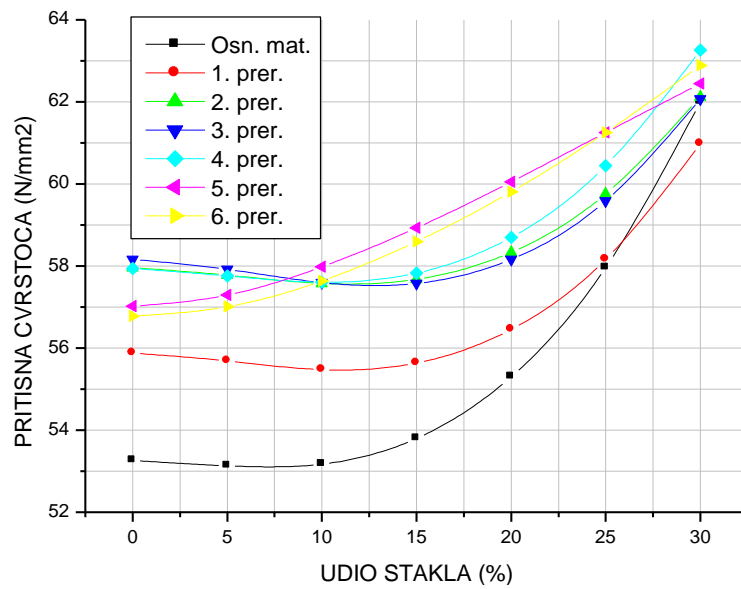
$\sigma_{p_c}$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (20) и (21)

Табела 4.39. Процентуална грешка за појединачна мјерења

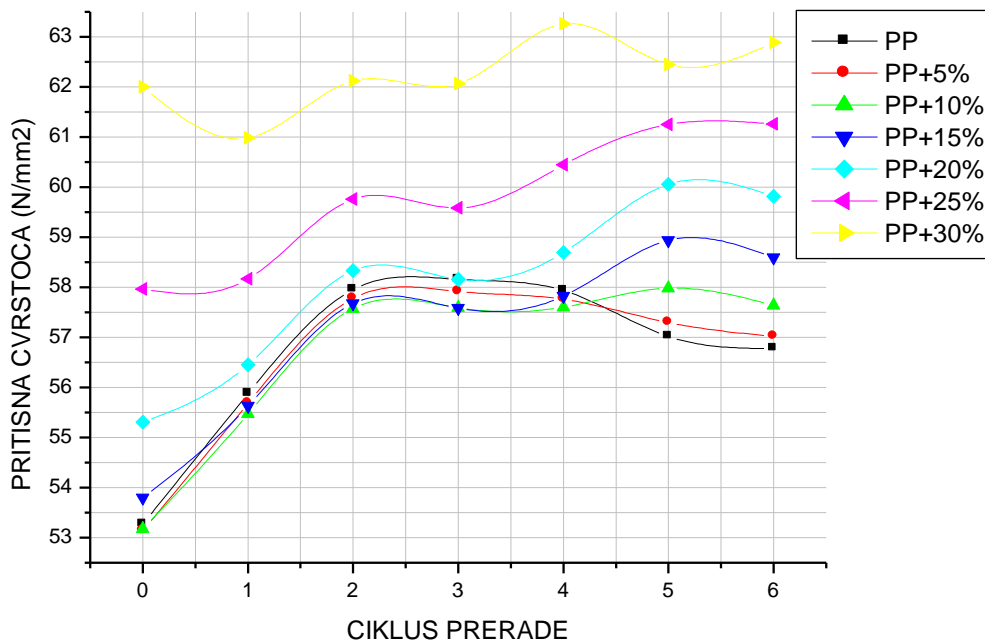
Удио стакла	Грешка $\Delta_{\text{ср}}$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	3.02	0.02	0.004	0.35	0.03	0.35	0.07
5%	0.92						
10%	3.22	0.04	0.01	0.62	0.05	0.61	0.11
15%	0.72						
20%	0.002	0.02	0.005	0.36	0.027	0.34	0.06
25%	3.15						
30%	1.66	0.005	0.0003	0.08	0.01	0.08	0.01

Максимална вриједност израчунате процентуалне грешке ( $\Delta$ ) износи 3,22% што је у границама потребне тачности.

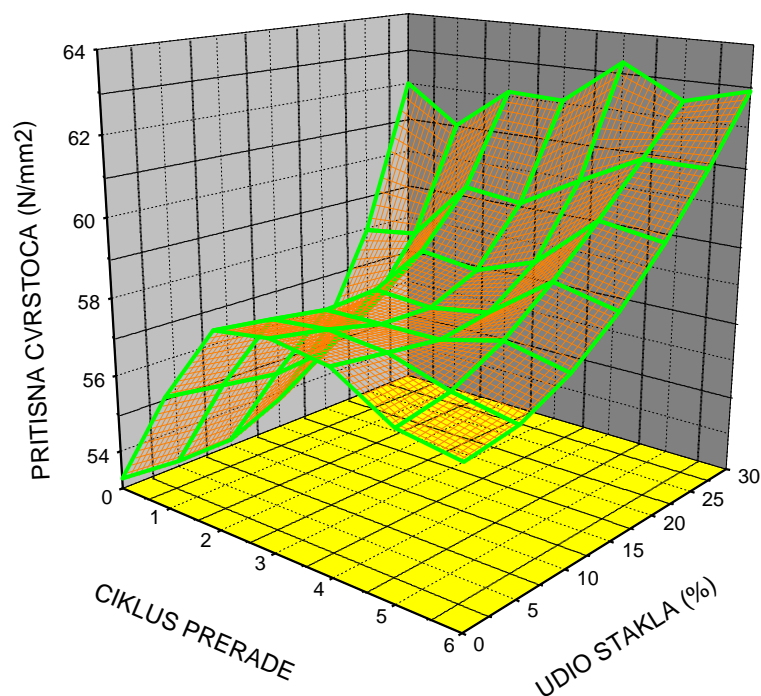
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на сликама бр. 4.20. до 4.22., упоредним дијаграмима (2D) и просторним дијаграмом (3D).



Слика 4.20. Дијаграм - 2D приказ промјене притисне чврстоће дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.21. Дијаграм - 2D приказ промјене притисне чврстоће дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.22. Дијаграм 3D приказ промјене притисне чврстоће полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима се види да притисна чврстоћа расте код прве и друге прераде (по 5% по циклусу), разлика је материјал са удјелом 25% стакленог праха гдје од нултог до првоциклуса 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 полипропилана 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. Промјене описују релативно једноставни математички обрасци (20) и (21).

Слично истраживање проведено је додавањем честица пепела у PET [44], 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 поново расла.

#### 4.7. ОБРАДА РЕЗУЛТАТА ИСПИТИВАЊА УДАРОМ

За обраду су кориштене средње вриједности жилавости, добијене као аритметичка средина експерименталних резултата, приказане су у табели бр. 4.40.

Табела 4.40. Подаци за обраду

Удио стакла	Жилавост $\rho$ [ $J/cm^2$ ] – средња вриједност						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	31.04	30.42	30.62	30.58	31.33	31.46	31.46
5%	25.42						
10%	25	25.83	26.25	26.04	25.83	26.04	25.83
15%	25						
20%	25	25.42	25.83	25.83	25.83	25.83	25.42
25%	25						
30%	25	25.21	25.21	25.21	25	25	25

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 жилавости, масеног удјела стакла и циклуса прераде.

Обрада података у наведеном смислу је извршена коришћењем методе најмањих квадрата.

У конкретном случају промјена жилавости 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 жилавости и удјела масеног удјела стакла за сваки циклус прераде. При томе се водило рачуна да се пронађе једна функционална веза која ће довољно добро описати промјену жилавости у функцији масеног удјела стакла за сваки од циклуса прераде.

Анализом је утврђено да је та функционална веза облика

$$y(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x} \quad (22)$$

гдје су:

- $y(s, x)$  - жилавост, [J/cm<sup>2</sup>],
- $x$  - процентуални масени удио стакла ( $x = 0, 1, \dots, 30$ ),
- $a$ ,  $b$  и  $c$  - коефицијенти и
- $s$  - циклус прераде ( $s = 0, 1, \dots, 6$ ).

Коефицијенти  $a$ ,  $b$ , и  $c$  уз промјенљиву ( $x$ ) за сваки од циклуса прераде имају своје вриједности као што је то и приказано у табели бр. 4.41. Добро слагање претпостављене функције зависности (22) са осредњеним вриједностима жилавости су потврђени кроз вриједности средњег квадратног одступања ( $\sigma^2$ ) и коефицијент криволинијске корелације ( $r^2$ ) који су такође дати у табели 4.41.

Табела 4.41. Образац промјене жилавости и коефицијенти

Циклус прераде	Образац промјене $\rho = f(N, P)$ (Циклуса прераде и удјела стакленог праха)			Коеф. крив. корел.	Ср. кв. одст.
	$\rho(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x}$				
	$a(s)$	$b(s)$	$c(s)$	$r^2$	$\sigma^2$
Осн. мат.	25.119915	-0.0000062536241	5.9234861	0.99684575	0.000432
I прер.	25.741484	-0.000021287192	4.6751913	0.99791938	0.020677
II прер.	26.226454	-0.000038552872	4.3985492	0.99936923	0.067738
III прер.	26.081044	-0.000032222363	4.502286	0.9999733	0.047351
IV прер.	25.96975	-0.000034523003	5.3635756	0.99876931	0.054362
V прер.	26.115164	-0.0000408537	5.3431645	0.99987551	0.076145
IV прер.	25.775599	-0.000029918299	5.682735	0.9991713	0.04086

Други корак подразумијева изналажење функционалне везе између коефицијената уз промјенљиву ( $x$ ) у зависности од циклуса прераде односно  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$ . На начин како је то описано у првом кораку, утврђено је да овој вези највише одговара функционална веза типа



$$z(s) = A + B \cdot s + C \cdot s^2 + D \cdot s^3 + E \cdot s^4 + F \cdot s^5 \quad (23)$$

гдје је:

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

$A, B, C, D, E$  и  $F$  - вриједности коефицијената у једначини (23) који зависе од тога који коефицијент  $a(s)$ ,  $b(s)$  и  $c(s)$  се одређује

Вриједности коефицијената  $A, B, C, D, E$  и  $F$  су приказани у табели бр. 4.42.

Табела 4.42. Обрасци промјене коефицијената

Обрасци промјене коефицијената $a(s)$ , $b(s)$ и $c(s)$						
$a(s) = Aa + Ba \cdot s + Ca \cdot s^2 + Da \cdot s^3 + Ea \cdot s^4 + Fa \cdot s^5$						
$b(s) = Ab + Bb \cdot s + Cb \cdot s^2 + Db \cdot s^3 + Eb \cdot s^4 + Fb \cdot s^5$						
$c(s) = Ac + Bc \cdot s + Cc \cdot s^2 + Dc \cdot s^3 + Ec \cdot s^4 + Fc \cdot s^5$						
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
<b><math>a(s)</math></b>	25.118749	0.14184534	0.97407409	-0.60383613	0.12649488	-0.0088439833
<b><math>b(s)</math></b>	$-6.1291427 \cdot 10^{-6}$	$4.0464616 \cdot 10^{-6}$	$-3.7260465 \cdot 10^{-5}$	$2.1442046 \cdot 10^{-5}$	$-4.4444253 \cdot 10^{-6}$	$3.1146175 \cdot 10^{-7}$
<b><math>c(s)</math></b>	5.9149555	-1.1162236	-0.47187781	0.50552926	-0.11397742	0.0079687004
	Коефицијент криволинијске корелације - $r^2$			Средње квадратно одступање - $\sigma^2$		
<b><math>a(s)</math></b>	0.9984838			0.010035		
<b><math>b(s)</math></b>	0.99316301			$9.5 \cdot 10^{-12}$		
<b><math>c(s)</math></b>	0.96902765			0.109284		

Рачунске вриједности добијене претходним обрасцима приказане су у табели бр. 4.43. За прериклиране материјале полипропилен са додатком 5%, 15% и 25% стакленог праха постоје само рачунски подаци (експериментална мјерења нису вршена).

Табела 4.43. Обрађени подаци по постотку стакла

Удио стакла	Жилавост $\rho$ [ $\text{J}/\text{cm}^2$ ]- обрађени подаци						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	31.04	30.42	30.62	30.58	31.33	31.46	31.46
5%	25.16	25.77	26.25	26.11	26	26.15	25.81
10%	25.11	25.72	26.19	26.05	25.94	26.08	25.75
15%	25.10	25.67	26.10	25.97	25.85	25.98	25.68
20%	25.07	25.57	25.92	25.82	25.69	25.79	25.54
25%	25.02	25.41	25.62	25.58	25.43	25.48	25.31
30%	24.95	25.17	25.19	25.21	25.04	25.01	24.97

Тачност поступка је потврђена кроз израчунаване процентуалне грешке за свако појединачно мјерење према обрасцу, а што је приказано у табели бр. 4.44.

$$\Delta = \frac{\rho_t - \rho_c}{\rho_t} \cdot 100\%$$

гдје су:

$\rho_t$  - средња вриједност жилавости добијена мјерењем

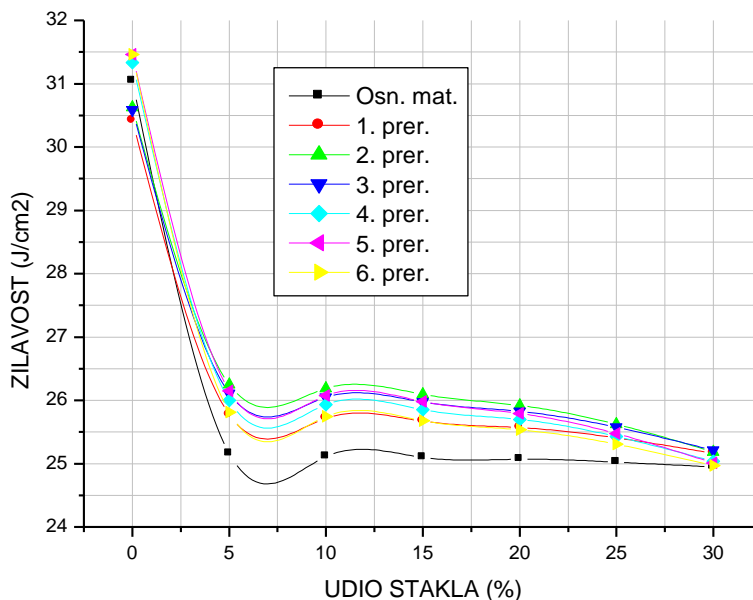
$\rho_c$  - израчуната вриједност добијена коришћењем апроксимативних функција (22) и (23)

Табела 4.44. Процентуална грешка за појединачна мјерења

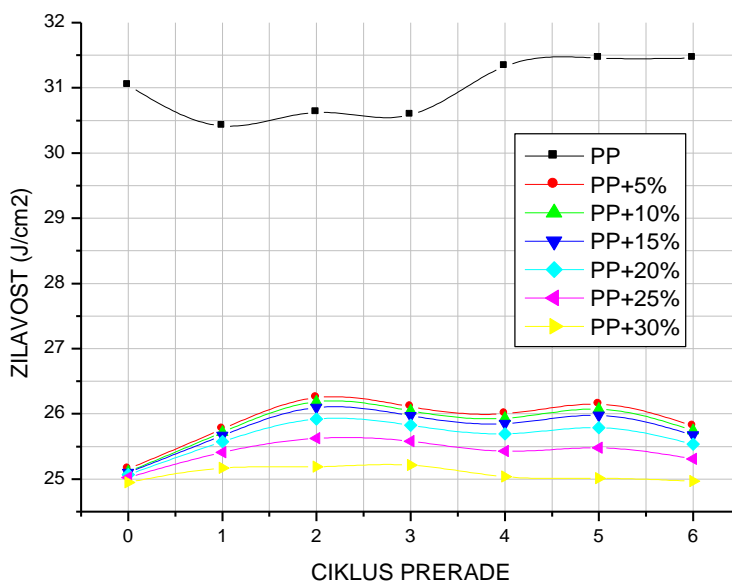
Удио стакла	Грешка $\Delta_p$ [%]						
	Осн. мат.	I прер.	II прер.	III прер.	IV прер.	V прер.	VI прер.
0%	0.004	0.001	0	0.001	0.001	0.001	0.001
5%	1.01						
10%	0.46	0.44	0.24	0.03	0.39	0.13	0.34
15%	0.4						
20%	0.28	0.61	0.33	0.04	0.54	0.18	0.47
25%	0.09						
30%	0.196	0.16	0.09	0.01	0.15	0.05	0.13

Максимална вриједност израчунате процентуалне грешке ( $\Delta$ ) износи 1,01% што је у границама потребне тачности.

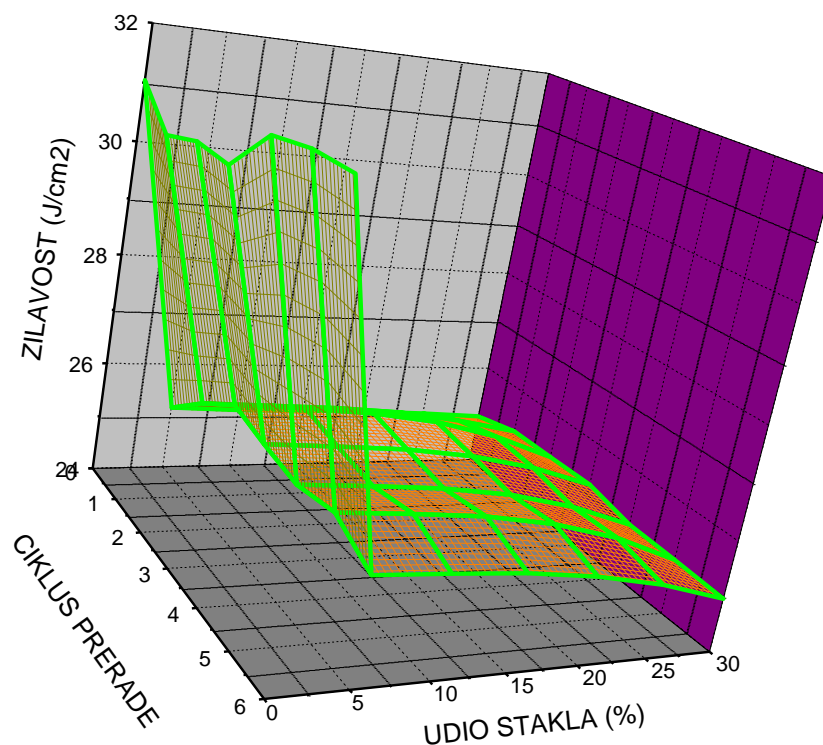
Ради потпунијег визуелног посматрања промјене обрађени подаци графички су приказани на сликама бр. 4.23. до 4.25., упоредним дијаграмима (2D) и просторним дијаграмом (3D).



Слика 4.23. Дијаграм - 2D приказ промјене жилавости дефинисаног циклуса прераде у функцији удјела стакленог праха



Слика 4.24. Дијаграм - 2D приказ промјене жилавости дефинисаног материјала у функцији циклуса прераде



Слика 4.25. Дијаграм 3D приказ промјене жилавости полипропилена у функцији циклуса прераде и удјела стакленог праха

По графичким и табеларним приказима се види да жилавост расте код прве и друге прераде (за око 2% по циклусу) па даље кроз циклусе прераде лагано опада, осим код чистог полипропилена 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%. Промјене описују релативно једноставни математички обрасци (22) и (23).

У једном истраживању у матрицу полипропилена додавана је количина од 0% до 50% пилећих пера [16], гдје је приказано да такав тип композита (vlakнасти) утиче на побољшање жилавости, тако да је жилавост континуирано расла са додавањем до 40% пилећих пера полипропилену, а даље са 50% посто додатка опадала.

## 5. ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

### 5.1. ПРОЦЈЕНА ПРОДУКЦИЈЕ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

Процјена продукције комуналног отпада по мјесецима у години, за бањалучку регију у зависности од дохотка по глави становника описана је обрасцима:

$$V_m = 10000 \cdot \frac{Q_m}{D_s^4}, \quad \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{sd}^3}{\text{KM}^4} \right] \quad (2)$$

гдје су:

- $Q_m$  [kg/sd] количина отпада по становнику за посматрани мјесец,
- $D_s$   $\left[ \frac{\text{KM}}{\text{sd}} \right]$ , доходак по становнику ( $\text{KM}$  – конвертибилна марка, национална валута Босне и Херцеговине, са односом према еврју: 1euro = 1,95 KM),
- $V$   $\left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{sd}^3}{\text{KM}^4} \right]$ , сведена вриједност

Примјена сведене вриједности  $V$  кроз мјесеце у години описана је функцијом:

$$V_{apr(mes, god)} = a_{mes} + b_{mes} \cdot e^{-god}, \quad \left[ \frac{\text{kg} \cdot \text{sd}^2}{\text{KM}^4} \right] \quad (4)$$

гдје су:

- $V_{apr}$  – вриједност  $V$  добијена апроксимацијом
- $god$  – година за коју се израчунава  $V$ , са 0 је замијењена прва посматрана година а то је 2006. (0-2006.), и тако редом 1-2007., 2-2008. и 3-2009, итд.
- $mes$  – мјесец за који се израчунава  $V$  од 1-јануар до 12-децембар,
- $a, b$  – коефицијенти добијени апроксимацијом.

Предложени метод обраде статистичких података омогућава увођење још једног важног параметра у обраду података а то је доходак по глави становника за посматрани регион. Увођење утицаја дохотка по глави становника омогућава: једноставнију компаративну анализу количина отпада у различитим временским периодима за исти и различите регионе, једноставнију обраду података сакупљених са терена и статистички обрађених, олакшава могућност процјене количина отпада у смислу његовог састава за посматрани период, те даје могућност квалитативне процјене количина и састава у временским периодима у прошлости и будућности за које не постоје статистички подаци.

У доступној литератури није забиљежен овакав приступ процјени продукције комуналног отпада, за који се може рећи да са задовољавајућом тачношћу помаже у процјени на мјесечном нивоу и са веома добром тачности 11,66% на годишњем нивоу, што је потребно за правилно креирање система управљања отпадом.

## 5.2. ПРОМЈЕНА ЗАТЕЗНЕ ЧВРСТОЋЕ

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

$$R_m(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^{2.5} + c(s) \cdot e^{-x}, \quad [\text{N/mm}^2] \quad (24)$$

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<sup>2</sup>] за једанпут прериклиран полипропилен без додатка стакленог праха, а минимална  $R_m=27,17$  [N/mm<sup>2</sup>] за основни материјал са масеним удјелом од 30% стакленог праха. Измјерене вриједности затезне чврстоће не разликују се значајно од вриједности затезне чврстоће добијене у ранијим мјерењима  $R_m=29,3-30,66$  [N/mm<sup>2</sup>][22], или вриједности затезне чврстоће стандардног полипропилена  $R_m=30-39$  [N/mm<sup>2</sup>][48].

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, додавањем пилећих пера у проценту од 0% до 50% полипропилену [16] затезна чврстоћа је континуирано опадала.

### 5.3. ПРОМЈЕНА СМИЦАЈНЕ ЧВРСТОЋЕ

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

$$\tau_s(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot e^{-x}, \quad [\text{N/mm}^2] \quad (25)$$

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 прериклиран 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. 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>][22].



#### 5.4. ПРОМЈЕНА САВОЈНЕ ЧВРСТОЋЕ

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

$$\sigma_s(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x}, \quad [\text{N/mm}^2] \quad (26)$$

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 са додавањем стакленог праха основном материјалу од 0% до 5% додатка стакленог праха опадне за 10%. Додавањем стакленог праха до 15% промјена савојне чврстоће је релативно константна, да би даљим додавањем праха наставила да лагано опада, скоро линеарно (испод 3% на даљих 5% додатка стакленог праха).

Максимална вриједност савојне чврстоће износи  $\sigma_s=85,35$  [N/mm<sup>2</sup>] за два пута прериклиран полипропилен без додатка стакленог праха, а минимална  $\sigma_s = 65,78$  [N/mm<sup>2</sup>] за четири и пет пута прериклиран полипропилен са масеним удјелом од 30% стакленог праха. Измјерене вриједности савојне чврстоће више су од вриједности савојне чврстоће стандардног полипропилена  $\sigma_s = 42-56$  [N/mm<sup>2</sup>][48].

## 5.5. ПРОМЈЕНА ПРИТИСНЕ ЧВРСТОЋЕ

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

$$R_{pm}(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2.5}, \quad [\text{N/mm}^2] \quad (27)$$

Притисна чврстоћа расте код прве и друге прераде (по 5% по циклусу), разлика је материјал са удјелом 25% стакленог праха гдје од нултог до првоциклуса 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 полипропилана 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 прериклиран 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 вриједности притисне чврстоће одговарају вриједности притисне чврстоће стандардног полипропилена  $R_{pm}=39-56$  [N/mm<sup>2</sup>][48].

Слично истраживање проведено је додавањем честица пепела у PET [44], 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 поново расла.

## 5.6. ПРОМЈЕНА ТВРДОЋЕ

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

$$HS(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^2 + c(s) \cdot x^{2.5}, \quad [\text{Shore} - \text{D}] \quad (28)$$

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 на даље 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 прериклиран полипропилен са масеним удјелом од 20% стакленог праха, а минимална  $HS =69,05$  [Shore-D] за за три пута прериклиран полипропилен без додатка стакленог праха.

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) [62] и (70-76 Shore D) [63]).

## 5.7. ПРОМЈЕНА ЖИЛАВОСТИ

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

$$\rho(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^3 + c(s) \cdot e^{-x}, \quad [\text{J}/\text{cm}^2] \quad (29)$$

Жилавост расте код прве и друге прераде (за око 2% по циклусу) па даље кроз циклусе прераде лагано опада, осим код чистог полипропилена 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  $\rho=31,46$  [J/cm<sup>2</sup>] за пет и шест пута прериклиран полипропилен без додатка стакленог праха, а минимална  $\rho =25,01$  [J/cm<sup>2</sup>] за за пет пута прериклиран полипропилен са масеним удјелом 30% стакленог праха.

У једном истраживању у матрицу полипропилена додавана је количина од 0% до 50% пилећих пера [16], 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  $\rho =28-56,1$  [J/cm<sup>2</sup>][22].

## 5.8. ПРОМЈЕНА ИЗДУЖЕЊА (ЗАТЕЗАЊЕ)

Промјена еластичног издужења (затезање) полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:

$$\Delta l(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x + c(s) \cdot x^{1.5} + d(x) \cdot x^{0.5} + k \cdot e^{-x}, \quad [\text{mm}] \quad (30)$$

Код основног материјала полипропилена вриједности издужења битно разликују, а у већини случајева није дошло до кидања епрувете при максималном ходу стезног алата мјерне машине, те се димензије не могу узети као мјеродавне. Додавањем стакленог праха у основни материјал долази до уједначавања измерених вриједности. У односу на садржај стакленог праха од 5% издужење се повећава за 6,67% код саджаја 10% те опада за 13,33% код саджаја 15% стакленог праха. Даљи тренд промјене је релативно низак, креће се у граници испод 10%.

Максимална вриједност еластичног издужења износи  $\Delta l=142,5$  [mm] за основни материјал полипропилен без додатка стакленог праха, а минимална  $\Delta l=10,5$  [mm] за основни материјал полипропилен са масеним удјелом 25% стакленог праха.

Поједини истраживачи успијевали су побољшати издужење повећањем садржаја влаге у материјалу што је постизано урањањем у каду са водом одређени временски период, али је истовремено долазило до смањења максималне силе затезања [8].

## 5.9.ПРОМЈЕНА ЈЕДИНИЧНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ (ЗАТЕЗАЊЕ)

Промјена јединичне пластичне деформације (затезање) полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:

$$\varepsilon_{pl}(s, x) = a(s) + \frac{b(s)}{x} \quad (31)$$

Јединична пластична деформација код краткотрајног растућег оптерећења на затезање расте кроз циклусе прераде. Те да опада са додавањем стакленог праха основном материјалу. Највећи пад се појављује између 5% и 10% додатка стакленог праха, нешто блажи у интервалу 10% до 15% додатка стакленог праха, те скоро линеаран, благ пад даље до 30% удјела стакленог праха. Функција кроз циклусе прераде спорије расте са већим дефинисаним садржајем стакленог праха у основном материјалу.

Максимална вриједност јединичне пластичне деформације износи  $\varepsilon_{pl}=15,8 \times 10^{-2}$  за шест пута прериклиран полипропилен са масеним удјелом од 30% стакленог праха, а минимална  $\varepsilon_{pl} = 2,8 \times 10^{-2}$  за основни материјал полипропилен са масеним удјелом од 5% стакленог праха.

Измјерене вриједности јединичне пластичне деформације не разликују се значајно од вриједности јединичне пластичне деформације добијене у ранијим мјерењима  $\varepsilon_{pl} = 2,8 \times 10^{-2} - 4,6 \times 10^{-2}$  [22].

## 5.10. ПРОМЈЕНА ЈЕДИНИЧНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ (ПУЗАЊЕ)

Промјена јединичне пластичне деформације (пузање) полипропилена пуњеног стакленим прахом гранулације мање од 0,5 [mm] описана је обрасцем:

$$\varepsilon_{ppi}(s, x) = a(s) + b(s) \cdot x^{0.5} + c(s) \cdot e^{-x} \quad (32)$$

Јединична деформација код дуготрајног статичког оптерећења на затезање за чист полипропилен и полипропилен са додатком 5%, 10% и 15% стакленог праха опада од основног материјала до првог циклуса прераде, расте до другог циклуса, задржава константан тренд до петог циклуса и опада до шестог. Док деформација код полипропилена са додатком 20%, 25% и 30% стакленог праха константно расте, нешто више од нулте до прве фазе прераде, а затим лагано, скоро линеарно до шестог циклуса прераде. Такође се види да је јединична деформација два пута већа код материјала са додатком 5% стакленог праха у односу на основни материјал, а затим даље опада са додавањем стакленог праха основном материјалу (од прилике по 15% на сваких 5% додатка стакленог праха основном материјалу).

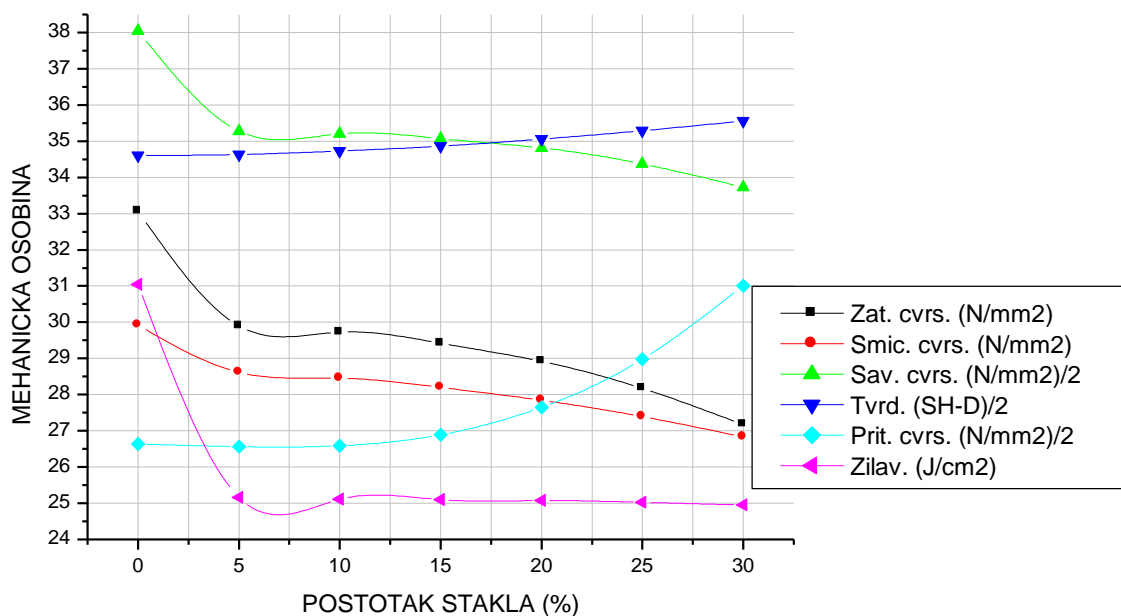
Максимална вриједност јединичне пластичне деформације износи  $\varepsilon_{ppi}=12 \times 10^{-3}$  за основни материјал полипропилен са масеним удјелом од 5% стакленог праха, а минимална  $\varepsilon_{ppi} = 1,396 \times 10^{-3}$  за основни материјал полипропилен са масеним удјелом од 30% стакленог праха.

Гдје је за обрасце (24) – (32):

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

## 5.11. УПОРЕДНИ ПРИКАЗ МЕХАНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА

Ради једноставнијег визуелног посматрања извршен је упоредни приказ (слика бр. 5.1.) промјене обрађених 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 5.1. 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.



## 5. ЗАКЉУЧАК

Анализа посматраних података показује да се тренд промјене продукције комуналног отпада по мјесецима у посматраној години може изразити у функцији промјене дохотка по становнику. Такође, да повећање количине продукованог отпада не мора бити везано само за наталитет.

Проведене анализе могу да користе приликом процјене количина отпада у сличним регијама у свијету које имају систем прикупљање нижег организационог нивоа. Такође могу да користе за процјену продукције отпада у будућности, упоређивањем са анализама вишег нивоа, проведеним у сличним регијама. У такве анализе би требало укључити утицаје економске кризе, промјене демографске структуре, промјена односа урбане и руралне популације и сл.

За очување животне средине важна је употреба прериклабилних материјала, а 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 да се закључи 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:

- затезне чврстоће са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (24))
- смицајне чврстоће са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (25))
- савојне чврстоће са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (26))

- притисне чврстоће са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (27))
- тврдоће са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (28))
- жилавости са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (29))
- издужења (затезање) са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (30))
- јединичне пластичне деформације (затезање) са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (31))
- јединичне пластичне деформације (пузање) са могућношћу аналитичког описа функционалне зависности (образац (32))

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

Мање од 3,5% експерименталних резултата значајно је одступало од просјека, те су та мјерења понављана. Наведена одступања се могу приписати грешкама у структури материјала насталим у производњи и грешкама приликом испитивања.

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.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Abdoli, M.A. (1995) Solid waste management in Tehran. *Waste Management and Research* **13**, 519–531
2. Ağdağ, O. N. (2009) Comparison of old and new municipal solid waste management systems in Denizli, Turkey. *Waste Management* **29**, 456-464
3. 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
4. Al-Salem, S.M. (2009) Establishing an integrated databank for plastic manufacturers and converters in Kuwait. *Waste Management* **29**, 479-484
5. Berkun, M., Aras, E. & Nemlioglu, S. (2005) Disposal of solid waste in Istanbul and along the Black Sea coast of Turkey. *Waste Management* **25**, 847–855
6. 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
7. Cavalieri, F., Padella, F. (2002). Development of composite materials by mechanochemical treatment of post-consumer plastic waste, *Waste Management* **22**, 913–916
8. Chov, C.P.L., Xing, X.S., Li, R.K.Y. (2006). Moisture absorption studies of sisal fibre reinforced polypropylene composites, *Composites Science and Tehnology* **67**, 306-313
9. Chung, S.S. & Carlos, W.H.Lo. (2008) Local waste management constraints and waste administrators in China. *Waste Management* **28**, 272–281
10. Collivignarelli, C., Sorlini, S., Vaccari, M. (2004) Solid Wastes Management in Developing Countries. CD-ROM of ISWA 2004. World Congress, October, pp.17–21, Rome, Italy
11. Ђармати, Ш., Аливојводић, В. (2010) Чврст и опасан отпад као фактор деградирања животне средине, Деградирани простори и екоремедијација, Београд, Република Србија
12. Ђорђевић, В. (2003). Машински материјали, први део, Машински факултет, Београд

13. Гашић, М., Трбић, М., Илић, П., Митровић, М., Свитлица, С., Рачић, М., Денис, М., & Ерић, Ј. (2005) План прилагођавања управљања отпадом за регионалну депонију "Рамићи" у Бања Луци. Институт заштите, екологије и информатике, Бања Лука, ВиН
14. Gules, N. B., Gunal & Erler, A. (2001) Assessment of soil and water contamination around an ash disposal site. *Environmental Geology* 40, 331–344
15. Hazra, T., & Goel, S. (2009) Solid waste management in Kolkata, India: Practices and challenges. *Waste Management* **29**, 470-478
16. Huda, S., Yang, Y. (2008). Composites from ground chicken quill and polypropylene, *Composites Science and Technology* 68, 790–798
17. Илић, М., Стевановић-Чарапина, Х., Младеновић, А., Миловановић, Д., Тодоровић, М., Гуцић, М. (2004) Регионални план управљања комуналним отпадом, Регионални центар за животну средину за Централну и Источну Европу, Канцеларија у Србији и Црној Гори, Београд
18. Илић, М., Мишковић, М., Ђујић, А., Дмитровић, Ј., Николић, Д., Кнежић, С., Стјепановић, Р., Бјелић, Д., Јанковић, Р., Тасовац, Д., Марковић, Б., Радосављевић, Д., Спасова, Д., Ђурић, Н., Митрић, Г., Смиљанић, М. (2002) . Студија управљања чврстим отпадом за регију Бања Лука, Урбанистички завод Републике Српске, а.д., Бања Лука,
19. Илић, П., Јањуш, З. (2007). План прилагођавања за дјелатност управљања отпадом, Опасан, инертан и биолошки отпад у животној средини и радној околини, Врдник
20. Janjuš, Z., Petrović, A., Ilić, P., Mitrović, N., Milošević, M., Jovović, A., Prokić-Cvetković, R. (2010) Analysis of hardness properties for polypropylene specimens with the addition of glass powder, TWELFTH ANNUAL CONFERENCE "YUCOMAT 2010", Herceg Novi
21. Јањуш, З., Петровић, А., Јововић, А. (2008) Процјена стања комуналног отпада у бањалучкој регији. Процесинг 2008, Суботица, Republika Srbija
22. Јањуш, З. (2006). Поузданост употребе прериклираног термопласта, магистарски рад, Машински факултет, Бања Лука
23. Јањуш, З., Илић, П (2008). Промјена жилавости прериклираног термопласта, 32. Саветовање производног машинства Србије, Нови Сад,

24. Јањуш, З., Илић, П (2008). Процјена стања полимерног бањалучке регије,  
2. Међународни конгрес „Екологија, здравље, рад, спорт“, Бања Лука
25. Јањуш, З., Илић, П (2009). Примјер процјене количине текстилног отпада“,  
Научно - стручни скуп, Заштита и здравље на раду и заштита животне  
средине", Бања Лука,
26. Јањуш, З., Илић, П. (2007). Промјена механичких карактеристика  
прериклираног полипропилена, Опасан, инертан и биолошки отпад у  
животној средини и радној околини, Врдник,
27. Јањуш, З., Илић, П. (2008). Промјена механичких карактеристика  
прериклираног полиетилена“, Научни скуп „Савремени материјали,  
Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука
28. Јањуш, З., Илић, П. (2009). Примјер процјене количине полимерног отпад,  
9. Међународни научно-стручни скуп о достигнућима електротехнике,  
машинства и информатике, Бања Лука
29. Janjuš, Z., Miletić, P., Ilić, P. (2010). Changes in Mechanical and Rheological  
Properties, Quality of Life (Banja Luka) 1(1) 61-71
30. Јањуш, З., Петровић, А., Јововић, А. (2008). Процјена стања комуналног  
отпада у бањалучкој регији, 21. Међународни конгрес о процесној  
индустрији, Суботица
31. Јањуш, З., Петровић, А., Јововић, А., Илић, П. (2009). Анализе количина  
комуналног отпада региона Бања Лука – Република Српска, 22.  
Међународни конгрес о процесној индустрији, Београд
32. Јањуш, З., Петровић, А., Јововић, А., Илић, П. (2009). Поступак  
сторнирања отпадног стакла, Научни скуп Савремени материјали,  
Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука
33. Јањуш, З., Петровић, А., Јововић, А., Илић, П. (2009). Приједлог  
управљања отпадним папиром, 33. Саветовање производног машинства  
Србије, Београд
34. Јањуш, З., Петровић, А., Јововић, А., Прокић-Цветковић, Р., Илић, П.  
(2010). Промјена савојне чврстоће полипропилена пуњеног стакленим  
прахом, 23. Међународни конгрес о процесној индустрији, Тара

35. Јањуш, З., Петровић, А., Јововић, А., Прокић-Цветковић, Р., Илић, П. (2010). Промјена чврстоће смицања полипропилена пуњеног стакленим прахом, Научни скуп Савремени материјали, Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука
36. Јанјуш, З., Шљивић, М. (2006). THE RELIABILITY OF USE OF RECYCLED THERMOPLAST, Journal for Technology of Plasticity, Vol.31 Number 1-2, Нови Сад
37. Јањуш, З., Шљивић, М., Милетић, П. (2007). Промјена механичких карактеристика прериклираног полистирена, 8. Међународни научно-стручни скуп о достигнућима електротехнике, машинства и информатике, Бања Лука
38. Јањуш, З., Илић, П. (2008). Допринос производње и примјене еколошки прихватљивих производа смањењу отпада у урбаним срединама, Научно - стручни скуп " Савремене технологије за одрживи развој градова", Бања Лука
39. Јанјуш, З., Petrović, A., Jovović, A., Plić, P., Pavlović, S. (2013). Analysis of the amount of communal waste, TTEM – Technics Technologies Education Management, Vol.7 Number 1 (1-12), Sarajevo (рад у објави - потврда у прилогу)
40. Jin, J., Wang, Z., & Ran, S. (2006) Solid waste management in Macao: practices and challenges. Waste Management 26, 1045–1051
41. Јовановић, С., Милетић, П., Бојанић, В., Топић, Ж. (2002). Прериклирање полимерног отпада, Пољопривредни факултет, Бања Лука
42. Јовичић, М. (1989). Алати за ковање, ливење под притиском и пресовање пластичних маса, Машински факултет, Београд
43. Леви, Б.: “Технологија прераде пластичних маса“, Техничка књига, Београд, 1965.
44. Li, Y., White, D.J., Peyton, R.L. (1998). Composite material from fly ash and post-consumer PET, Resources, Conservation and Recycling 24, 87-93
45. Липолд, Р., Благојевић, А., Исмаиловић, Ф., Пашић, О. (1990). Материјали у машинству, Глас, Бања Лука

46. Машковић, Лј., Јововић, В., Максимовић, Р. (1997). Полимерни материјали Физичка својства и неки аспекти примене, Полицијска академија, Београд
47. Мусафија, Б. (1973). Примјењена теорија пластичности I дио, Универзитет у Сарајеву, Сарајево
48. Нађ, М. (1978). Полимерни материјали избор, својства, примјена, конструкција и прерада, Загреб
49. Pickering, S.J. (2006). Recycling technologies for thermoset composite materials - current status, Composites: Part A 37, 1206–1215
50. Перошевић, Б. (1995). Калупи за инјекционо пресовање пластомера, Научна књига, Београд
51. Плавшић, М. (1996). Полимерни материјали, Научна књига, Београд
52. Плавшић, М., Поповић, Р. (1995). Еластомерни материјали, Научна књига, Београд
53. Планчак, М., Вилотић, Д., Вујовић, В. (1992). Технологија пластичности у машинству II, Факултет техничких наука, Нови Сад
54. Sharholly, M., Ahmad, K., Mahmood, G., & Trivedi, R.C. (2008) Municipal solid waste management in Indian cities – A review. Waste Management 28, 459–467
55. Скакић, Н. (2001). Теорија вјероватноће и математичка статистика, Научна књига, Београд
56. Шљивић, М. (1990). Алати за обраду деформисањем, Машински факултет, Бања Лука
57. Шљивић, М. (1998). Технологија пластичности I, Машински факултет, Бања Лука
58. Шљивић, М., Јањуш, З. (2006). Могућност кориштења прериклираног термопласта, 31. Саветовање производног машинства Србије и Црне Горе, Крагујевац
59. Шљивић, М., Станојевић, М. (2003). Основе производних технологија, Машински факултет, Бања Лука
60. Вујовић, В. (1990). Технологија пластичности у машинству I, Факултет техничких наука, Нови Сад
61. Вујовић, В. (1992). Деформабилност, Факултет техничких наука, Нови Сад

62. [www.rzs.rs.ba](http://www.rzs.rs.ba): Билтени – мјесечни статистички прегледи; Посебна издања – Република српска у бројкама, Саопштења – Рад (плате и запослени), Становништво (витална статистика).
63. 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
64. 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
65. Ziadat, A.H. & Mott, H. (2005) Assessing solid waste recycling opportunities for closed campuses. *Management of Environmental Quality: An International Journal* 16, 250–256



ПРИЛОГ 1: ПОТВРДА О УСТУПАЊУ ПОДАТАКА ОД Ј.П. „ДЕП - ОТ“



**Ј П "ДЕП - О Т"**  
**РЕГИОНАЛНА ДЕПОНИЈА БАЊА ЛУКА**  
Булевар Војводе Живојина мишића 23, Бања Лука, тел: +387 51 349 560, 349 570; факс: +387 51 349 561  
ЖР: 5550070020927813, Нова Банка, Бања Лука / ПИБ: 401664160004

Број: *013-1750/17*

Бања Лука 15 Нов 2011

Г-дин мр Зоран Јањуш

Дипл.инж. машинства

Васе Чарапића ББ ТРН

## Потврда

О уступању података о количинама одложеног комуналног чврстог отпада на регионалну депонију Рамићи у периоду од 2005 године до 2010 године.

Подаци се уступају у сврху израде докторске дисертације „Управљање рециклабилним материјалима из комуналног чврстог отпада“

Референт плана и анализе

Александар Лукач

*Aleksandar Lukac*




Директор

Момчило Роквић



## ПРИЛОГ 2: ПОТВРДА О ПРОВЕДЕНИМ ИСПИТИВАЊИМА У „ОРАО“

А.Д.

	A.D.za proizvodnju i remont Šabačkih đaka bb,76300 Bijeljina Republika Srpska,BiH		Telefon: +387 (0) 55 20 21 03 Fax: +387 (0) 55 20 20 07 e-mail: marketing@orao.aero
Registrovano: Osnovni sud Bijeljina br: <b>I-5606</b> Matični broj: <b>1984152</b> JIB: <b>4400345950004</b>		ŽR: 1941100533700154 - ProCredit Bank 5620030000262539 - Razvojna Banka 5550010000027517 - Nova Banka	
Naš znak: KS/SS Naš broj: 052/71-01 /10 Bijeljina 22.01.2010.	<b>mr Zoran Janjuš, dipl.inž.maš.</b> <b>Banja Luka</b> <b>mob.tel. 065/856-890</b>		
<b>PREDMET:</b> <i>Potvrda o provedenim ispitivanjima</i>			
<b>VEZA: Ponuda br. 052/68-412/09 od 14.12.2009.</b>			
U Laboratoriji za ispitivanje materijala/proizvoda, „ORAO“ a.d. – Bijeljina u periodu od 18.01. do 19.01.2010. godine izvršena su slijedeća ispitivanja mehaničkih osobina materijala (epruvete izrađene od polipropilena) i to:			
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ ispitivanje zatezanjem 95 kom.</li><li>➤ ispitivanje savijanjem 95 kom.</li><li>➤ ispitivanje smicanjem 95 kom.</li><li>➤ ispitivanje tvrdoće i 95 kom.</li><li>➤ metalografsko ispitivanje 5 kom.</li></ul>			
Navedena ispitivanja su izvršena prema gore navednoj ponudi na zahtjev mr Zoran Janjuš, a za potrebe izrade doktorske disertacije naavedenog kandidata.			
 <b>DIREKTOR:</b> <b>Milan Prica, dipl.ing.</b>			

**ПРИЛОГ 3: ПОТВРДА О ПРОВЕДЕНИМ ИСПИТИВАЊИМА У „ИМК РС“**



**ИНСТИТУТ ЗА ИСПИТИВАЊЕ МАТЕРИЈАЛА И КОНСТРУКЦИЈА  
РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ  
INSTITUT FOR MATERIALS AND CONSTRUCTIONS TESTING**

Бања Лука, Јасеновачких логораша 4а

Телефони: (051)	ЦЕНТРАЛА	469-415
	ДИРЕКТОР	469-435
	ЗАМЈЕНИК ДИРЕКТОРА	468-576
	НИСКОГРАДЊА	303-046
	БЕТОН	311-827
	КОНСТРУКЦИЈЕ	469-415
	ГЕОТЕХНИКА	468-448
	МЕТАЛИ	468-390
	ИНВЕСТИТОРСКЕ УСЛУГЕ	468-302
	РАЧУНОВОДСТВО	462-315
	ОПШТА СЛУЖБА	462-315
	ФАКС	468-704

mr Zoran Janjoš, dipl. inž. maš.  
Banja Luka  
mob.tel. 065/856-890

Жиро рачун 562099-00012132-85 код Развојне банке

Бања Лука, дана 16. 02. 10 Број: 269/10

**ПРЕДМЕТ:** Potvrda o provedenom ispitivanju

U Laboratoriji za fizičko mehanička ispitivanja materijala "IMK" Banja Luka 19.01.2010. godine izvršena su sledeća ispitivanja mehaničkih osobina dostavljenih materijala (eprovete izrađene od polipropilena) i to:

- ispitivanje sabijanjem 95 kom.
- ispitivanje žilavosti 95 kom.

Navedena ispitivanja su izvršena na zahtjev mr.Zoran Janjuš, a za potrebe izrade doktorske disertacije navedenog kandidata.



v.d. Direktor:  
Nedeljko Gašić, dipl. inž. građ.

**ПРИЛОГ 4: ПОТВРДА О ОБЈАВИ РАДА У „ТТЕМ-у“ - Сарајево**

**DRUNPP Sarajevo**  
**ttem**

Editorial redaction "TTEM"  
Bolnička bb 71000 SARAJEVO, BiH  
e-mail: ttem\_bih@yahoo.com  
No: 5/11-2011.

**SUBJECT: acknowledgment of paper reviews and publication**

According to the archive of reviewed papers of journal **TTEM - Technics Technologies Education Management**, indexed in relevant scientific database of journals: Thomson, Web of science, Web of knowledge, Index Copernicus, Ebsco etc., we confirm that review process has had positive finish for paper which title is:

**ANALYSIS OF THE AMOUNT OF COMMUNAL WASTE**

Authors ;

**Zoran Janjuš<sup>1</sup>, Aleksandar Petrović<sup>2</sup>, Aleksandar Jovović<sup>2</sup>, Predrag Ilić<sup>3</sup>,  
Slobodanka Pavlović<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Independent University, Faculty of Ecology, Veljka Mladjenovica 12e Street, Banja Luka

<sup>2</sup> Faculty of Mechanical Engineering, Kraljice Marije 16 Street, Belgrade

<sup>3</sup> Institute of protection, ecology and informatics, Vidovdanska 43 Street, Banja Luka

and it will be published in TTEM journal in Vol.7, No.1, 2013:(1- 12 ).

This paper has been done according to the standards and rules related to the writing of scientific paper and has been reviewed by two reviewers.

The above acknowledgment is issued in order to prove validity of scientific research and professional work.

Sarajevo , december 10<sup>th</sup>, 2011



EDITOR TTEM-a:

Dr.sc. Džafer Kudumović, professor

## БИОГРАФИЈА АУТОРА

Зоран Јањуш је рођен 20. 01. 1972. год. у Добоју, Република Српска, Босна и Херцеговина. Ожењен је, отац је једног дјетета.

Основну школу похађао је 1978-1986. год. у Теслићу. У истом граду је 1986-1990. похађао Машинску техничку школу.

Од 1990-2001. студирао је на Машинском факултету у Бања Луци, производни смјер, гдје је 26. 4. 2001. одбранио дипломски рад. Од 2001-2006. студирао је постдипломске студије на Машинском факултету у Бања Луци, смјер Технологија пластичности и обрадни процеси, гдје је 22. 06. 2006. одбранио магистарски рад са темом "Поузданост употребе прериклираног термопласта".

Од 1992-1995. Редовни војни рок са ангажовањем у резервном саставу ВРС (Војске Републике Српске)

Од 2001-2005. радио је у Хемијско-технолошкој школи, Бања Лука, као предавач стручних предмета.

Од 2006. ради као службеник Административне службе Града Бања Лука, гдје је од 01.01.2012.год. постављен за Шефа послова комуналне полиције.

Од 2011. Сарадник је на Еколошком факултету Независног универзитета у Бања Луци на предметима: Еколошки инжењеринг, Еколошке технологије и Еколошко управљање отпадом.

Објавио је 42 рада на конференцијама, научним скуповима, те у домаћим и страним научним часописима.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани-а \_\_\_\_\_ мр Зоран Јањуш, дипл. инж. машинства

број уписа \_\_\_\_\_

### Изјављујем

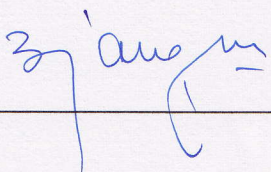
да је докторска дисертација под насловом

УПРАВЉАЊЕ РЕЦИКЛАБИЛНИМ МАТЕРИЈАЛИМА ИЗ  
ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 15.04.2012.год.

  
\_\_\_\_\_



Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

УПРАВЉАЊЕ РЕЦИКЛАБИЛНИМ МАТЕРИЈАЛИМА ИЗ  
ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, 15.04.2012.год.

Потпис докторанда

