



**УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ  
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА**

Мр Саша Јовановић

**МОДЕЛИРАЊЕ ЕКОЛОШКО-ЕНЕРГЕТСКИХ И  
ЕКОНОМСКИХ ПЕРФОРМАНСИ ОДРЖИВИХ  
ТЕХНОЛОГИЈА УПРАВЉАЊА ЧВРСТИМ ОТПАДОМ**

Докторска дисертација

Крагујевац, јануар 2015. године

<b><i>I Аутор</i></b>	
Име и презиме:	Саша Јовановић
Датум и место рођења:	08.06.1966., Крагујевац
Садашње запослење:	Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
<b><i>II Докторска дисертација</i></b>	
Наслов:	Моделирање еколошко-енергетских и економских перформанси одрживих технологија управљања отпадом
Број страница:	229
Број слика:	85
Број библиографских података:	246
Установа и место где је рад израђен	Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Научна област (УДК):	621
Ментор:	Др Небојша Јовичић, редовни професор, Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
<b><i>III Оцена и одбрана</i></b>	
Датум пријаве теме:	08.11.2011.
Број одлуке и датум прихватања докторске дисертације:	01-1/408-8 од 21.02.2013. год. Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
<b>Комисија за оцену подобности теме и кандидата:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Др Небојша Јовичић, редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: Енергетика и процесна техника</li> <li>2. Др Горан Вујић, доцент Факултета техничких наука у Новом Саду, Научне области: Инжењерство заштите животне средине</li> <li>3. Др Никола Макојевић, доцент Економског факултета у Крагујевцу, Научне области: Општа економија и привредни развој</li> <li>4. Др Вања Шуштершич, ванредни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: : Енергетика и процесна техника</li> <li>5. Др Милан Деспотовић, ванредни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: Енергетика и процесна техника</li> </ol>	
<b>Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације:</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Др Вања Шуштершич, ванредни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: Енергетика и процесна техника</li> <li>2. Др Ненад Марјановић, редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: Машинске конструкције и механизација</li> <li>3. Др Добрица Миловановић, редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: Енергетика и процесна техника</li> <li>4. Др Данијела Тадић, редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: Производно машинство и индустријски инжењеринг</li> <li>5. Др Никола Макојевић, доцент Економског факултета у Крагујевцу, Научне области: Општа економија и привредни развој</li> <li>6. Др Горан Вујић, ванредни професор Факултета техничких наука у Новом Саду, Научне области: Инжењерство заштите животне средине</li> <li>7. Др Небојша Јовичић, редовни професор Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Научне области: Енергетика и процесна техника</li> </ol>	
Датум одбране дисертације:	

***Мојим родитељима,  
оцу Бранку и мајци Смиљи***

## УМЕСТО ПРЕДГОВОРА

*Завршетак ове докторске дисертације представља велики корак за њеног аутора и, надам се, макар мали за човечанство. Наш верни сателит Месец нисмо затрпали отпадом (за сада), али наша једина планета Земља све гласније стење под теретом који јој, свакога дана, све више и на све слабија плећа, товари човек. Док нестајуће биљке и животиње немо посматрају наш пир, ми људи, у свом слепилу, не видимо да је грана на којој седимо, готово одсечена...*

*У нади да ће овај рад бар мало допринети очувању најлепшег места у Космосу, желим да се, овом приликом, захвалим особама које су допринеле да започети посао приведем крају.*

*Највећу захвалност, свакако, дугујем свом ментору проф. др Небојши Јовичићу, који ми је пружио сву потребну помоћ у концепирању теме, решавању бројних дилема и значајно допринео подизању квалитета дисертације.*

*Захваљујем се, а тешко је описати колико, колегиници и пријатељу Јелени Бороти, дипломираном машинском инжењеру, за велику помоћ коју ми је пружила са аспекта техничке подршке.*

*Мом „саборцу“и млађем колеги др Горану Бошковићу, такође захваљујем за сваку врсту помоћи коју ми је пружио.*

*Свим члановима Комисије за преглед и оцену као и усмену одбрану дисертације, такође, упућујем речи захвалности за стрпљење и труд који су уложили приликом читања дисертације. Посебно се захваљујем проф. др Данијели Тадић и проф. др Вањи Шуштершич, на изузетно корисним сугестијама које су ми упутиле.*

*Мојим пријатељима, проф. др Лозици Ивановић, проф. др Зорици Ђорђевић и проф. др Слободану Савићу велико хвала за преко потребну моралну подршку током израде дисертације.*

*Постхумно се захваљујем проф. др Вери Николић - Станојевић, ментору моје магистарске тезе, која би се, верујем, много обрадовала завршетку ове докторске дисертације.*

*Родитељима и сестри Ани, највећим пријатељима, је непотребно рећи било шта. Можда, једино, хвала на неизмерном стрпљењу и професионалном „лекторисању“.*

*И, на крају, а у ствари мом почетку, најдражем и најлепшем женском квартету, или инжењерски прецизније, мојој Весни, Ивани, Ксенији и Дини, уместо захвалности, следује обећање да ћу, после овога, пробати да будем много, много бољи супруг и отац...*

У Крагујевцу

Јануар, 2015.

АУТОР



## Резиме

Дефинисање оптималног и одрживог система управљања комуналним чврстим отпадом на локалном нивоу представља веома сложен задатак при чијем се решавању доносиоци одлука суочавају са бројним изазовима и усаглашавањем низа противуречности. Највећи напори приликом пројектовања оваквих система су усмерени ка минимизацији негативних утицаја на животну средину, унапређењу енергетске ефикасности, као и економској одрживости решења.

Основни научни циљ ове дисертације је формирање ефикасне методологије и алгорита за процену и избор одрживих технологија управљања комуналним чврстим отпадом у градовима и општинама Републике Србије. Сама методологија је базирана на принципу вишекритеријумског одлучивања (ВКО) и примени методе Оцењивања животног циклуса (LCA).

Дефинисање основних улазних параметара, односно састава и генерисаних количина комуналног отпада, представља практично почетну фазу решавања постављеног задатка. У том смислу, детаљно је приказано стање у сектору управљања отпадом у Републици Србији и граду Крагујевцу.

Након дефинисања основних циљева, процене потребне инфраструктуре и предвиђених технологија третмана дат је предлог већег броја алтернативних решења за системе управљања отпадом на градском и регионалном нивоу. Моделирање сценарија управљања спроведено је у складу са структуром три примењена софтверска алата (DSS, IWM2 и EASETECH). Валоризацији и рангирању алтернативних опција као и самом избору оптималне варијанте, претходило је дефинисање и избор релевантних критеријума. Кроз варијације вредности рејтинга појединих критеријума анализиран је могући обим утицаја разних заинтересованих страна укључених у процес одлучивања. Такође, извршене су и допунске симулације за три карактеристична састава отпада различитог географског порекла, са циљем сагледавања евентуалних утицаја на рангирање ужег круга изабраних сценарија.

Најбоље оцењени сценарији предвиђају компостирање као опцију третмана биолошког дела отпада, као и инсталацију постројења за секундарну сепарацију амбалажног отпада. Такође, ови сценарији укључују и механичко-биолошки третман мешаног дела комуналног отпада као и енергетско искоришћење RDF и SRF фракција.

Додатно вредновање, пре свега еколошких карактеристика појединих технологија третмана и сценарија управљања, реализовано је кроз примену LCA софтверских алата. Посебна пажња, поред осталих стандардних категорија утицаја, посвећена је фактору глобалног загревања (GWP). У овом делу дисертације спроведен је и поступак ВКО на бази резултата добијених кроз LCA калкулације одабраних параметара.

Формирана методологија избора оптималних система управљања комуналним чврстим отпадом поседује велику флексибилност у погледу могућности њене примене на било коју локалну самоуправу на територији Републике Србије.

**Кључне речи:** управљање комуналним чврстим отпадом, вишекритеријумско одлучивање, оцењивање животног циклуса, перформансе система управљања отпадом

## Summary

Defining the optimal and sustainable municipal solid waste management system at the local level is a very complex task. In solving this problem, decision makers must face a number of challenges and coordinate a series of contradictions. The greatest efforts when designing such systems are aimed at minimizing negative impacts on the environment, improve energy efficiency as well as economic sustainability solutions.

The aim of research in this thesis is the establishment of an effective methodology and algorithms for the evaluation and selection of sustainable technologies for municipal solid waste in cities and municipalities of the Republic of Serbia. The developed methodology is based on the principle of multi-criteria decision making (MCDM) and application method of Life cycle assessment (LCA).

Definition of basic input parameters, concerning generated waste quantity and composition, represent the initial stage of solving the task. In this regard, the detailed analyze of the current waste management sector in the Republic of Serbia and the city of Kragujevac was carried out.

After defining the objectives and assessing the necessary infrastructure and treatment technologies a numerous of alternative solutions for waste management systems at city and regional level were given. Modeling of scenarios was conducted in accordance with the structure of the three applied software tools (DSS, IWM2 and EASETECH). Definition and selection of relevant criteria preceded evaluation and ranking of alternative options as well as the choice of the optimal variant. Through variations of the rating of some criteria the possible extent of the impact of the various stakeholders involved in the decision-making process were analyzed. In addition, some extra simulations for three typical waste composition of different geographical origin were made, in order to examine the possible impact on the ranking of the selected scenarios.

The highest rating scenarios include composting of organic waste components as well as the installation of facilities for secondary separation of packaging waste. Also, these scenarios include mechanical-biological treatment of municipal waste and energy utilization of RDF and SRF factions.

In addition, evaluation of environmental characteristics of treatment technologies and scenarios has been realized through the application of LCA software. Among standard impact categories the emphasis was on global warming potential factor (GWP). This part of the thesis was dedicated to MCDM procedure based on the results obtained through LCA calculations of selected parameters.

The methodology for selection of optimal waste management system developed within this thesis has got a great level of flexibility in terms of its applicability to any local government in Republic of Serbia.

**Keywords:** Solid waste management, Multi-criteria decision making, Life cycle assessment, Performance of solid waste management system

---

# Садржај

<b>1. Увод</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Уводна разматрања о комуналном чврстом отпаду</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Отпад, дефиниција, класификација</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Комунални чврсти отпад</b> .....	<b>6</b>
2.2.1 Састав комуналног чврстог отпада .....	6
2.2.2 Генерисање (продукција) комуналног чврстог отпада .....	8
2.2.2.1 Генерисање комуналног чврстог отпада у свету .....	8
<b>2.3 Утицај отпада на животну средину</b> .....	<b>12</b>
2.3.1 Отпад и климатске промене .....	13
2.3.1.1 Климатске промене, порекло и перспективе .....	13
2.3.1.2 Утицај сектора отпада на климатске промене.....	16
2.3.1.3 Пракса управљања отпадом и климатски утицаји .....	18
2.3.1.3.1 Климатски утицаји депоновања отпада .....	18
2.3.1.3.2 Климатски утицаји термичког третмана отпада .....	20
2.3.1.3.3 Климатски утицаји механичко-биолошког третмана отпада .....	21
2.3.1.3.4 Климатски утицаји компостирања и анаеробне дигестије.....	23
2.3.1.3.5 Рециклажа отпада и климатски утицаји .....	24
2.3.1.3.6 Климатски утицаји превенције стварања отпада .....	26
<b>2.4 Преглед актуелних истраживања у области моделирања и процене еколошко-енергетских и економских перформанси технологија управљања комуналним чврстим отпадом</b> .....	<b>27</b>
2.4.1 Управљање комуналним отпадом и покретачи развоја.....	27
2.4.2 Преглед актуелних истраживања у области ЕЕЕ моделирања и избора оптималних технологија управљања отпадом .....	30
2.4.2.1 Преглед анализа економских перформанси.....	32
2.4.2.2 Преглед анализа еколошко-енергетских перформанси .....	35
2.4.2.3 Преглед примене вишекритеријумског приступа одлучивања у сектору управљања комуналним отпадом .....	38
<b>3. Анализа постојећег стања у сектору управљања чврстим комуналним отпадом у Републици Србији</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1 Количине генерисаног отпада у општинама Републике Србије</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2 Морфолошки састав комуналног отпада у општинама Републике Србије</b> .....	<b>42</b>

---

<b>3.3. Поступање са отпадом у Републици Србији .....</b>	<b>44</b>
3.3.1 Третман комуналног отпада .....	45
3.3.1.1 Стање постојеће инфраструктуре за управљање комуналним отпадом .....	46
<b>3.4. Потенцијалне опције управљања комуналним чврстим отпадом .....</b>	<b>48</b>
<b>4. Стање и динамика чврстог отпада на локалном нивоу .....</b>	<b>51</b>
<b>4.1 Управљање чврстим отпадом у Крагујевцу .....</b>	<b>51</b>
<b>4.2 Количина и састав комуналног отпада у граду Крагујевцу .....</b>	<b>52</b>
4.2.1 Количине комуналног отпада у Крагујевцу .....	53
4.2.2 Морфолошки састав комуналног отпада у Крагујевцу .....	55
<b>5. Методе и софтверска решења за квантификовање еколошко-енергетских и економских перформанси технологија управљања чврстим отпадом .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Методе за процену економских параметара система .....</b>	<b>59</b>
5.1.1 Модел анализе трошкова и добити - CBA модел .....	59
<b>5.2 Методе за процену утицаја на животну средину и анализу енергетских и материјалних токова .....</b>	<b>62</b>
5.2.1 Метода Оцењивања животног циклуса (LCA) .....	62
5.2.1.1 Предности и ограничења .....	65
5.2.2 Модел трошкова животног циклуса - LCC .....	66
5.2.3 LCA и управљање отпадом .....	67
<b>5.3 Вишекритеријумско одлучивање (ВКО) .....</b>	<b>70</b>
5.3.1 Методе вишекритеријумског одлучивања .....	73
5.3.2 Предности и ограничења приступа ВКО .....	81
<b>5.4 Преглед и избор софтверских алата за квантификацију еколошких, енергетских и економских перформанси система управљања комуналним чврстим отпадом ..</b>	<b>84</b>
<b>6. Моделирање варијантних решења система управљања чврстим отпадом .....</b>	<b>86</b>
<b>6.1 Дефинисање система и основни улазни параметри .....</b>	<b>89</b>
<b>6.2 Дефинисање основних циљева и процена потребне инфраструктуре .....</b>	<b>91</b>
<b>6.3 Избор технологија третмана и масени токови .....</b>	<b>93</b>
6.3.1 Компостирање .....	94
6.3.2 Анаеробна дигестија .....	95
6.3.3 Процес издвајања материјала (секундарна сепарација) .....	96
6.3.4 Механичко – биолошки третман (са опцијом компостирања дела мешаног отпада) .....	96

---

6.3.5 Механичко – биолошки третман (са опцијом анаеробне дигестије дела мешаног отпада) .....	97
6.3.6 Биолошко сушење мешаног отпада.....	98
6.3.7 Спаљивање – инсинерација мешаног отпада .....	98
<b>6.4 Моделирање варијантних решења.....</b>	<b>99</b>
6.4.1 Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета DSS....	100
6.4.2 Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета IWM2	109
6.4.3 Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета EASETECH .....	112
<b>7. Симулација предвиђених сценарија и анализа добијених резултата .....</b>	<b>115</b>
<b>7.1 Анализа и избор оптималних решења применом методе вишекритеријумског одлучивања .....</b>	<b>115</b>
7.1.1 Дефинисање и избор критеријума у процесу одлучивања .....	116
7.1.2 Мултипараметарска анализа и вишекритеријумско одлучивање.....	118
7.1.2.1 Анализа утицаја варијација састава отпада .....	130
7.1.2.2 Варијације рејтинга и тежинских коефицијената критеријума .....	132
7.1.2.3 Вредности еколошких, енергетских и економских параметара најбољих сценарија управљања отпадом за град Крагујевац.....	138
7.1.2.4 Вредности еколошких, енергетских и економских параметара најбољих сценарија управљања отпадом за Регион.....	141
7.1.3 Токови материјала и масени биланс отпада.....	144
7.1.3.1 Токови материјала карактеристичних сценарија .....	149
<b>7.2 Анализа и избор оптималних решења применом методе оцењивања животног циклуса .....</b>	<b>153</b>
7.2.1 Симулација сценарија управљања комуналним чврстим отпадом применом софтверског пакета IWM 2 .....	153
7.2.1.1 Емисије гасова стаклене баште и ситних честица у атмосферу.....	154
7.2.1.2 Фактор GWP (Global Warming Potential, потенцијал глобалног загревања).....	159
7.2.1.3 Потрошња горива (FC) и трошкови функционисања система (ТОС) ....	159
7.2.1.4 Примена вишекритеријумског одлучивања у оцењивању животног циклуса .....	165
7.2.1.4.1 Вишекритеријумско одлучивање - SAW метода.....	166
7.2.1.4.2 Вишекритеријумско одлучивање - TOPSIS метода .....	169
7.2.2 Симулација сценарија управљања комуналним чврстим отпадом кроз примену софтверског пакета EASETECH.....	173

---

7.2.2.1	Анализа вредности стандардних еколошких категорија утицаја .....	174
7.2.2.2	Примена вишекритеријумског одлучивања у оцењивању животног циклуса .....	182
7.2.2.2.1	Вишекритеријумско одлучивање - SAW метода.....	183
7.2.2.2.2	Вишекритеријумско одлучивање - TOPSIS метода .....	185
<b>8.</b>	<b>Закључна разматрања.....</b>	<b>190</b>
<b>9.</b>	<b>Литература .....</b>	<b>196</b>

---

## Списак слика

- Слика 2.1      Састав комуналног отпада у зависности од степена развијености земаља
- Слика 2.2      Генерисање отпада по светским регионима
- Слика 2.3      Процентуални удео у глобално генерисаном отпаду према степену развијености земаља
- Слика 2.4      Генерисање отпада урбаног дела популације према степену развијености (актуелно стање и процена за 2025. годину)
- Слика 2.5      Атмосферске концентрације угљен-диоксида, метана и азот-субоксида током последњих 10 000 година (већи приказ) и након 1750 године (мањи приказ)
- Слика 2.6      Емисије метана пореклом са депонија за различите регионе
- Слика 2.7      Покретачи развоја управљања чврстим отпадом
- Слика 2.8      Удео анализа према врсти отпада примењених на системе управљања у Европи
- Слика 2.9      Учешће вишекритеријумског приступа у публикацијама из области заштите животне средине
- Слика 2.10      Иницијалне капиталне инвестиције и оперативни трошкови алтернативних технологија третмана комуналног отпада
- Слика 3.1      Просечна зарада без пореза и доприноса по општинама
- Слика 3.2      Морфолошки састав комуналног отпада у Републици Србији
- Слика 3.3      Удаљеност депонија од насеља у Републици Србији ([www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs))
- Слика 4.1      Количине депонованог комуналног отпада на депонију у Јовановцу, на годишњем нивоу, у тонама
- Слика 4.2      Количина прикупљеног комуналног отпада по месецима за град Крагујевац, у тонама
- Слика 4.3      Просечна количина прикупљеног комуналног отпада по месецима за град Крагујевац, у тонама
- Слика 4.4      Морфолошки састав генерисаног комуналног отпада за град Крагујевац
- Слика 5.1      Основни модел СВА оквира
- Слика 5.2      Позиција LCC методе у оквиру 3Е анализе модела система управљања отпадом
- Слика 5.3      Животни циклус чврстог комуналног отпада
- Слика 5.4      Границе система за оцењивање животног циклуса чврстог отпада
- Слика 5.5      Основни модел ВКО (MCDM) оквира
- Слика 5.6      Удаљеност разматраних алтернатива од "идеалне" и "анти-идеалне" алтернативе
- Слика 5.7      Користи од примене ВКО у области планирања управљања отпадом
- Слика 6.1      Шема методологије за процену и избор технологија управљања комуналним чврстим отпадом на локалном нивоу
- Слика 6.2      Дијаграмски приказ састава отпада различитог географског порекла
- Слика 6.3      Масени ток за процес компостирања

Слика 6.4	Масени ток за процес анаеробне дигестије
Слика 6.5	Масени ток за процес издвајања материјала из амбалажног отпада
Слика 6.6	Масени токови за процесе механичко – биолошког третмана (уз компостирање дела мешаног отпада)
Слика 6.7	Масени токови за процесе механичко – биолошког третмана (уз анаеробну дигестију дела мешаног отпада)
Слика 6.8	Масени ток за процес биолошког сушења мешаног отпада
Слика 6.9	Масени ток за процес спаљивања мешаног отпада
Слика 6.10	Енергетске перформансе технологија третмана отпада
Слика 6.11	Економске перформансе технологија третмана отпада
Слика 6.12	Потребе за површином земљишта технологија третмана отпада
Слика 6.13	Ток отпада за СЦЕНАРИО 6КГ
Слика 6.14	Ток отпада код сценарија 4Е
Слика 7.1	Избор критеријума одлучивања на основу постављених главних циљева
Слика 7.2	Оцене прелиминарно изабраних сценарија за град Крагујевац уз варијације састава отпада
Слика 7.3	Оцене прелиминарно изабраних сценарија за Регион уз варијације састава отпада
Слика 7.4	Процентуална заступљеност група критеријума по варијантама
Слика 7.5	Просечна процентуална заступљеност група критеријума
Слика 7.6	Емисије гасова стаклене баште (GHG) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац
Слика 7.7	Емисије сумпор-диоксида (SO <sub>2</sub> ) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац
Слика 7.8	Производња енергије (EP) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац
Слика 7.9	Потрошња енергије (EC) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац
Слика 7.10	Капитални трошкови (CE) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац
Слика 7.11	Оперативни трошкови (OMC) и трошкови одржавања прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац
Слика 7.12	Емисије гасова стаклене баште (GHG) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион
Слика 7.13	Емисије сумпор-диоксида (SO <sub>2</sub> ) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион
Слика 7.14	Производња енергије (EP) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион
Слика 7.15	Потрошња енергије (EC) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион
Слика 7.16	Капитални трошкови (CE) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион



- Слика 7.17 Оперативни трошкови (ОМС) и трошкови одржавања прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион
- Слика 7.18 Ток материјала за рециклабилну компоненту отпада у оквиру постројења за сепарацију отпада
- Слика 7.19 Ток материјала за отпад биолошког порекла у оквиру постројења за компостирање
- Слика 7.20 Ток материјала за мешани, резидуални отпад приликом третмана у МБТ постројењу
- Слика 7.21 Шема комплетног тока материјала за сценарио 6ФГ
- Слика 7.22 Шема комплетног тока материјала за сценарио 3ФР
- Слика 7.23 Шема комплетног тока материјала за сценарио 5ФГ (две опције за RDF и SRF)
- Слика 7.24 Емисије  $\text{CH}_4$  код предложених сценарија (g),  $\text{CH}_4$
- Слика 7.25 Емисије  $\text{CO}_2$  код предложених сценарија (g),  $\text{CO}_2$
- Слика 7.26 Емисије  $\text{N}_2\text{O}$  код предложених сценарија (g),  $\text{N}_2\text{O}$
- Слика 7.27 Емисије ситних честица код предложених сценарија (g), PM
- Слика 7.28 Фактор GWP код предложених сценарија (g), GWP
- Слика 7.29 Упоредна потрошња горива код предложених сценарија (GJ), FC
- Слика 7.30 Поређење укупних трошкова функционисања система код предложених сценарија (£), ТОС
- Слика 7.31 Запремина преосталог чврстог отпада код предложених сценарија ( $\text{m}^3$ ), VW
- Слика 7.32 Обједињена примена ВКО и LCA методе у процесу избора најповољније опције управљања отпадом
- Слика 7.33 Рангирање сценарија (SAW метода) при различитим варијантама тежинских коефицијената
- Слика 7.34 Вредности фактора релативне блискости алтернативе идеалном решењу за предложене сценарије
- Слика 7.35 Упоредни приказ рангирања сценарија применом SAW и TOPSIS методе
- Слика 7.36 Потенцијал глобалног загревања за четири изабрана сценарија
- Слика 7.37 Потрошња абиотичких ресурса (обновљивих и необновљивих) за четири изабрана сценарија
- Слика 7.38 Потенцијал потрошње озона за четири изабрана сценарија
- Слика 7.39 Потенцијал ацидификације (закишељавања) за четири изабрана сценарија
- Слика 7.40 Потенцијал еутрофикације за четири изабрана сценарија
- Слика 7.41 Потенцијал формирања фотохемијских оксиданата за четири изабрана сценарија
- Слика 7.42 Потенцијал токсичности по људе (карциногени) за четири изабрана сценарија
- Слика 7.43 Потенцијал токсичности по људе (некарциногени) за четири изабрана сценарија

- Слика 7.44 Емисије ситних честица за четири изабрана сценарија
- Слика 7.45 Рангирање сценарија (SAW метода) при различитим варијантама тежинских коефицијената
- Слика 7.46 Вредности фактора релативне блискости алтернативе идеалном решењу
- Слика 7.47 Упоредни приказ рангирања сценарија за SAW и TOPSIS методе

## Списак табела

Табела 2.1	Процена састава отпада за 2025. годину, према степену развијености
Табела 2.2	Актуелне процењене вредности генерисања комуналног чврстог отпада за карактеристичне регионе
Табела 2.3	Пројекције генерисања отпада за 2025. годину по светским регионима
Табела 2.4	Пројекција генерисања отпада према степену развијености за 2025. годину
Табела 2.5	Упоредни потенцијал глобалног загревања за метан, азот-субоксид и угљен-диоксид за период 20, 100 и 500 година
Табела 2.6	Карактеристике комуналног отпада у земљама са различитим нивоом БДП
Табела 2.7	Уштеде емисија CO <sub>2</sub> из процеса рециклаже материјала
Табела 2.8	Сценарији управљања материјалима и GHG емисиони бенефити
Табела 2.9	Карактеристични састави комуналног отпада на европском простору
Табела 3.1	Преглед релевантних индикатора у сектору управљања отпадом
Табела 3.2	Преглед количина генерисаног комуналног отпада по општинама
Табела 3.3	Морфолошки састав комуналног отпада у 5 градова Републике Србије
Табела 3.4	Препоручене технологије третмана комуналног чврстог отпада
Табела 4.1	Преглед опреме за сакупљање отпада на територији коју покрива ЈКП "Чистоћа" – Крагујевац (подаци за 2014. годину)
Табела 4.2	Преглед количина депонованог отпада на депонији у Јовановцу (у тонама)
Табела 4.3	Процентуални састав комуналног отпада за град Крагујевац
Табела 5.1	Приказ повезаности алтернатива и критеријума - матрица одлуке
Табела 6.1	Основни подаци за град Крагујевац
Табела 6.2	Основни подаци за Регион
Табела 6.3	Састав отпада различитог географског порекла
Табела 6.4	Количине отпада и проценат рециклаже за референтну 2020. годину
Табела 6.5	Потребни капацитети постројења за третман комуналног отпада
Табела 6.6	Економско – енергетски параметри технологија третмана отпада
Табела 6.7	Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Град Крагујевац (сценарији 1Г – 12Г)
Табела 6.8	Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Град Крагујевац (сценарији 13Г – 24Г)

Табела 6.9	Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Регион (сценарији 1P – 12P)
Табела 6.10	Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Регион (сценарији 13P – 24P)
Табела 6.11	Количине отпада према врсти третмана
Табела 6.12	Количине отпада према врсти третмана
Табела 7.1	Преглед критеријума, рејтинга и тежинских коефицијента
Табела 7.2	Мултипараметарска анализа за сценарије 1Г – 8Г (за шест одабраних параметара)
Табела 7.3	Мултипараметарска анализа за сценарије 9Г – 16Г (за шест одабраних параметара)
Табела 7.4	Мултипараметарска анализа за сценарије 17Г – 24Г (за шест одабраних параметара)
Табела 7.5	Мултипараметарска анализа за сценарије 1P – 8P (за шест одабраних параметара)
Табела 7.6	Мултипараметарска анализа за сценарије 9P – 16P (за шест одабраних параметара)
Табела 7.7	Мултипараметарска анализа за сценарије 17P – 24P (за шест одабраних параметара)
Табела 7.8	Промене ознака одабраних сценарија из прелиминарне фазе
Табела 7.9	Резултати мултипараметарске анализе прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац
Табела 7.10	Резултати мултипараметарске анализе прелиминарно одабраних сценарија за Регион
Табела 7.11	Рангирање сценарија са променом градског састава отпада
Табела 7.12	Рангирање сценарија са променом састава отпада на нивоу Региона
Табела 7.13	Варијације рејтинга (P) и тежинских коефицијената (T) одабраних критеријума
Табела 7.13а	Варијације рејтинга (P) и тежинских коефицијената (T) одабраних критеријума
Табела 7.14	Рангирање одабраних сценарија (град) – варијације критеријума
Табела 7.15	Рангирање одабраних сценарија (Регион) – варијације критеријума
Табела 7.16	Технологије и количине третираног отпада за најбоље рангиране сценарије
Табела 7.17	Масени биланси прелиминарно одабраних сценарија за градски систем управљања отпадом
Табела 7.18	Масени биланси прелиминарно одабраних сценарија за регионални систем управљања отпадом

- Табела 7.19 Табеларни приказ матрице за 6 сценарија и 8 критеријума
- Табела 7.20 Вредности параметара ( $x_{ij}$ ) по сценаријима
- Табела 7.21 Нормализоване вредности параметара ( $r_{ij}$ ) по сценаријима (SAW)
- Табела 7.22 Тежински и нормализовани тежински коефицијенти (пет варијација)
- Табела 7.23 Збирне карактеристике сценарија за различите вредности тежинских коефицијената
- Табела 7.24 Средња збирна карактеристика и ранг сценарија (SAW метода)
- Табела 7.25 Нормализоване вредности параметара ( $r_{ij}$ ) по сценаријима (TOPSIS)
- Табела 7.26 Тежински коефицијенти критеријума и нормализоване вредности
- Табела 7.27 Отежане нормализоване вредности параметара ( $v_{ij}$ ) по сценаријима (TOPSIS)
- Табела 7.28 Идеално ( $A^+$ ) и анти идеално ( $A^-$ ) решење
- Табела 7.29 Растојања алтернатива од идеалног и антиидеалног решења
- Табела 7.30 Фактор релативне блискости алтернативе идеалном решењу и ранг сценарија (TOPSIS метода)
- Табела 7.31 Карактеризоване вредности стандардних категорија (фактора) утицаја
- Табела 7.32 Нормализоване вредности стандардних категорија (фактора) утицаја (PE – Personal Equivalent)
- Табела 7.33 Табеларни приказ матрице за 4 сценарија и 8 критеријума
- Табела 7.34 Вредности параметара ( $x_{ije}$ ) по сценаријима
- Табела 7.35 Нормализоване вредности параметара ( $r_{ije}$ ) по сценаријима (SAW)
- Табела 7.36 Тежински и нормализовани тежински коефицијенти (три варијације)
- Табела 7.37 Збирне карактеристике сценарија за различите вредности тежинских коефицијената
- Табела 7.38 Средња збирна карактеристика и ранг сценарија (SAW метода)
- Табела 7.39 Нормализоване вредности параметара ( $r_{ije}$ ) по сценаријима (TOPSIS)
- Табела 7.40 Тежински коефицијенти критеријума и нормализоване вредности
- Табела 7.41 Отежане нормализоване вредности ( $v_{ije}$ ) по сценаријима (TOPSIS)
- Табела 7.42 Идеално ( $A^+_e$ ) и анти идеално ( $A^-_e$ ) решење
- Табела 7.43 Растојања од идеалног и антиидеалног решења по сценаријима
- Табела 7.44 Фактор релативне блискости алтернативе идеалном решењу и ранг сценарија (TOPSIS метода)

## Списак скраћеница

ADP	Abiotic Resource Depletion Потрошња абиотичких ресурса
АНР	Analytic Hierarchy Process Аналитички Хијерархијски Процес
AP	Acidification Potential Потенцијал ацидификације – закишељавања
BANANA	Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything
BDP	Бруто домаћи производ
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	Хексафлуорометан
СВА	Cost Benefit Analysis Анализа трошкова и добити
CCIF <sub>2</sub>	Хлор-флуор угљеник
СЕ	Капитални трошкови
CF <sub>4</sub>	Тетрафлуорометан
CH <sub>4</sub>	Метан
CHCIF <sub>2</sub>	Хлор-флуор угљоводоник
СНР	Combined heat and power
CO <sub>2</sub>	Угљен диоксид
CO <sub>2</sub> -eq	Еквивалентна количина неког гаса стаклене баште изражена кроз угљен диоксид на основу односа вредности потенцијала глобалног загревања (GWP)
DSS	Decision Support Software
EASETECH	Environmental Assessment System for Environmental TECHNOlogies
EASEWASTE	Environmental Assessment of Solid Waste Systems and Technology
ЕС	Енергетска потрошња
EIA	Environmental Impact Assessment Метод процене утицаја на животну средину
ELECTRE	Elimination and Choice Expressing Reality
EP	Eutrophication Potential Потенцијал еутрофикације

EP	Energy Production Енергетска продукција
EPA	Environmental Protection Agency Агенција за заштиту животне средине
ERA	Environmental Risk Assessment Метод процене ризика по животну средину
ERRA	European Recovery and Recycling Association Европска асоцијација за издвајање и рециклажу
ESI	Environmental Sustainability Indicator Индикатор одрживости животне средине
EU	Европска Унија
FOD	First Order Decay
GAIA	Geometrical Analysis for Interactive Aid
GHG	Greenhouse gases Гасови стаклене баште
GWP	Global Warming Potential Фактор глобалног загревања
HTP	Human Toxicity Potential Потенцијал токсичности за људе
HTP-C	Human Toxicity Potential-Carcinogenic Потенцијал токсичности за људе-канцерогено
HTP-NC	Human Toxicity Potential-Noncarcinogenic Потенцијал токсичности за људе-неканцерогено
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change Међувладин панел о климатским променама
IWM2	Integrated Waste Management 2
LCA	Life Cycle Assessment Оцењивање животног циклуса
LCC	Life Cycle Cost Трошак животног циклуса
LCI	Life Cycle Inventory Анализа инвентара животног циклуса

---

LCIA	Life Cycle Impact Assessment Оцењивање утицаја животног циклуса
LCT	Life Cycle Thinking Размишљања о животном циклусу
LULU	Locally Unwanted Land Use Локално неатрактивно земљиште за коришћење
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MAVT	Multi-Attribute Value Theory
MCDA	Multi-Criteria Decision-Analysis Анализа мултикритеријумског одлучивања
MCDM	Multi-Criteria Decision-Making Вишекритеријумско одлучивање
MEFA	Material and Energy Flow Analysis Метод анализе материјалних и енергетских токова
MILP	Mixed-integer linear programming Мешовито-целобројно линеарно програмирање
MRF	Material Recovery Facility Постројење за секундарну сепарацију
NF <sub>3</sub>	Азоттрифлуорид
NO <sub>x</sub>	Азотни оксиди
NIMBY	Not In My Back Yard
NOTE	Not Over There Either
ODP	Ozone Depletion Potential Потенцијал потрошње озона
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development Организација за економску сарадњу и развој
OMC	Оперативни трошкови и трошкови одржавања
PM	Particulate matter Емисије ситних честица
POCP	Photochemical Oxidants Creation Potential Потенцијал формирања фото хемијских оксиданата
ppb	Parts per Billion Милијардити део целине



ppm	Parts per Million Милионити део целине
PROMETHEE	Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
RDF	Refuse Derived Fuel Гориво из отпада
SAD	Сједињене Америчке Државе
SAW	Simple Additive Weighting Method Метода адитивних тежинских фактора
SEA	Strategic Environmental Assessment Метод стратешке процене утицаја на животну средину
SF <sub>6</sub>	Сумпорхексафлуорид
TCA	Total Cost Assessment Процена укупних трошкова
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
U.S. EPA	United States Environmental Protection Agency Америчка агенција за заштиту околине
WRAP	Waste Resources Allocation Program
ВКО	Вишекритеријумско одлучивање
ЈКП	Јавно комунално предузеће
МБТ	Механичко-биолошки третман

## 1. Увод

Неадекватно управљање отпадом представља један од највећих функционалних и, пре свега, еколошких проблема савременог света. Убрзан раст људске популације и неусклађеност економског развоја са потенцијалима природних ресурса и адаптабилним могућностима екосфере, прете да, у значајној и неповратној форми, деградирају животну средину. Са друге стране, огромне количине одбаченог материјала остају неискоришћене, што представља велики економски и енергетски губитак.

Последњих неколико деценија, посебно у високо развијеним земљама, придаје се значајна пажња и улажу велика финансијска средства у циљу унапређења праксе управљања отпадом. Настајање отпада је у директној корелацији са националним економијама, али је и достигнути ниво система управљања отпадом веома повезан са степеном економског развоја држава. Опште прихваћени принцип интегрисаног управљања отпадом предвиђа комплексан приступ и структуру система који морају да задовоље бројне мултиинтересне захтеве.

**Основни научни циљ ове дисертације** је формирање ефикасне методологије и алгорита за процену и избор одрживих технологија управљања комуналним чврстим отпадом у градовима и општинама Републике Србије, са акцентом на оптималним еколошко-енергетским и економским перформансама. Избор оптималне технологије подразумева сагледавање утицаја великог броја фактора, као и специфичности окружења. Ту се, пре свега, мисли на тренутне технолошке могућности у управљању чврстим комуналним отпадом, као и на климатске и социо-културолошке специфичности. Велики број и разноврсност критеријума за вредновање перформанси система управљања отпадом, намеће потребу за применом сложених метода и алата, који треба да помогну доносиоцима одлука приликом процедуре избора оптималних решења. У оквиру ове дисертације, као део одговора на комплексан задатак укупне квантификације и рангирања предложених решења за локални систем управљања отпадом, изабран је приступ вишекритеријумског одлучивања (ВКО). Поступак ВКО, примењен је и као надградња и допуна методе Оцењивања животног циклуса (LCA), односно, њених интегралних фаза – Анализе инвентара животног циклуса (LCI) и Оцењивања утицаја животног циклуса (LCIA).

Анализа састава и генерисаних количина комуналног отпада чини есенцијални део сваког савременог система управљања отпадом и представља основу за доношење одређених стратешких одлука. У **делу уводних разматрања** дисертације, кроз приказ већег броја карактеристичних састава отпада, указано је на очигледну повезаност расподеле одређених фракција отпада и степена економског развоја заједнице. У истом поглављу, указано је и на огромне потенцијале многољудних земаља са растућим економијама (Кина, Индија и др.), у погледу повећања генерисаних количина отпада. Уколико у блиској будућности, у поменутих земљама и регионима не дође до адекватног унапређења праксе управљања овако великим количинама отпада, оптерећење локалних простора и коначно, глобалног еколошког система ће постати знатно веће него што је данас.

У оквиру **другог поглавља**, значајан део је посвећен анализи утицаја отпада на животну средину. Очигледне климатске промене и последице које оне узрокују, издвојиле су се, током последњих година, као најзначајнији светски еколошки проблем. Управо је у овом делу дисертације детаљно анализиран глобални утицај сектора управљања отпадом на промену климе. Посебно су разматрани и упоређивани климатски утицаји већег броја технологија управљања комуналним отпадом. У наредним поглављима фактор глобалног загревања (GWP) је укључен у сваку од извршених упоредних анализа разматраних сценарија управљања отпадом. У оквиру спроведених поступака вишекритеријумског одлучивања, овом параметру су увек додељиване високе вредности тежинских коефицијената.

У другом поглављу, дат је и приказ најзначајнијих литературних референци из области управљања комуналним отпадом уз посебан осврт на публиковане анализе и процедуре избора најбољих технологија третмана са аспекта еколошких, енергетских и економских перформанси. Овај део дисертације, започет је кратким историјским освртом и навођењем основних покретача досадашњег развоја системског управљања отпадом (Wilson, 2007). Посебан део у поглављу, посвећен је примени вишекритеријумског приступа у области управљања отпадом и интегрисаној примени са методом Оцењивања животног циклуса.

Анализа постојећег стања у сектору управљања комуналним чврстим отпадом у Републици Србији дата је у **трећем поглављу** дисертације. Будући локални систем треба да представља део комплексног система управљања отпадом на нивоу Републике. Њихова међусобна интеракција је укључена у алгоритам методологије за процену и избор технологија управљања комуналним чврстим отпадом на локалном нивоу.

У том смислу, у овом делу дисертације дат је преглед количина и састава генерисаног отпада у општинама Републике Србије. Презентирани подаци представљају резултат сарадње Техничког факултета у Новом Саду и Факултета инжењерских наука из Крагујевца у оквиру израде Методологије за одређивање морфолошког састава и количине отпада (Вујић и сар., 2010). Бројне анализе указују да је неадекватно поступање са отпадом узрок многобројних еколошких проблема у Републици Србији. Одлагање на депоније, практично, представља једини начин управљања комуналним отпадом. Око 40% укупно генерисаног комуналног чврстог отпада се одлаже на једну од око 4500 регистрованих дивљих депонија. Усвајањем Националне стратегије управљања отпадом 2010 – 2019 (Службени гласник Републике Србије 29/2010) и доношењем Закона о управљању отпадом (Службени гласник Републике Србије 36/2009 и 88/2010), постављена је основа која обезбеђује услове за рационално и одрживо управљање отпадом на територији Републике. У оквиру трећег поглавља, дат је и преглед одређеног броја доступних, еколошки и енергетски ефикасних и економски одрживих технологија третмана комуналног чврстог отпада, чија се примена, у складу са анализама и реалним могућностима, препоручује у локалним системима.

Управљање комуналним отпадом је у надлежности локалних самоуправа и обухвата функције сакупљања, транспорта, рециклаже, поновне употребе, третмана и одлагања. Конципирање и реализација процеса управљања комуналним чврстим отпадом представљају врло сложен задатак, који изискује значајне организационе капацитете и сарадњу великог броја заинтересованих чинилаца из приватног и јавног сектора. У

**четвртом поглављу** се даје приказ актуелног стања у сектору управљања чврстим комуналним отпадом на територији града Крагујевца. Представљени су начин и резултати прикупљања, као и обраде и анализе података везаних за морфолошке карактеристике и динамику генерисања чврстог отпада на локалном нивоу. Подаци о саставу и количинама генерисаног отпада, као и предикције потенцијалних промена, представљају један од базичних елемената конципирања будућег градског, или регионалног система управљања отпадом.

Већина савремених модела развијених у сврху подршке током процеса одлучивања и избора оптималне технологије управљања отпадом, може се сврстати у један од следећих оквира:

- Модели у којима се разматрају проблеми процене односа трошкова и добити у оквиру анализираних система управљања отпадом,
- Модели у којима се разматра утицај стратегије за управљање отпадом на животну средину и на енергетске и материјалне токове,
- Модели вишекритеријумског одлучивања за избор оптималне стратегије управљања отпадом.

У **петом поглављу** се даје приказ метода које се најчешће користе у процесима евалуације, рангирања и избора система за управљање отпадом. Из прве групе метода, у претходно наведеној подели, посебно је представљен модел анализе трошкова и добити – СВА модел. Принцип рационалног понашања и стриктна процена друштвених користи од одређеног инвестиционог пројекта, у значајној су мери интегрисани у коначни, свеобухватни, приступ приликом решавања основног задатка ове дисертације. Приликом процене утицаја моделираних (предложених) варијантних решења система управљања отпадом на животну средину коришћена је метода Оцењивања животног циклуса (LCA). Као комплементаран приступ методи LCA, у оквиру овог поглавља, представљен је и модел Трошкова животног циклуса који се користи за квантификацију економских параметара одређеног система. Вишекритеријумско одлучивање (ВКО) представља помоћни алат у процесу доношења одлука, а који у себи интегрише велики број научних дисциплина од математике, статистике и економије, уз елементе психологије, социологије и филозофије, све до области везаних за организационе науке и информатичке технологије. Кроз пето поглавље дат је приказ неколико најзначајнијих метода ВКО. Сам метод ВКО налази изузетно широку примену у разним доменима, као што су: проблеми инвестиционих улагања, менаџмент, заштита животне средине, медицина, банкарство, маркетинг, инжењерство, итд. Може се рећи да већина економских, социјалних, политичких и технолошких проблема одлучивања своје решење заснива на приступу ВКО. На крају овог дела дисертације дат је преглед одређеног броја софтверских алата за квантификацију еколошких, енергетских и економских перформанси система управљања комуналним чврстим отпадом. Нешто детаљније су представљени програмски пакети који су коришћени у анализама спроведеним у оквиру дисертације.

Један од основних циљева дисертације био је дефинисање методологије за процену и избор технологија управљања комуналним чврстим отпадом на локалном нивоу, са посебним нагласком на оптималним еколошко-енергетским и економским перформансама. У **шестом поглављу** су детаљно описани елементи и структура формираног алгорита за вредновање, рангирање и избор система за управљање отпадом. Основ овог решења чине методе ВКО, LCA, као и њихова интегрисана

примена. У овом делу, извршено је дефинисање основних улазних параметара будућег система управљања отпадом, што представља и улазни елемент нумеричког алгоритма. Након тога пројектовани су основни циљеви, процењена потребна инфраструктура и детаљно приказане предвиђене технологије третмана, као и одговарајући масени токови. Моделирање варијантних решења је спроведено у складу са три примењена софтверска алата. Алат за подршку методи ВКО, DSS (Decision Support Software) је употребљен за оцену и рангирање укупно четрдесет осам сценарија за будући градски и регионални систем управљања комуналним отпадом. Друга два софтверска пакета IWM2 и EASETECH, која су заснована на LCA приступу, коришћени су за вредновање сценарија чија је структура прилагођена специфичностима ових алата, али су основни улазни подаци у систем и спектар коришћених технологија третмана, остали исти.

**Седмо поглавље**, између осталог, обухвата анализу предложених и избор оптималних решења применом метода ВКО и LCA. Фази валоризације алтернативних опција и самом избору оптималне варијанте, претходило је дефинисање и избор релевантних критеријума. Притом се посебно водило рачуна о дефинисању и избору критеријума, као и одређивању њихових тежинских коефицијената. Избор критеријума је спроведен тако да су у највећој могућој мери покривени сви аспекти једног таквог сложеног система (еколошки, техничко-енергетски, економски, социолошки и законско-регулативни). Кроз варијације вредности рејтинга појединих критеријума и анализе понашања система за неколико различитих састава отпада, извршене су анализе осетљивости резултата рангирања. Посебно су, за два одвојена система управљања комуналним отпадом – градски и регионални, на основу вредности еколошких, енергетских и економских параметара, изабрана најбоља предложена алтернативна решења. Дати су и одговарајући шематски прикази токова материјала код одабраних сценарија. Кроз интегративну примену метода ВКО и LCA, у овом делу дисертације, извршено је и додатно валоризовање одабраних технологија третмана комуналног отпада. Вишекритеријумско рангирање сценарија, чији су карактеристични параметри одређивани кроз примену LCA (LCI, LCIA), реализовано је спровођењем SAW и TOPSIS анализа предложених варијантних решења.

У последњем, **осмом поглављу** дисертације представљена су закључна разматрања везана за спроведени поступак вредновања и рангирања разматраних алтернативних решења. Посебна пажња је посвећена анализи еколошких, енергетских и економских перформанси одабраних сценарија и коришћених технологија третмана фракција комуналног отпада. Истакнута је флексибилност дефинисане методологије, као и могућност њене примене у избору оптималних система управљања за било коју локалну самоуправу на територији Републике Србије. Поред тога указано је, у смислу будућих истраживања, и на могућа унапређења концепта саме методологије и њених појединачних сегмената.

## 2. Уводна разматрања о комуналном чврстом отпаду

### 2.1 Отпад, дефиниција, класификација

Продукција (генерисање) отпада представља, можда, најприроднији акт живота људи у руралним и урбаним срединама.

Под отпадом се подразумева сваки материјал или предмет који настаје у току обављања производне, услужне или друге делатности, предмети искључени из употребе, као и отпадне материје које настају у потрошњи и које са аспекта произвођача, односно потрошача нису погодне за даље коришћење и морају се одбацити.

Са економског аспекта, отпад се још увек, најчешће, третира као негативна појава. У том смислу веома је значајно јасно дефинисање границе између "отпада" и "неотпадних материјала" у циљу детерминисања одлучујућих фактора на економском тржишту отпада.

Тренд тржишног развитка указује да отпад постаје значајан потенцијални ресурс и секундарна сировина. Могућност поновне употребе отпада као и потенцијални ризици по животну средину представљају критеријуме који се користе за одређивање краја животног века отпада.

Човек је једино биће на планети Земљи које ствара отпад. Због све већих количина и штетности по околину, отпад се сматра једним од најзначајнијих еколошких проблема савременог света. Бројне људске активности представљају одлучујући чинилац у промени животне средине. Све те активности су, мање или више, повезане са задовољавањем одређених животних потреба. Највећи део тих потреба је индукован вештачки и оне чине структурни део глобалног пројекта названог потрошачко друштво. Логично се намеће дилема о неопходности толиког броја и спектра различитих производа, који ће након употребе, неизбежно постати отпад. Наша цивилизација продукује све више отпада и у скоријој будућности не постоје реални изгледи да се тај тренд промени. Ипак, захваљујући убрзаном технолошком напретку и развоју еколошке свести, борба против одређених нежељених ефеката енормне продукције отпада, постаје све успешнија. Настајање отпада је резултат целокупне економске активности сваке државне заједнице и као такво је у директној корелацији са националном економијом.

Управљање комуналним отпадом обухвата функције сакупљања, транспорта, рециклаже, поновне употребе, третмана и одлагања чврстог отпада. За процес управљања чврстим комуналним отпадом највећу одговорност има локална самоуправа. Конципирање и реализација процеса управљања отпадом представљају комплексан задатак, који захтева одговарајуће организационе капацитете и сарадњу између бројних заинтересованих чинилаца у приватном и јавном сектору.

## 2.2 Комунални чврсти отпад

Према месту односно пореклу настанка, чврсти отпад се дели на комунални, комерцијални и безопасни индустријски отпад. Уобичајено је да се отпад урбаних средина и комерцијални отпад једним именом назива комунални (општински) чврсти отпад. Комунални чврсти отпад по дефиницији укључује отпад из домаћинства, као и други отпад који је због своје природе и састава сличан отпаду из домаћинства: неопасни отпад из индустријских, комерцијалних установа и институција, административних установа, занатских радњи, грађевински отпад (шут, земља, мешовити отпад са градилишта), пијачни отпад, баштенски отпад, зелени отпад из паркова и других зелених површина као и остатке настале чишћењем улица.

### 2.2.1 Састав комуналног чврстог отпада

Крајем осамдесетих година прошлог века јавља се све већа потреба за детаљнијим подацима о комуналном отпаду, посебно са аспекта планирања сакупљања отпада, третирања отпада и идентификације штетних и опасних материја у отпаду. Утврђивање морфолошког састава отпада представља кључ успешног управљања комуналним отпадом. Познавање састава комуналног чврстог отпада неопходно је комуналним и индустријским интересним групама које су укључене у процес управљања отпадом на општинском (градском) нивоу у циљу што успешнијег развоја стратегија за одрживо управљање комуналним отпадом.

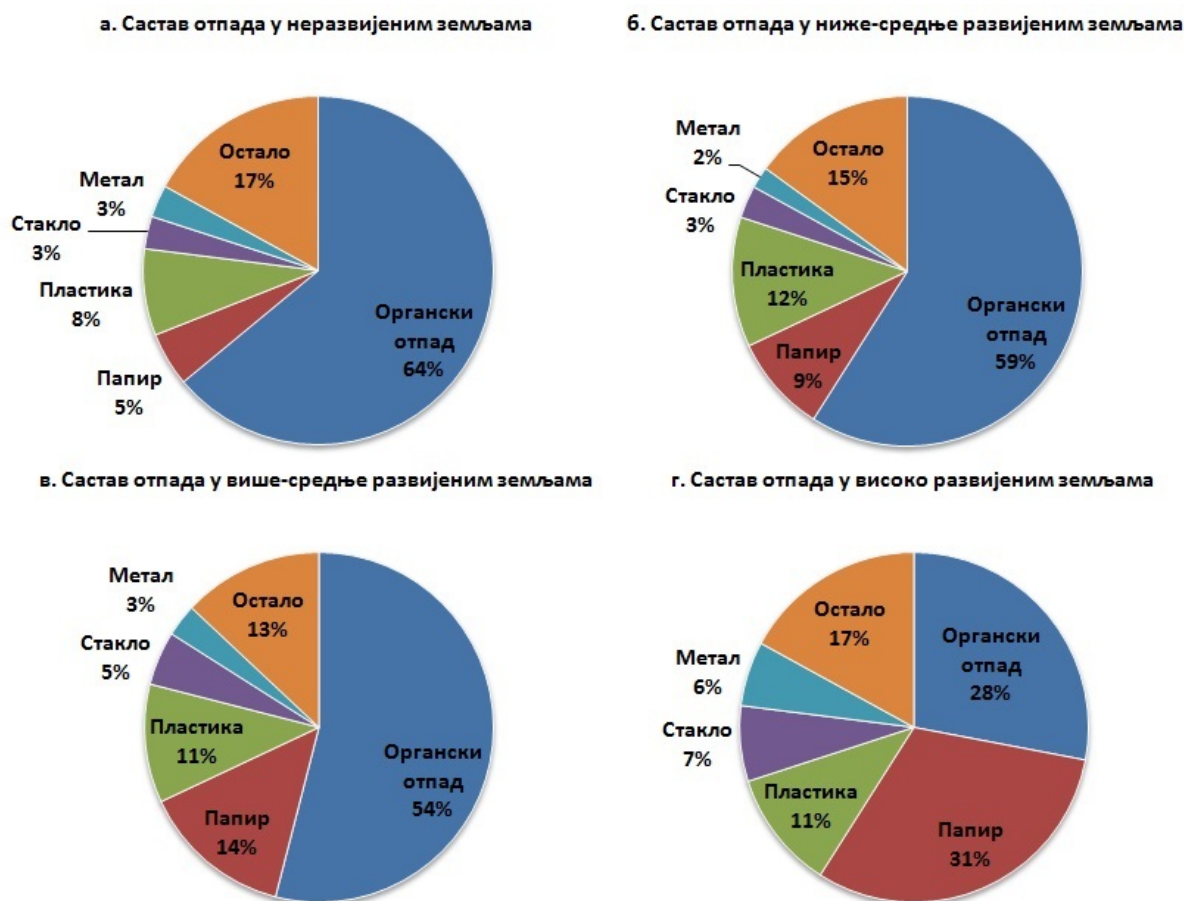
Анализа састава и генерисаних количина отпада представља интегрални део управљања отпадом, и ако се правилно спроводи, могуће је идентификовати генераторе отпада на нивоу домаћинства и утврдити просторну дистрибуцију, износ компоненти отпада које се могу одвојено сакупити, као и квалитет и количину генерисаног отпада. Анализа отпада је од есенцијалне важности и представља први корак у припреми стратегије дугорочног управљања комуналним отпадом и помаже да се идентификују начини и поступци за смањење генерисања отпада као и за избор оптималних опција третирања и коначног одлагања отпада.

Морфолошки састав комуналног чврстог отпада представља садржај појединих врста отпадака у односу на укупну масу отпада. Презентирани резултати умногоме зависе од примењене методологије одређивања састава отпада. У одређеном броју публикација у којима се третира ова проблематика примећује се значајан број различитих приступа у, пре свега, дефинисању и подели отпада на одређене саставне компоненте (Beigl и сар., 2008; Christensen и сар., 2009). То донекле отежава упоредивост одговарајућих резултата и доношење релевантних закључака.

На састав отпада утиче низ различитих фактора од којих су многи у одређеном степену и међусобно повезани. Економски развој државе (или региона, града, општине) представља један од доминантних утицајних чинилаца. Са друге стране, на састав отпада значајно утичу социо-културолошке карактеристике одређене заједнице, као и климатски и географски услови посматраног подручја, енергетски ресурси и др. Динамика сакупљања отпада, као и локални приступ и стратегија у целокупном

процесу управљања отпадом, све до коначног одлагања, представљају, такође, значајне факторе који детерминишу састав отпада.

У случају најбогатијих, високо развијених земаља или региона, евидентира се најмањи процентуални удео органског отпада, док је са друге стране, у случају земаља у развоју и неразвијених земаља, његов удео у укупно генерисаном отпаду врло висок. Ипак, укупан масени допринос органског отпада из високо развијених земаља је, у поређењу са економски неразвијеним државама, неупоредиво већи.



Слика 2.1 Састав комуналног отпада у зависности од степена развијености земаља

На слици 2.1, приказане су карактеристике састава комуналног чврстог отпада за различите степене економске развијености земаља (Worldbank, 2012).

Очигледно, код земаља са најнижим степеном развоја бележи се највећи проценат органског отпада (64%), наспрот најразвијенијим земаљама где је тај удео најмањи и износи око 28%. Са друге стране, у саставу комуналног чврстог отпада најразвијенијих држава, папирна фракција отпада достиже читавих 31%, и очекивано, само 5% код најмање развијених. Удео неких врста рециклабилних материјала (метали, стакло), такође, значајно зависи од степена развијености држава и расте са повећањем друштвеног богатства. У погледу процентуалног учешћа пластичног отпада није примећена значајнија зависност у односу на економску развијеност заједнице. У табели 2.1 представљена је процена очекиваног процентуалног садржаја појединих



фракција отпада за различите степене развијености земаља за 2025. годину (Worldbank, 2012).

**Табела 2.1** Процена састава отпада за 2025. годину, према степену развијености

ПРОЦЕНА САСТАВА ОТПАДА ЗА 2025. ГОДИНУ*						
Степен развијености	Органски (%)	Папир (%)	Пластика (%)	Стакло (%)	Метал (%)	Остало (%)
Неразвијене земље	62 (64)	6 (5)	9 (8)	3 (3)	3 (3)	17 (17)
Ниже средње развијене земље	55 (59)	10 (9)	13 (12)	4 (3)	3 (2)	15 (15)
Више средње развијене земље	50 (54)	15 (14)	12 (11)	4 (5)	4 (3)	15 (13)
Високо развијене земље	28 (28)	30 (31)	11 (11)	7 (7)	6 (6)	18 (17)

\* У заградама су процене актуелног састава отпада

У заградама су, ради поређења, дате тренутне вредности учешћа наведених фракција отпада на основу актуелних процена исте институције. На основу података приказаних у табели 2.1, може се закључити да се нешто значајније промене у саставу отпада првенствено очекују код земаља са нижим степеном економског развоја и то, првенствено, у погледу удела органске компоненте.

## 2.2.2 Генерисање (продукција) комуналног чврстог отпада

Поред морфолошког састава, као други значајан параметар који утиче на оптималан избор опције управљања комуналним чврстим отпадом, свакако се издваја количина произведеног, односно, генерисаног отпада.

Генерисање комуналног чврстог отпада, у највећој мери, зависи од степена економског развоја, степена индустријализације, јавних навика и локалних климатских услова. Генерално, већи степен економског развоја и виши ниво урбанизације узрокују и веће количине генерисаног отпада по становнику. Урбани део популације, у просеку, продукује око два пута више комуналног чврстог отпада у односу на рурални део становништва.

### 2.2.2.1 Генерисање комуналног чврстог отпада у свету

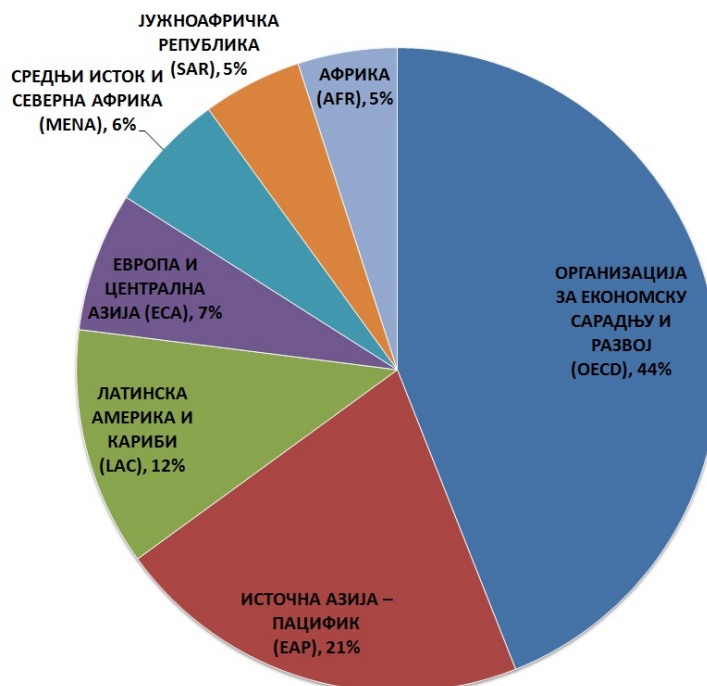
Тренутна глобална продукција комуналног чврстог отпада износи око 1,4 милијарде тона годишње, уз процену да ће се до 2025. године повећати до нивоа од око 2,2 милијарде (Worldbank, 2012). У истом периоду количине генерисаног комуналног чврстог отпада по особи повећаће се са 1,2 на 1,42 kg дневно. Тренд промена генерисаних количина комуналног чврстог отпада неће бити исти у различитим регионима. Стопе генерисања отпада ће значајно варирати између одређених земаља, градова, па на крају и у оквиру њих, по појединим насељима.

**Табела 2.2** Актуелне процењене вредности генерисања комуналног чврстог отпада за карактеристичне регионе

РЕГИОН *	ПРОДУКЦИЈА ОТПАДА ПО СТАНОВНИКУ (килограма/становнику/дневно)		
	Доња граница	Горња граница	Просек
<b>AFR</b>	0,09	3,0	0,65
<b>EAP</b>	0,44	4,3	0,95
<b>ECA</b>	0,29	2,1	1,1
<b>LAC</b>	0,11	2,1	1,1
<b>MENA</b>	0,16	5,7	1,1
<b>OECD</b>	1,10	3,7	2,2
<b>SAR</b>	0,12	5,1	0,45

\* AFR – Африка, EAP – Источна Азија и Пацифик, ECA – Европа и Централна Азија, LAC – Латинска Америка и Кариби, MENA – Средњи Исток и Африка, OECD – Организација за економску сарадњу и развој, SAR – Јужноафричка Република;

У табели 2.2 приказана је процена тренутног нивоа генерисања комуналног чврстог отпада по одређеним светским регионима, по становнику у току дана (Worldbank, 2012). Такође, за исте регионе, у табели 2.3 приказана је пројекција количина генерисаног комуналног чврстог отпада за 2025. годину. На слици 2.2 дат је графички приказ процентуалних удела у глобалној продукцији отпада по напред наведеним регионима. Уочљиво је да земље OECD-а генеришу готово половину отпада у свету, док су Африка и Јужна Азија региони са најмањом продукцијом.

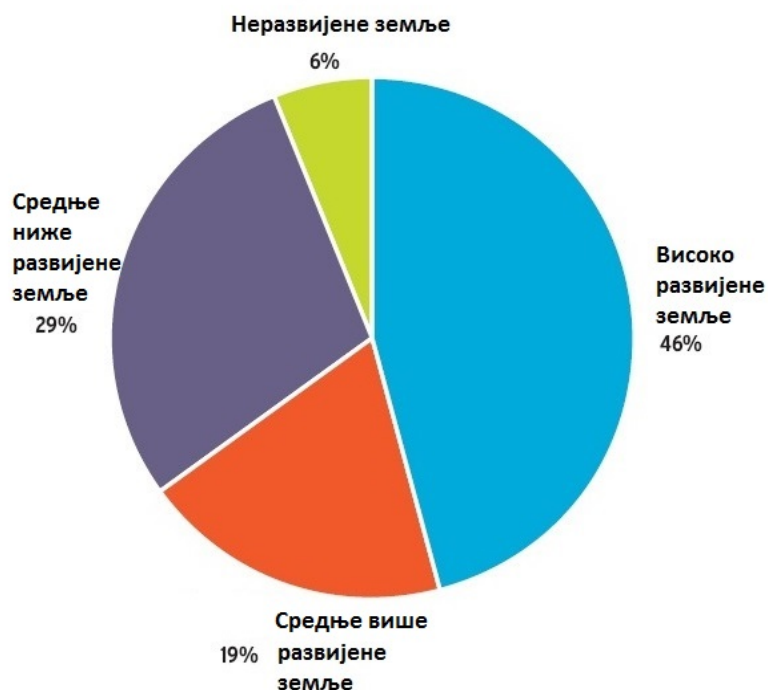


**Слика 2.2** Генерисање отпада по светским регионима

Табела 2.3 Пројекције генерисања отпада за 2025. годину по светским регионима

Регион	Текући расположиви подаци			Пројекције за 2025. годину			
	Укупна урбана популација (милиони)	Генерисање отпада из урбаног сектора (kg)		Пројекција популације		Пројекција урбаног отпада (kg)	
		По становнику Дневно	Укупно дневно	Укупна популација (милиони)	Урбана популација (милиони)	По становнику дневно	Укупно дневно
AFR	260	0,65	169.119	1.152	518	0,85	441.840
EAP	777	0,95	738.958	2124	1.229	1,5	1.865.379
ECA	227	1,1	254.389	339	239	1,5	354.810
LAC	399	1,1	437.545	681	466	1,6	728.392
MENA	162	1,1	173.545	379	257	1,43	369.320
OECD	729	2,2	1.566.286	1.031	842	2,1	1.742.417
SAR	426	0,45	192.410	1.938	734	0,77	567.545
Total	2.980	1,2	3.532.252	7.644	4.285	1,4	6.069.703

Високо развијене земље генеришу највише комуналног чврстог отпада по становнику, а супротно томе, неразвијене – најмање. На слици 2.3 приказан је процентуални удео у глобално генерисаном отпаду, према степену развијености земаља, односно, висини бруто друштвеног производа по становнику (Worldbank, 2012).



Слика 2.3 Процентуални удео у глобално генерисаном отпаду према степену развијености земаља

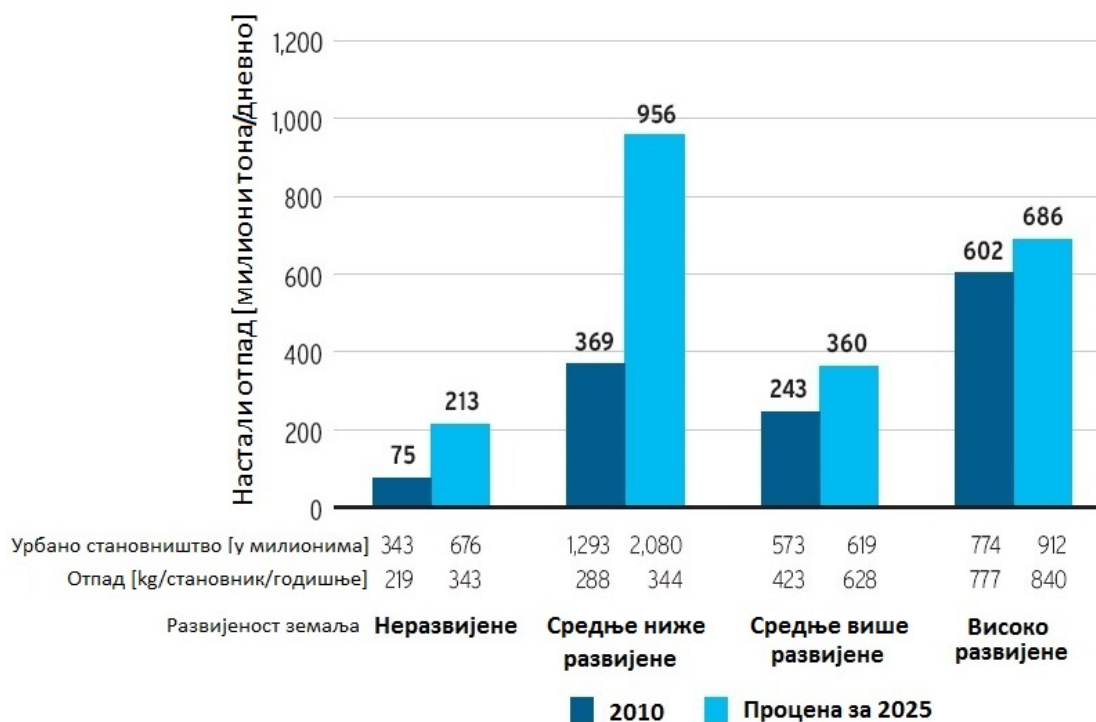
У табели 2.4 дата је пројекција генерисања комуналног чврстог отпада за 2025. годину, на основу анализе података за текуће вредности БДП-а, пројекција вредности БДП-а, као и процене бројности људске популације за разматрани период (Worldbank, 2012).

**Табела 2.4** Пројекција генерисања отпада према степену развијености за 2025. годину

Регион *	Текући расположиви подаци			Пројекције за 2025. годину			
	Укупна урбана популација (милиони)	Генерисање отпада из урбаног сектора		Пројекција популације		Пројекција урбаног отпада	
		По становнику (kg/ст./дан)	Укупно (t/дан)	Укупна популација (милиони)	Урбана популација (милиони)	По становнику (kg/ст./дан)	Укупно (t/дан)
<b>НСР</b>	343	0,60	204.802	1.637	676	0,86	584.272
<b>СНСР</b>	1.293	0,78	1.012.321	4.010	2.080	1,3	2.618.804
<b>СВСР</b>	572	1,16	665.586	888	619	1,6	987.039
<b>ВСР</b>	774	2,13	1.649.547	1.112	912	2,1	1.879.590
<b>Укупно</b>	2.982	1,19	3.532.256	7.647	4.287	1,4	6.069.705

\* (НСР – низак степен развијености, СНСР – средњи нижи степен развијености, СВСР - средњи виши степен развијености, ВСР – висок степен развијености)

Посматрајући податке приказане у табели 2.4, примећује се да највећи потенцијал, у смислу експанзије количина генерисаног комуналног отпада, имају земље чије су економије, тренутно, класификоване као ниже, средње развијене.



**Слика 2.4** Генерисање отпада урбаног дела популације према степену развијености (актуелно стање и процена за 2025. годину)

Како је већ поменуто, урбани део популације у просеку продукује два пута више отпада по становнику него рурални. Процес урбанизације, у смислу повећања процентуалног удела урбаног становништва у односу на укупну популацију, све је израженији. Овај тренд је посебно изражен у деловима света са врло великим бројем становника и регионима са значајним природним прираштајем. Свакако да заједнички утицај ова два процеса, пораста броја становника и њихов убрзан трансфер из руралних у урбана подручја, резултира рапидним повећањем глобалних количина генерисаног комуналног чврстог отпада. На слици 2.4, дат је упоредни дијаграмски приказ тренутних и количина комуналног отпада пројектованих за 2025, за 4 групе земаља класификованих према степену развијености. Процена за 2025. годину узима у обзир како пораст популације, тако и тренд урбанизације и предвиђено повећање продукције отпада по становнику. Уочљиво је да се изразито највећи пораст количина генерисаног комуналног чврстог отпада очекује у оквиру групе земаља окарактерисаних као ниже средње развијене економије. И код групе неразвијених земаља, очекује се сличан процентуални пораст количина генерисаног отпада у наведеном периоду – готово 300%, али ће он глобално, узимајући у обзир и бројност популације и дневну продукцију отпада по становнику, свакако бити много мање значајан у поређењу са повећањем количине отпада генерисаног у земљама ниже средње развијених економија.

### 2.3 Утицај отпада на животну средину

Процес индустријализације, нерационално коришћење ресурса, пораст људске популације и култ потрошачког друштва, представљају основне узроке све веће продукције отпада.

Количине генерисаног комуналног и индустријског отпада превазилазе способност животне средине да их апсорбује и путем природних процеса, разложи и рециклира. Убрзан глобални пораст броја становника и неусклађен економски развој са адаптивним могућностима екосфере, узрокују промене на Земљи које могу изазвати озбиљне и трајне последице по целокупан живи свет на нашој планети.

Неадекватно управљање отпадом, препознато је као један од кључних проблема заштите животне средине, док отпад, истовремено, представља велику опасност по јавно здравље. Одрживо управљање отпадом, стога, постаје један од примарних циљева, али истовремено, и најсложенијих проблема у целокупном систему заштите животне средине.

У оквиру ове дисертације, значајан простор посвећен је квантификацији еколошких утицаја различитих технологија и сценарија управљања отпадом. Израчунавања вредности основних еколошких категорија (индикатора) утицаја представљају део спроведених процедура вишекритеријумског одлучивања и оцењивања животног циклуса. Ово је, кроз употребу одговарајућих софтверских пакета, урађено у циљу избора оптималног система управљања комуналним чврстим отпадом. Најзначајније категорије (индикатори) утицаја на животну средину, издвојене кроз обиман преглед актуелне литературе, а које се повезују са еколошким последицама које потичу од сектора управљања отпадом, су:

- Потенцијал глобалног загревања, (Global Warming Potential - GWP),
- Потрошња абиотичких ресурса, (Abiotic Resource Depletion - ADP),
- Потенцијал потрошње озона, (Ozone Depletion Potential - ODP),
- Потенцијал ацидификације – закишељавања, (Acidification Potential - AP),
- Потенцијал еутрофикације, (Eutrophication Potential - EP),
- Потенцијал формирања фото хемијских оксиданата, (Photochemical Oxidants Creation Potential - ПОСР),
- Потенцијал токсичности за људе, (Human Toxicity Potential - НТР),
- Емисије ситних честица, (Particulate matter - PM)

Последњих деценија, сведоци смо глобалних климатских промена, као једног од, потенцијално, најопаснијих неконтролисаних процеса на планети. Утицај генерисања и управљања отпадом, као врло експанзивног сектора, постаје све значајнији утицајни чинилац на осетљиви климатски систем Земље.

У току поступка спровођења процедура вишекритеријумског одлучивања, у циљу рангирања предложених сценарија, значајан моменат представља додељивање тежинских коефицијената различитим утицајним параметрима, односно, критеријумима. Процењујући да убрзана промена климе на планети, тренутно, представља најзначајнији еколошки, економски, социјални, а све више и политички проблем, у већини урађених симулација, потенцијалу глобалног загревања (GWP) су увек додељиване високе вредности тежинских фактора.

У циљу појашњења и квантификације утицаја сектора отпада на климатске промене, првенствено, кроз сегмент емисија гасова стаклене баште, у наредном одељку ће, о овој теми, бити нешто више речено.

### 2.3.1 Отпад и климатске промене

#### 2.3.1.1 Климатске промене, порекло и перспективе

Живот на планети Земљи је, између осталог, могућ и због постојања природног ефекта стаклене баште. Природна појава гасова са ефектом стаклене баште (GHG – Greenhouse gases), пре свега водене паре ( $H_2O$ ), угљен-диоксида ( $CO_2$ ) и гасова као што су метан ( $CH_4$ ), азот-субоксид ( $N_2O$ ) и тропосферски озон ( $O_3$ ) дозвољава Сунчевој енергији да продре кроз атмосферу до Земље и падне на њу као светлост у виду краткоталасног зрачења. Део Сунчевог зрачења се, поново у облику светлости, рефлектује од земљине површине, враћа кроз атмосферу и одлази у свемир. Други, већи део сунчевог зрачења, површина Земље апсорбује и загрева се. Наша планета емитује део те апсорбоване топлоте у облику инфрацрвеног (дуготаласног) зрачења, од чега један део пролази кроз атмосферу и одлази у свемир, а други део, захваљујући поменутиим гасовима стаклене

баште, бива "заробљен". Молекули тих гасова постају емитери топлоте која остаје у систему Земље и њене атмосфере.

Овај феномен, у свом природном облику, одржава нашу планету довољно загрејаном, што обезбеђује нормално одвијање физиолошких функција свих живих организама. Одсуство гасова стаклене баште би довело до снижења температуре на површини наше планете за око 33 °C, претварајући Земљу у још једну беживотну планету нашег Сунчевог система.

Поред водене паре, метана, угљен-диоксида, азот-субоксида и озона, као гасови са ефектом стаклене баште, појављују се, са мањим концентрацијама, још хлор-флуор угљеник ( $\text{CClF}_2$ ), хлор-флуор угљоводоник ( $\text{CHClF}_2$ ), тетрафлуорометан ( $\text{CF}_4$ ), хексафлуорометан ( $\text{C}_2\text{F}_6$ ), сумпорхексафлуорид ( $\text{SF}_6$ ) и азоттрифлуорид ( $\text{NF}_3$ ).

Ефекат стаклене баште, који је милионима година представљао благослов за планету Земљу постепено се, као последица бројних људских активности, претвара у озбиљну претњу. Са убрзаном индустријализацијом и наглим растом људске популације, емисије гасова са ефектом стаклене баште, узроковане сагоревањем фосилних горива, крчењем шума у сврху повећања пољопривредних површина и многим другим активностима, се константно повећавају. У последњих стотину година гасови стаклене баште емитовани су у атмосферу знатно интензивније и брже него што су их природни процеси могли уклонити.

Атмосферска концентрација угљен диоксида, метана и азот оксида се, као резултат људских активности, знатно повећала и сада значајно премашује прединдустријске вредности одређене из узорак леда старих више хиљада година (слика 2.5). Глобална повећања концентрације угљен диоксида, првенствено су проузрокована променама у коришћењу фосилних горива и коришћењу земљишта, док су повећања у концентрацији метана и азот-субоксида првенствено последица пољопривредних активности и утицаја сектора отпада.

Угљен диоксид је најважнији антропогени гас стаклене баште. Од прединдустријског времена његова глобална атмосферска концентрација се повећала са 280 ppm (ppm – parts per million, милионитих делова) на око 400 ppm. Атмосферска концентрација  $\text{CO}_2$ , на почетку овог века, увелико премашује природну границу у последњих 650.000 година (180 – 300 ppm) одређену из узорак леда (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – Fourth Assessment Report, 2007).

Годишњи пораст концентрације угљен диоксида добија на интензитету. У периоду 1995 – 2005. године просек раста концентрације је био 1,9 ppm-а годишње, док је свеукупни просек од почетка континуираних мерења за период 1960 – 2005. година – 1,4 ppm-а.

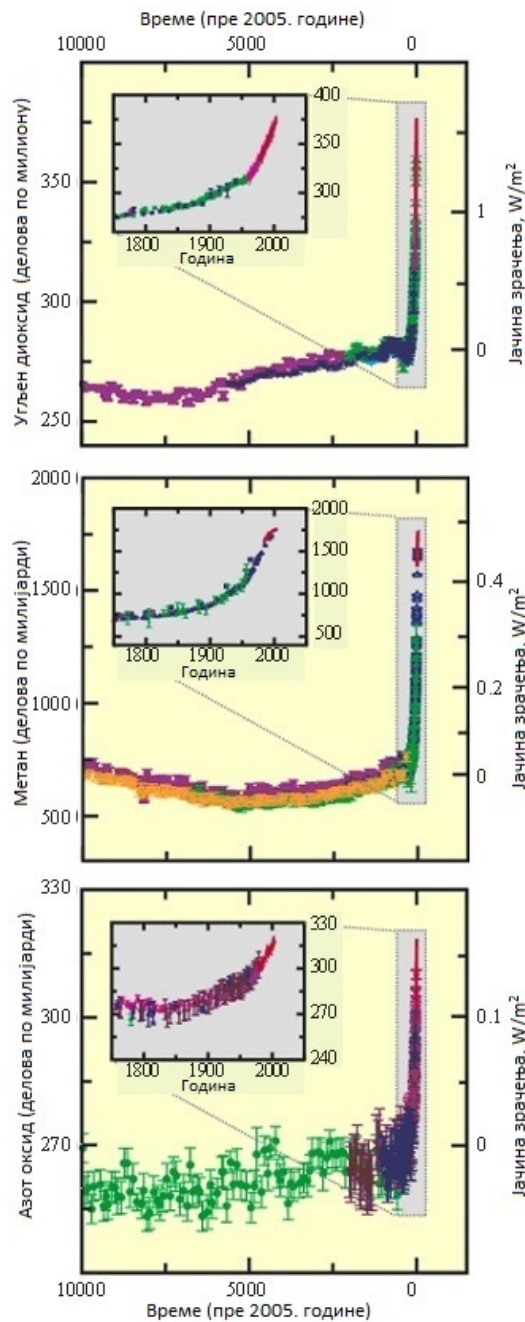
Од прединдустријског доба, глобална атмосферска концентрација метана се повећала са 715 ppb-а (ppb – parts per billion, милијардитих делова) на близу 1800 ppb-а. Истовремено, концентрације азотовог субоксида су порасле са 270 ppb-а на 320 ppb-а.

Брзина раста је непромењена од 1980. године. Више од трећине емисија азот-субоксида су антропогеног порекла и првенствено су резултат пољопривредних активности.

Загревање целокупног система планете је недвосмислено, што се може видети из евидентираног пораста глобалних просечних температура копна, мора и океана,

распрострањеног отапања снега и леда и подизања глобалног просечног нивоа мора (IPCC – Fourth Assessment Report, 2007).

У научним круговима постоји значајна сагласност о егзистенцији и пореклу климатских промена. Велике разлике се, међутим, јављају у области предвиђања сценарија промена климатског система у ближој и даљој будућности. Процене пораста средње глобалне температуре за период до краја 21. века се крећу између 1,5 и 6°C. У том смислу и потенцијалне последице по живот на земљи крећу се у распону од значајних до катастрофалних. Један од циљева ове дисертације је и идентификација утицаја појединих варијантних решења система управљања комуналним отпадом на емисије гасова стаклене баште и, последично, на потенцијал глобалног загревања.



**Слика 2.5** Атмосферске концентрације угљен-диоксида, метана и азот-субоксида током последњих 10 000 година (већи приказ) и након 1750. године (мањи приказ)



### 2.3.1.2 Утицај сектора отпада на климатске промене

На глобалном нивоу, сектор управљања отпадом има релативно мали допринос (< 5%) глобалним емисијама гасова стаклене баште (UNEP, 2010). Највеће учешће из овог сектора припада депонијском метану (CH<sub>4</sub>), затим азот-субоксиду (N<sub>2</sub>O), и у најмањој мери, угљен-диоксиду (CO<sub>2</sub>) који, првенствено, настаје у процесу спаљивања отпада. У области управљања отпадом, постоји изузетно велики потенцијал уштеде емисија гасова стаклене баште. Према недавном извештају америчке агенције за заштиту околине (US EPA, 2012), процењује се да је око 42% од укупних емисија GHG у САД повезано са управљањем материјалима. Унапређењем технологија управљања отпадом и увођењем у праксу оптималних стратегија у овој области, може се доћи до значајних индиректних уштеда емисија GHG у секторима енергетике, шумарства, пољопривреде, рударства, транспорта, као и у производним секторима. У том смислу, постоје значајни потенцијали у погледу ублажавања климатских промена.

Генерисање отпада, свакако, има негативан утицај на животну средину, а између осталог, и на повећање емисија GHG. Третман и одлагање отпада, међутим, потенцијално могу имати и неке позитивне еколошке утицаје, у погледу могућих климатских промена. Посматрано из ове перспективе, основни циљ је да се све активности у области управљања отпадом усмере ка смањењу емисија GHG.

Стварање, третман и одлагање отпада поред поменутих еколошких, индукују и значајне социјалне и економске последице, па стога свака стратегија у овој области мора да буде део ширег, холистичког и интегрисаног приступа глобалној употреби ресурса.

Недостатак релевантних локалних и глобалних података, имплицира значајну неизвесност у погледу квантификације директних и индиректних емисија GHG из сектора управљања чврстим комуналним отпадом. Без поузданих података ове врсте, тешко је одредити и потенцијал ублажавања климатских последица. Свакако да решење у том смислу, представља боља међународна координација и сарадња, као и сваки вид унификације и стандардизације сакупљања и обраде одговарајућих података.

Постојећа пракса управљања отпадом може да обезбеди ефикасно ублажавање емисија GHG из овог сектора. Доступан је широк спектар развијених, еколошки ефикасних технологија за смањење емисија GHG и обезбеђење јавног здравља, као и усклађене заштите животне средине и одрживог развоја.

Највећи део GHG емисија из сектора отпада потиче од депонијског метана, и у знатно мањој мери од метана и азот-субоксида из отпадних вода. Комунални чврсти отпад садржи значајан проценат органског материјала, као што су прехрамбени отпад, папир, дрво и баштенски отпад. На депонијама се у почетку одвијају аеробни процеси на рачун кисеоника који се налази у шупљинама отпадака. Паралелно, због дефицита кисеоника настају анаеробни процеси, праћени појавом гасова, пре свега метана. У зависности од тога да ли им је за активност неопходан кисеоник, разликујемо аеробну или анаеробну групу микроорганизама. Под анаеробним условима који преовлађују у депонији, разлагање органских материја, у завршној фази, доводи до емитовања гасова карактеристичних за процесе труљења - метана и угљен-диоксида. Ова два гаса чине по око 50% количине укупно емитованих гасова из овог процеса, док свега око 1%

чине преостали гасови. При оптималним температурним условима, одређеној влажности и уз висок проценат органске компоненте отпада, долази до интензивнијих биохемијских активности, што резултује већим стопама генерисања депонијског гаса.

**Табела 2.5** Упоредни потенцијал глобалног загревања за метан, азот-субоксид и угљен-диоксид за период од 20, 100 и 500 година

Гас стаклене баште	GWP (за 20 година) (kg CO <sub>2</sub> – eq)	GWP (IPCC 2007) (за 100 година) (kg CO <sub>2</sub> – eq)	GWP (за 500 година) (kg CO <sub>2</sub> – eq)
CO <sub>2</sub>	1	1	1
CH <sub>4</sub>	72	25	7,6
N <sub>2</sub> O	289	298	153

Напомена - GWP угљен-диоксида се за сваки временски период узима као еталон и износи 1

Метан и угљен-диоксид су најзначајнији гасови стаклене баште, чија повећана концентрација у атмосфери доприноси глобалном загревању и климатским променама. Метан је посебно моћан GHG и сматра се да, за пројектовани временски период од 100 година, има око 25 пута већи потенцијал глобалног загревања од угљен-диоксида. Ако се разматра краћи временски период од 20 година, однос GWP за ова два гаса износи чак 72 (табела 2.5, Forster и сар., 2007).

За процену емисија метана из депонија, најчешће се користи FOD (First Order Decay) метод, који израчунава стопу генерисања метана као пропорционалну количини отпада унетог на депонију (Убавин, 2011). Кључне улазне податке у модел представљају количина и састав депонованог отпада. Ови параметри могу значајно да варирају између и унутар појединих локалитета, региона, као и земаља, а добијање поузданих података представља скуп и дуготрајан процес. IPCC је формирао базу подразумеваних вредности, а које се могу користити у случајевима када су подаци потребни за израчунавање националних GHG депонијских емисија недоступни или недовољно поуздани.

Основни недостатак у процесу процене глобалних емисија из сектора отпада су недовољна доступност и квалитет података на годишњем нивоу, као и значајно варирање квалитета и поузданости тих података по регионима у свету (Vogner и сар., 2007). Ова неизвесност квалитета података односи се на врсту и састав отпада, на квантитет, као и на информације о одговарајућој пракси управљања отпадом. Претпоставља се да неизвесност процене глобалних емисија GHG из сектора отпада варира од 10-30% за развијене земље (које имају висок квалитет потребних података), па све до 60% за земље у развоју, које не поседују валидне годишње податке.

Оцењивање животног циклуса (LCA - Life-Cycle-Assessment) представља најчешће примењивану методу за процену директних и индиректних утицаја система управљања отпадом у погледу емисија GHG, односно потенцијалних климатских утицаја. Због утицаја локалног карактера већине података који су кључни за ову врсту анализе,

логично се намеће закључак да одговарајуће резултате не треба узимати у обзир у апсолутном смислу, него претежно у компаративне сврхе у оквиру студије (упоређивање релативне успешности различитих опција управљања отпадом за дати град, регион и сл., са аспекта утицаја климатских промена). Разлике у погледу многобројних фактора, зависно од степена развијености земаља, могу да буду јако велике, што чини свако поређење и генерализацију тешко изводљивим. Другим речима, ниједна од до сада познатих технологија управљања отпадом се не може универзално применити у смислу мањег утицај на климатске промене.

### 2.3.1.3 Пракса управљања отпадом и климатски утицаји

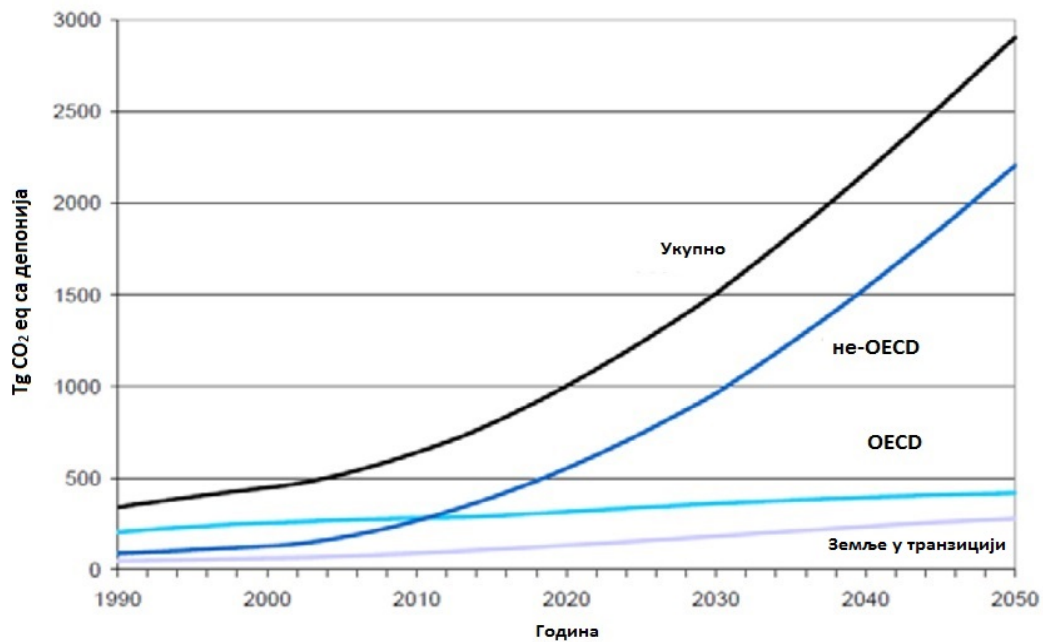
Свака од постојећих пракси управљања комуналним чврстим отпадом доводи до емисија GHG било директно (кроз сам процес управљања) или индиректно (нпр., кроз потрошњу укупне енергије потребне за комплетну реализацију одређене праксе управљања отпадом). Укупан климатски утицај се обрачунава узимајући у обзир обе врсте емисија као и одговарајућа смањења – уштеде емисија GHG. Краћа анализа по најчешће примењиваним опцијама управљања отпадом је представљена у наредним одељцима. Овај приказ је сачињен у обрнутом редоследу у односу на класичну хијерархију управљања отпадом, где је превенција стварања отпада свакако на првом месту, а депоновање на последњем.

#### 2.3.1.3.1 Климатски утицаји депоновања отпада

У већини земаља широм света, контролисано или неконтролисано одлагање нетретираног отпада на депоније представља доминантну опцију управљања отпадом. Емисије метана из депонија представљају највећи извор емисија GHG из сектора отпада, доприносећи са око 700 MtCO<sub>2</sub>eq (Vogner и сар., 2007). Ради поређења, следећи највећи извор емисија GHG из сектора управљања отпадом потиче од спаљивања комуналног чврстог отпада, и то уз износу од око 40 MtCO<sub>2</sub>eq (Vogner и сар., 2007). Депоније, такође, могу представљати и извор емисија одређених количина азот-субоксида.

У погледу емисија метана, сусрећемо се и са парадоксалном чињеницом да, неконтролисани начин депоновања, сам по себи "обезбеђује" знатно лошије анаеробне услове, па самим тим и доводи до мањих емисија поменутог гаса по тони депонованог отпада. Стога, постоји могућност да ће тренд значајног унапређења праксе депоновања отпада, посебно у брзо растућим економијама земаља у развоју, битно утицати на економску оправданост инсталирања система за сакупљање депонијског гаса и његово коришћење у енергетске сврхе.

Значајан допринос у смањењу потенцијала емисија депонијског метана се може постићи смањењем депонованих количина биоразградивог комуналног отпада. Немачка је, у периоду од 1990. до 2005. постепено забранила праксу депоновања нетретираног органског отпада. Очекује се да оваква пракса доведе до уштеде од око 28,4 MtCO<sub>2</sub>eq, због избегнутих емисија метана са депонија (Dehoust и сар, 2005).



Слика 2.6 Емисије метана пореклом са депонија за различите регионе

На дијаграму са слике 2.6, приказане су пројекције емисија из сектора отпада до 2050. године под претпоставком наставка актуелних трендова у области управљања отпадом (Moppi и сар, 2006). Предвиђене пројекције обухватају три групе земаља: земље ОЕСД-а (организација за економску сарадњу и развој), земље у економској транзицији (ЕИТ), као и земље које не припадају ОЕСД-у.

Посматрајући дијаграм са слике 2.6, уочава се да је очекивани раст депонијских емисија метана, најизразитији код групе земаља које не припадају ОЕСД-у и да ће удео из тих региона, у оквиру глобалних емисија, значајно порастати и постати изразито доминантан у односу на допринос преостале две разматране групе. Посебно забрињава чињеница да карактер повећања емисија из не-ОЕСД земаља има све одлике експоненцијалног раста. Најутицајнији фактори, који ће утицати на овакав сценарио, су изразито повећање броја становника и убрзан привредни раст, али и већ поменути тренд унапређења праксе депонована отпада. Коришћење метана у енергетске сврхе, значајно може допринети смањењу употребе фосилних горива као извора енергије. Дуготрајно везивање (складиштење) угљеника у депонијама, такође, може значајно утицати на смањење глобалних емисија GHG. Висок проценат дрвног отпада утиче на повећано складиштење угљеника на депонијама, и из перспективе климатских промена може представљати део решења за смањење емисија GHG. У анализи (Manfredi и сар., 2009) предвиђена је могућност уштеде од 132 до 185 kgCO<sub>2</sub>eq по тони влажног мешовитог комуналног чврстог отпада на европским депонијама. Међутим, постоји велики број других негативних еколошких аспеката овакве праксе, па се она не препоручује као једна од оптималних опција у процесу управљања отпадом.

Највећи број европских студија сугеришу преусмеравање биоразградивог отпада са депонија, као један од најбољих начина у смањењу депонијских емисија GHG. Преусмеравањем прехранбеног, баштенског и папирног отпада у процесе компостирања и рециклаже, могу се избећи нето емисије од 260 kgCO<sub>2</sub>eq по тони комуналног чврстог отпада (Dehoust и сар., 2005; Smith и сар., 2001 ; Eunomia, 2002).

### 2.3.1.3.2 Климатски утицаји термичког третмана отпада

Под термичким третманом отпада подразумева се контролисано спаљивање, уз могућност енергетског искоришћења. Већина студија указује на чињеницу да добијена енергија (топлотна и/или електрична), кроз процес неког вида термичког третмана комуналног чврстог отпада, значајно доприноси уштедама GHG. Процеси пиролизе и гасификације представљају најсавременије видове термичког третмана отпада, али је њихов климатски утицај, из разлога недостатка свеобухватних података, још недовољно истражен.

Према студији (Vogner и сар., 2007), у близу 40 земаља, термички се третира око 130 милиона тона отпада. Јапан, Данска и Луксембург (земље са ограниченим територијалним ресурсима у односу на број становника) термички третирају више од 50% отпада. Француска, Шведска, Холандија и Швајцарска, такође, у високом проценту, врше термички третман комуналног чврстог отпада. У осталим земљама OECD-а, спаљивање отпада се још примењује у релативно ограниченом капацитету.

**Табела 2.6** Карактеристике комуналног отпада у земљама са различитим нивоом БДП

	Низак ниво	Средњи ниво	Високи ниво
	Индија	Аргентина	ЕУ – 15
БДП (US\$/ст./год)	< 5.500	5.000 - 15.000	> 20.000
Комунални отпад (kg/ст./год)	150 - 200	250 - 550	350 – 750
Степен прикупљања	< 70%	70% - 95%	> 95%
% влажне компоненте	50% - 80%	20% - 65%	20% - 40%
Топлотна вредност (kcal/kg)	800 – 1.100	1.100 – 1.300	1.500 – 2.700

Састав мешовитог отпада представља, врло често, ограничавајући фактор у погледу ефикасног и економски исплативог термичког третмана отпада. Велики део отпада у земљама ван OECD-а, карактерише висок проценат влажног отпада (табела 2.6) са ниском калоричном вредношћу, што га чини непогодним за спаљивање без значајног предтретмана попут процеса сушења и сабијања (Lacoste и Chalmin, 2006; UNEP 2009).

На глобалном нивоу, климатски утицај термичког третмана отпада, је мањи од утицаја депоновања, доприносећи са око 40 MtCO<sub>2</sub>eq годишње (Vogner и сар., 2007). Директне

емисије из постројења за термички третман се претежно састоје од угљен-диоксида, биогеног и фосилног порекла. Распољиви подаци о количинама фосилног и биогеног угљеника у улазном контигенту отпада, показују доста велике варијације у зависности од земље, региона па чак и самих објеката (Astrup и сар., 2009). Угљен-диоксид биогеног порекла у процесу спаљивања отпада бива тренутно емитован у атмосферу док, у случају депоновања отпада тај процес се одвија у неколико наредних година и ову чињеницу треба имати у виду у смислу бржег или споријег климатског ефекта.

Процена климатских утицаја спаљивања отпада уз добијање енергије зависи и од тога да ли се кроз процес добија само електрична, само топлотна или обе врсте енергије (CHP – combined heat and power). Европске спалионице отпада су, у просеку, достигле ефикасност конверзије топлотне енергије у електричну од 15 до 30%, и од 60 до 85% у случају искоришћења топлотне енергије у системима даљинског грејања. Овај висок степен ефикасности конверзије у топлотну енергију се врло често користи у земљама северне Европе, где је велики број постројења за спаљивање отпада повезан са градским топланама. У неким земљама, попут Велике Британије, генерисана топлотна енергија се у значајном обиму користи у индустријске сврхе.

Приликом сагледавања комплетних климатских утицаја термичког третмана отпада, треба имати у виду да се, приликом сагоревања органских компоненти отпада, у одређеној мери део хранљивих материја уклања из аграрног екосистема, што опет утиче на повећану употребу ђубрива, ради унапређења минералног састава земљишта. Процес производње ђубрива иницира одређену количину емисија GHG коју свакако треба узети у обзир. Овај проблем се може избећи или делимично ублажити одговарајућим сортирањем и одвајањем одређених органских компоненти.

Пиролиза и гасификација биомасе могу да резултују већом ефикасношћу у погледу конверзије отпада у енергију, у односу на класично спаљивање отпада, посебно ако раде само у топлотном или комбинованом CHP режиму. Међутим, као што је већ напоменуто, и пиролиза и гасификација спадају у релативно нове процесе, још увек у фази развоја и са недовољно детерминисаним економским перформансама које, посебно у земљама у развоју, уз технолошка и финансијска ограничења, представљају препреку у њиховој примени. Ипак, ова два процеса свакако не треба искључити из групе будућих, потенцијалних технологија за производњу релативно еколошки чисте енергије пореклом из биомасе.

Постројења за термички третман отпада захтевају дугогодишњу припрему, планирање, финансирање и изградњу све до пуштања у рад. Поред тога, очекује се да овакви објекти ефикасно функционишу најмање 25 година, а имајући у виду ограничену флексибилност у погледу промене масе отпада коју могу исплативо третирати, потребно је пажљиво пројектовање њихових капацитета.

### 2.3.1.3.3 Климатски утицаји механичко-биолошког третмана отпада

Појам механичко-биолошког третмана се односи на широк спектар технологија које подразумевају различите комбинације механичке и биолошке обраде отпада. Употребом МБТ технологија постижу се значајни успеси у смањењу запремине отпада који се коначно одлаже на депонију, као и редуковање више врста загађења. Ова

технологија, тренутно је значајније заступљена у Европи и Аустралији, па је већина студија које процењују утицај механичко-биолошког третмана отпада на климатске промене, базирана на условима који се односе на те регионе. Укупан климатски утицај одређеног постројења за МБТ, у највећој мери, зависи од следећих фактора (UNEP, 2009):

- Ефикасност процеса механичког разврставања отпада, (накнадно коришћење издвојених материјала значајно доприноси смањењу емисија GHG),
- Енергетска потрошња целокупног система, (виши степен аутоматизације и софистицираност процеса повлачи и веће енергетске захтеве, што резултује повећаним емисијама GHG),
- Производња енергије, (у случају МБТ постројења које у свом процесу третмана отпада садржи и процес анаеробне дигестије, произведена енергија из биогаса, било топлотна или електрична, узима се у обзир приликом обрачуна уштеда GHG емисија),
- Контрола емисија током фазе сазревања, (савремена МБТ постројења укључују и обавезно коришћење система за контролу загађења ваздуха, као што су скрубери и биофилтери, а у циљу спречавања емисија азот-субоксида и метана),
- Потенцијал складиштења угљеника, (компост који потиче од мешовитог отпада је релативно ограничених могућности са аспекта примене и евентуално се може користити за ремедијацију загађеног земљишта или саме депоније, али се његов потенцијал складиштења угљеника обрачунава као допринос смањењу GHG емисија),

Теоретски, кроз МБТ процес може се смањити емисија метана за 90% у односу на еквивалентну количину депонованог отпада (Vogner и сар., 2007). Механичко-биолошки третман, уз компостирање органског дела мешовитог отпада, представља релативно јефтину и у технолошком смислу не превише захтевну опцију управљања отпадом, која доноси брзе и значајне GHG уштеде. Поред тога, сува компонента органског излазног материјала из МБТ процеса може се користити за добијање горива, RDF-а (RDF – Refuse Derived Fuel), које се може користити у индустријским пећима – најчешће у производњи цемента, термоелектранама итд. Генерално, RDF не може да замени конвенционална фосилна горива, у односу 1:1 у масеном смислу, тако да је више RDF-а потребно за постизање истих енергетских ефеката.

МБТ, уз примену анаеробне дигестије, је заступљен претежно на европском континенту и постојећа постројења имају релативно мале капацитете – до 20.000 тона третираног отпада годишње (Kelleher, 2007). Одредбе Директиве о депонијама ЕУ (Landfill Directive, 1999/31/EC), садрже разне регулаторне и финансијске подстицаје за подршку развоју обе врсте МБТ постројења (анаеробна дигестија – МБТ-АД и аеробно компостирање). Процес МБТ-АД захтева пажљиву припрему и пре сортирања долазног отпада, како би се обезбедила одговарајућа отпадна смеша погодна за деловање микроорганизама. МБТ-АД је због потреба за софистицираном опремом у фази сортирања, мање приступачан и економски одржив у земљама у развоју, али и у високо развијеним земљама где је депоновање отпада релативно јефтино.

#### 2.3.1.3.4 Климатски утицаји компостирања и анаеробне дигестије

У постројењима за компостирање третира се биоразградиви материјал, као што су прехранбени отпад, отпад из кланичне и прехранбене индустрије, баштенски-дворишни отпад, дрвени отпад, као и остаци из одређених пољопривредних активности. Као продукт из овог процеса добијамо материје које могу адекватно да замене вештачка ђубрива и утичу на побољшање структуре земљишта. Истовремено, ови производи доводе до смањење ерозије и потреба за наводњавањем, а поред свега редукују и употребу разних пестицида. Према (Boldrin, 2009), тренутно у Европи постоји преко 2.000 објеката у којима се врши компостирање органске компоненте комуналног чврстог отпада. Процеси компостирања и анаеробне дигестије захтевају високу ефикасност у сортирању отпада и потребно је значајно улагање у едукацију и подизање јавне свести локалне заједнице.

Директне емисије из постројења за компостирање и анаеробну дигестију потичу од употребе горива за функционисање система, као и од разградње органских материјала. IPCC метод обрачунавања националних емисија не узима у обзир CO<sub>2</sub> из ових процеса, док обрачунавање емисија CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O зависи од врсте - састава улазног органског отпада, типа технологије која се користи (да ли је процес отвореног или затвореног типа), као и начина управљања процесом.

Иако компост, који се користи у унапређењу карактеристика земљишта има одређени потенцијал за везивање угљеника, ипак ова врста "заробљавања" или привремене неутрализације овог елемента не представља трајно решење у погледу смањења емисија GHG. Квантификација климатских бенефита у процесу компостирања земљишта је релативно непрецизна и процене варирају у распону од 2 до 79 kgCO<sub>2</sub>eq по тони компостираног отпада (Smith и сар., 2001; Boldrin и сар., 2009). У европским условима се нето климатски утицај отворених и затворених система за компостирање процењује на око 35 kgCO<sub>2</sub>eq по тони влажног органског улазног отпада.

Апликација компоста у земљишту, може, у зависности од садржаја азота у компосту, резултовати одређеним емисијама N<sub>2</sub>O (Boldrin и сар., 2009). Међутим, у поређењу са синтетичким ђубривима, компост може допринети смањењу укупних емисија азот-субоксида из пољопривредног земљишта јер обезбеђује спорију потрошњу резерви азота из земљишта. Примена компоста и избегавање производње и употребе одређених количина вештачких ђубрива значајно доприноси уштедама GHG емисија. Производња синтетичких ђубрива је, у енергетском смислу, веома захтевна и њено смањење доводи до великих уштеда емисија.

Анаеробна дигестија органског отпада из примарне сепарације, алтернатива је системима за аеробно компостирање, мада покрива нешто мањи спектар материјала. Отпад који садржи велике количине дрвног, баштенског отпада, углавном, није најпогоднији за процес анаеробне дигестије. С друге стране, биогаз произведен кроз овај процес има, обично, релативно висок садржај метана (око 60 %) и самим тим и значајан енергетски потенцијал. У софистицираним постројењима за анаеробну дигестију, каква се најчешће срећу у Европи, подразумева се енергетска ефикасност биогаза у производњи електричне енергије од око 35 % (Eunomia, 2002; Christensen и сар., 2009).



Климатски утицај ових постројења се креће у распону од -375 до 111 kgCO<sub>2</sub>eq по тони влажног органског улазног отпада (Møller и сар, 2009). Виши ниво производње биогаса са високим енергетским потенцијалом, као и веће конвертовање добијене енергије у топлотну (пре него електричну), допринеће значајнијим уштедама GHG емисија.

### 2.3.1.3.5 Рециклажа отпада и климатски утицаји

После превенције отпада, у смислу могућих позитивних климатских доприноса, процес рециклаже има највећи потенцијал у поређењу са осталим опцијама управљања комуналним чврстим отпадом. Ова констатација се односи не само на земље OECD-а (ISWA 2009; Christensen и сар., 2009; US EPA 2006) већ и на земље у развоју без обзира што недостатак података из тих региона представља одређени проблем (Pimenteira и сар. 2004; Chintan 2009).

Само су у САД, путем рециклаже материјала издвојеног из комуналног чврстог отпада, избегнуте емисије у износу од 183 MtCO<sub>2</sub>eq у току 2006. године (US EPA, 2009). Уштеде GHG емисија, које потичу од процеса рециклаже материјала издвојеног из комуналног чврстог отпада, могу бити повезане са смањеном употребом сировина, смањеним обимом превоза отпада до депонија, или постројења за третман, као и са заменом фосилних горива у постројењима за конверзију отпада у енергију (електричну и/или топлотну) (Ashton 2009; Harris 2007). Величина процењених уштеда GHG емисија од процеса рециклаже умногоме зависи и од енергетских претпоставки и перформанси објекта за прераду материјала, као и од постројења где би се вршио процес производње нових материјала и производа, уколико не би дошло до њихове супституције.

Коришћењем LCA методе, извршене су процене уштеда емисија GHG које потичу од процеса рециклаже, за регионе северне Европе, Аустралије и САД (табела 2.7, ISWA 2009, RMIT 2009, US EPA 2006). Варијације у износима GHG наведених материјала, приписују се различитим енергетским претпоставкама појединачних LCA студија.

**Табела 2.7** Уштеде емисија CO<sub>2</sub> из процеса рециклаже материјала

Материјал	Избегнуте емисије (kgCO <sub>2</sub> eq по тони рециклираног материјала)		
	Северна Европа	Аустралија	САД
Папир	600 – 2.500	670 - 740	838 – 937
Алуминијум	10.000	17.720	4.079
Челик	2.000	400 – 440	540
Стакло	500	560 – 620	88
Пластика	0 – 1.000	0 – 1.180	0 - 507

Релативно велики распон вредности избегнутих емисија GHG, нпр. за папир, објашњава се различитим претпоставкама у студијама везаних за чињеницу да рециклажа папира

доводи до смањених потреба за дрвном сировином. Неке студије претпостављају да ће ово дрво бити коришћено као извор енергије (што само по себи доводи до одређених емисионих уштеда), а неке опет посматрају непосечено дрво као средство за секвестрацију угљеника.

Истраживање британског акционог програма за отпад и ресурсе (WRAP, 2006) у оквиру кога је урађено 55 LCA студија, показало је да рециклажа материјала, издвојених из отпада, нуди више корисних и знатно мање негативних утицаја на животну средину у односу на остале опције управљања отпадом. Неки од закључака овог комплексног истраживања су:

- У просеку, производња новог папира праћена процесом спаљивања (уз добијање енергије) троши око два пута више енергије него рециклажа папира, али ниво GHG уштеда у великој мери зависи од граница система у појединачним LCA студијама,
- Рециклажа стакла резултира значајним нето климатским погодностима у односу на спаљивање,
- Рециклирана пластика која замењује тзв. "оригиналну" пластику исте врсте у тежинском односу 1:1, доводи до уштеда од 1,5 – 2 kgCO<sub>2</sub>eq на сваки коришћени килограм пластике,
- Производња алуминијума из руде захтева 10 – 20 пута више енергије него рециклажа тог материјала,
- За производњу челика потребно је око два пута више енергије, у односу на челик добијен рециклажом отпадног материјала.

У последње време као алтернатива рециклажи, појављује се конверзија пластике у синтетички дизел. Са аспекта климатских ефеката, према истраживању за подручје Лондона (Eunomia, 2008), рециклажа пластике из комуналног чврстог отпада далеко, у позитивном смислу, надмашује конверзију пластике у синтетичко гориво.

Процена Светске Банке је да око 1% градског становништва у земљама у развоју обезбеђује животну егзистенцију из сакупљања отпада у оквиру, тзв., неформалног рециклажног сектора (Medina, 2008). Њихов допринос управљању отпадом, процесима издвајања – рециклаже материјала и, у крајњој линији, и локалној економији, није, у највећем броју случајева, ни адекватно вреднован ни регулисан у било ком смислу. У неким земљама, владе и локалне управе почињу да препознају позитивне ефекте и улогу ових индивидуалних и самоорганизованих сакупљача отпада и почињу, као нпр. владе у Бразилу и Колумбији, и да на разне начине дају подршку овом неформалном сектору кроз формирање њихових организација и одређене пратеће правне регулативе (Medina, 2008). У оквиру извештаја (Chintan, 2009) о климатским утицајима неформалног сектора отпада у Индији, дата је процена да се путем ових активности само у Њу Делхију годишње уштеди близу милион тона CO<sub>2</sub>eq. Треба имати у виду да се до овог износа дошло узимајући у обзир само сакупљање папира, пластике, метала и стакла и користећи специфичне емисионе факторе развијене за америчке EPA LCA моделе, у одсуству алата прилагођених индијским условима. Међутим, у извештају, аутори примећују да је, због релативно конзервативних процена рециклажних стопа и много већег учешћа (а самим тим и одговарајуће супституције) угља у производњи топлотне енергије, удео у GHG уштедама, који се приписује овом сектору, потцењен.

И друге економске доприносе који потичу од овог неформалног сектора прикупљања отпада, не треба занемарити. Неформална рециклажа доприноси умањењу трошкова депоновања, смањењу депонијских такси и у крајњој линији, због мањег прилива отпада, продужава се животни век депонија (Medina, 2008).

### 2.3.1.3.6 Климатски утицаји превенције стварања отпада

Превенција стварања отпада се сматра најважнијом опцијом у хијерархији управљања отпадом која, међутим, често добија неодговарајућу подршку заједнице у погледу ангажовања потребних ресурса и коришћења расположивих могућности. Превенирање отпада је од критичне важности у смислу раздвајања зависности генерисања отпада од економског раста.

У погледу утицаја на климатске промене, потенцијалне користи од превенције отпада, генерално, премашују бенефите који потичу од било које друге праксе управљања отпадом. Поред избегнутих емисија GHG, које би потицале од третмана и одлагања отпада у овом случају, постоје и значајне уштеде емисија кроз мање активности на ископавању и обезбеђењу сировина.

У оквиру извештаја (US EPA 2009) разматрано је какве су могућности смањења GHG емисија кроз алтернативно управљање материјалима. Процењено је, да око 42% укупних америчких GHG емисија потичу из сектора управљања материјалима. Стратегије које извештај предлаже као најделотворније, крећу се од изворног смањења отпада, кроз побољшање дизајна производа и еколошки чистије производње, преко повећања века трајања производа и све до предвиђене максималне једноставности растављања производа у смислу ефикасније рециклаже.

**Табела 2.8** Сценарији управљања материјалима и GHG емисиони бенефити

СЦЕНАРИО	Процена GHG емисионих бенефита (Mt CO <sub>2</sub> – eq/год.)
Редукција употребе амбалаже за 50%	40 – 105
Редукција употребе амбалаже за 25%	20 – 50
Повећање стопа рециклаже и компостирања са актуелног нивоа (32,5%) на 50%	75
Спаљивање 25% тренутно депонованог комуналног отпада	20 – 30
Сакупљање 50% актуелних емисија метана на депонијама у САД и коришћење у сврху добијања електричне енергије	70

У табели 2.8, приказана су процењена потенцијална смањења емисија за неколико сценарија, при чему су узете у обзир одређене економске, институционалне и технолошке баријере. GHG ефекат сценарија је квантификован кроз употребу LCA алата развијеног од стране US EPA (WARM).

## 2.4 Преглед актуелних истраживања у области моделирања и процене еколошко-енергетских и економских перформанси технологија управљања комуналним чврстим отпадом

Моделирање и процена еколошких, енергетских и економских (ЕЕЕ) перформанси система управљања комуналним чврстим отпадом, представља веома актуелну област истраживања у коју је укључен изузетно велики број научних радника и инжењера различитих профила. Очекивано, највећи напори истраживача су усмерени ка изналажењу оптималних технологија управљања отпадом са аспекта минимизације негативних утицаја на животну средину, унапређења енергетске ефикасности, као и економичних, односно економски одрживих решења. Упоредо са тежњом ка освајању, нових, савремених приступа у третману комуналног чврстог отпада, развијане су ефикасне и поуздане методе за квантификовање утицаја примењених технологија, као моћан алат у процесу доношења одлука и избору оптималног решења са еколошког, енергетског или економског аспекта. Прегледом обимне релевантне литературе, може се закључити да су метода Оцењивања животног циклуса – LCA, као и одређен број метода у оквиру приступа вишекритеријумског одлучивања, најчешће коришћени алати у сектору управљања комуналним отпадом. Упоредо са овим методолошким приступима анализе и одлучивања, развијен је већи број пратећих софтверских пакета намењених процени утицаја технологија управљања отпадом на стање животне средине, енергетске билансе одређених процеса, као и за економску евалуацију пројектованих система. Велики број радова и анализа публикован у оквиру ове истраживачке области, конципиран је и оријентисан ка специфичним локалним условима и оптималним решењима.

За земље у развоју, каква је Република Србија, веома је важно да своје праксе управљања отпадом у што краћем временском року приближи начину и обиму примене напредних и одрживих технологија. У том смислу, изузетно је значајно пратити и анализирати искуства развијених земаља и, између осталог и на тај начин, вршити конципирање, селекцију и избор оптималних технологија и система управљања комуналним отпадом.

### 2.4.1 Управљање комуналним отпадом и покретачи развоја

Као основни покретачи досадашњег развоја системског управљања отпадом (слика 2.7), према (Wilson, 2007; Marshall и сар. 2013), наводе се:

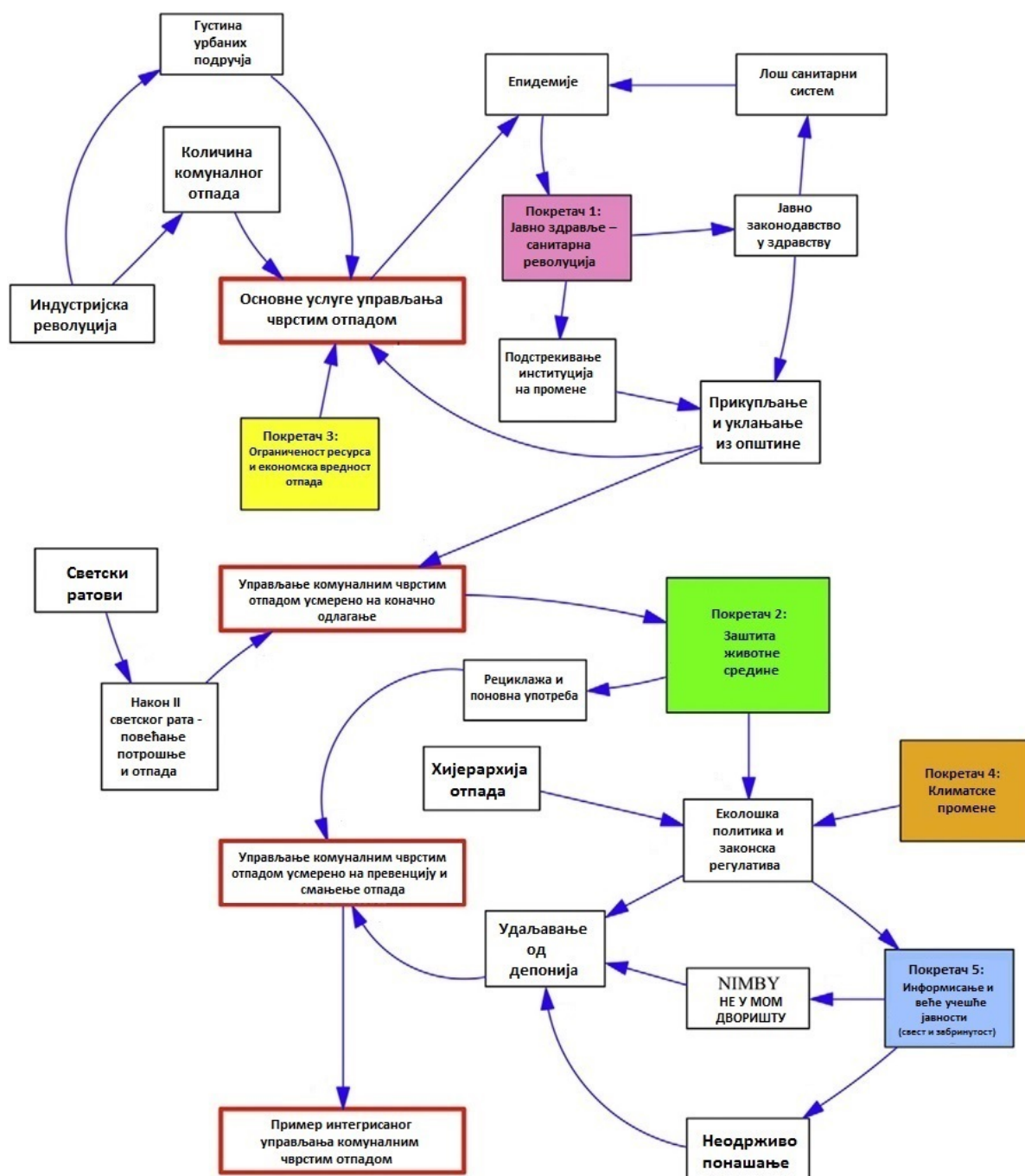
1. Јавно здравље – санитарна револуција,
2. Заштита животне средине,
3. Ограниченост ресурса и економска вредност отпада,
4. Климатске промене,
5. Информисање и учешће јавности (свест и забринутост).

Индустријска револуција довела је до брзе експанзије европских и америчких градова, велике густине насељености на релативно малим просторима и до значајне и концентрисане продукције комуналног чврстог отпада. Епидемија куге која се током четрнаестог века проширила на Западну Европу и Северну Африку, била је један од иницијалних догађаја који је утицао на свест људи у погледу побољшања санитарних услова (Tchobanoglous и сар., 1977; Louis, 2004; Worrell и Vesilind, 2012). Средином деветнаестог века, у индустријски развијеним земљама формирала се јасна потреба за системским управљањем отпадом, а у циљу побољшања **јавног здравља**. Постепено, до краја деветнаестог, а посебно у двадесетом веку, долази и до развоја законодавства којим се регулише управљање отпадом, а у сврху очувања јавног здравља.

После Другог светског рата депоновање је и даље представљало апсолутно доминантан начин ослобађања од отпада. Истовремено, брз раст потрошње шездесетих година прошлог века резултирао је значајним порастом садржаја пластике у комуналном отпаду. Еколошки покрети током 60-их и 70-их година двадесетог века значајно утичу на унапређење одговарајуће законске регулативе. Крајем прошлог века долази до развоја интегрисаног приступа управљању отпадом, где се потребе за **заштитом животне средине** усклађују са политичким, друштвеним, финансијским, економским и институционалним елементима (McDougall и сар., 2001; Wilson, 2007).

У преиндустријском добу, ресурси су били релативно оскудни и то је био један од главних разлога што се већина производа најчешће поправљала и поново користила (UN-HABITAT, 2007; Wilson, 2007). Током индустријске револуције, **вредност отпада као ресурса поново расте** и тај тренд је све израженији. У другом акционом програму Европске уније за животну средину (СЕС, 1977) први пут се помиње принцип хијерархије управљања отпадом. У овом документу су јасно истакнуте предности превенције отпада, поновне употребе производа, редукције отпада, рециклаже, обнављања енергије, третмана отпада у односу на коначно депоновање. Као значајан ограничавајући фактор јавља се и све већи дефицит, доступност и пораст цена земљишта за потенцијалне депоније.

**Климатске промене** постају утицајни покретач развоја системског управљања комуналним чврстим отпадом почетком деведесетих година прошлог века. Посебно се мења однос према депоновању биоразградивог отпада који представља главни извор емисија метана. Истовремено, све више се изналазе могућности искоришћења енергије из отпада (UN-HABITAT, 2007; Wilson, 2007). Овај покретач је утицао на пораст значаја превенције стварања отпада, рециклаже, компостирања, продужене одговорности произвођача, забране депоновања секундарних сировина, и на доношење великог броја прописа, законских аката и међународних конвенција који се баве проблемима утицаја управљања отпадом на климатске промене (UN-HABITAT, 2007; Wilson, 2007). Међутим, непостојање непосредне националне економске добити од редукције гасова стаклене баште, представља и примарну слабост овог покретача и један од главних разлога тешког, мукотрпног и преспорог међународног усаглашавања даљих заједничких обавезујућих докумената и прописа.



Слика 2.7 Покретачи развоја управљања чврстим отпадом

**Информисање и учешће јавности, свест и забринутост појединаца и заједница** представља петог и условно речено, најмлађег члана породице покретача системског развоја управљања отпадом. Лоше праксе управљања отпадом које утичу на значајно загађење животне средине, попут спаљивања отпада на депонијама или спалионицама, под утицајем јавности уступају место новим, еколошки прихватљивијим стратегијама. Јавност је у највећем делу, формирала, тзв., NIMBY (Not In My Backyard – не у мом дворишту) принцип (Schübeler, 1996) који, у највећем броју случајева, треба узимати као значајан утицајни фактор приликом формирања оптималне концепције

управљања отпадом за одређени локалитет. Овај принцип, у крајњој линији, има велики корективни потенцијал и значајно доприноси изналажењу оптималних и еколошки одрживих решења.

Превазилажење опозиционих ставова јавности према одређеним пројектима може се постићи, пре свега, ефикасном и правовременом комуникацијом, корекцијама и разјашњењем дезинформација, компромисним приступом и укључивањем свих заинтересованих актера у процес конципирања коначног решења (Noto, 2010).

Пет наведених покретача, представља комплексан утицај еколошких, енергетских и економских аспеката на развој системског управљања отпадом. Ови покретачи, практично представљају основу и логичну везу **са вишекритеријумским приступом** у доношењу одлука у сектору управљања отпадом. Сваки од напред описаних покретача посредно доводи до формирања низа могућих критеријума одлучивања. Критеријуми често могу имати конфликтни карактер, али и као такви, правилним спровођењем анализе, доводе до избора најбољих могућих алтернатива.

#### 2.4.2 Преглед актуелних истраживања у области ЕЕЕ моделирања и избора оптималних технологија управљања отпадом

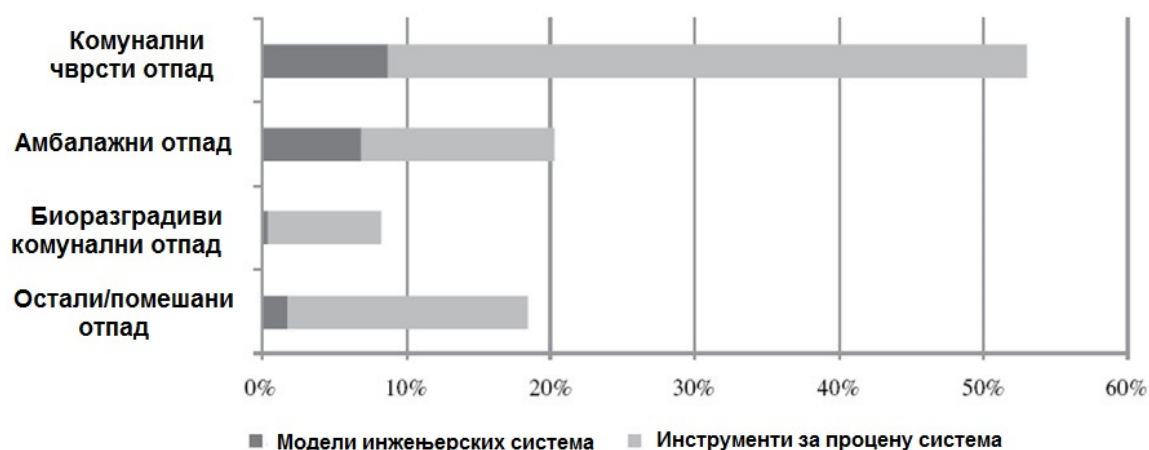
У уводној анализи рада (Chang и сар., 2012), аутори наводе да се прва генерација система инжењерских модела за управљање чврстим отпадом, базираних на линеарном програмирању (Anderson, 1968) појављује крајем шездесетих година прошлог века. У овим моделима коришћен је принцип ефективних трошкова. Неки од модела ове генерације примењују, тзв., мешовито-целобројно линеарно програмирање (MILP – Mixed-integer linear programming) за решавање реалних проблема у процесу управљања чврстим отпадом (Kuhner и сар., 1975). Америчка Агенција за заштиту животне средине (USEPA – United States Environmental Protection Agency) је, 1977. године, развила WRAP модел (Waste Resources Allocation Program), који садржи у себи и статичке и динамичке MILP модуле. Sundberg у раду (Sundberg и сар., 1994) користи модел нелинеарног програмирања узимајући у обзир енергетске аспекте, у складу са све већом комплексношћу процеса управљања чврстим отпадом. После 1980. године, аутори бројних студија све више, приликом анализа процеса управљања чврстим отпадом, узимају у обзир и одређене директне и индиректне економске и еколошке користи. У том периоду, системска анализа примењиваних техника доприноси развијању дугорочних планова за управљање комуналним чврстим отпадом узимајући у обзир пуни спектар трошкова и добитака са или без еколошких ограничења.

Током деведесетих година прошлог века, долази до напретка оптимизационих анализа, које, у тој развојној фази, већ могу да подрже одлуке везане за операције краткорочног и дугорочног управљања отпадом, укључујући и различите друштвено-економске и еколошке циљеве и одређена ограничења, у смислу минималног степена одрживости. Студије из овог периода припадају другој генерацији оптимизационих анализа процеса управљања комуналним отпадом (Chang и Wang, 1996).

Са појавом LCA методе, значајно се проширују могућности у погледу оптималног избора и примене најпогоднијих техника управљања отпадом. У студијама (Azaragic и

Clift, 1998; Azapagic и Clift, 1999), приказана је могућност употребе линеарног програмирања у примени LCA методологије. Од тада, бројне студије почињу да користе LCA као компаративно средство за различите опције управљања отпадом (Banar и сар., 2009). Да би се избегла непремостива комплексност у неким, међусобно повезаним аспектима LCA, уведени су, као одговарајућа замена, тзв. индикатори одрживости животне средине (ESIs – Environmental Sustainability Indicators) (Harger и Meyer, 1996). GWP представља један од ESI индикатора и, као што је већ наглашено, користи се за карактеризацију утицаја на глобалне климатске промене.

На почетку 21. века, практично све анализе које се баве унапређењем процеса управљања отпадом, у себи садрже део који се односи на економске аспекте (трошкове процеса и добит остварену путем претварања отпада у енергију или кроз процесе рециклаже, компостирања итд.), енергетски биланс (инвентар потрошене енергије у самом процесу, као и могућности добијања енергије из отпада) и последице (позитивне и негативне) по животну средину. Свакако да овакав комплексан приступ, а који у себи садржи адекватан одговор на захтеве свих пет раније наведених покретача развоја системског управљања отпадом, резултира изналажењем све бољих, ефикаснијих (у економском, енергетском и еколошком смислу) и више одрживих опција управљања отпадом.

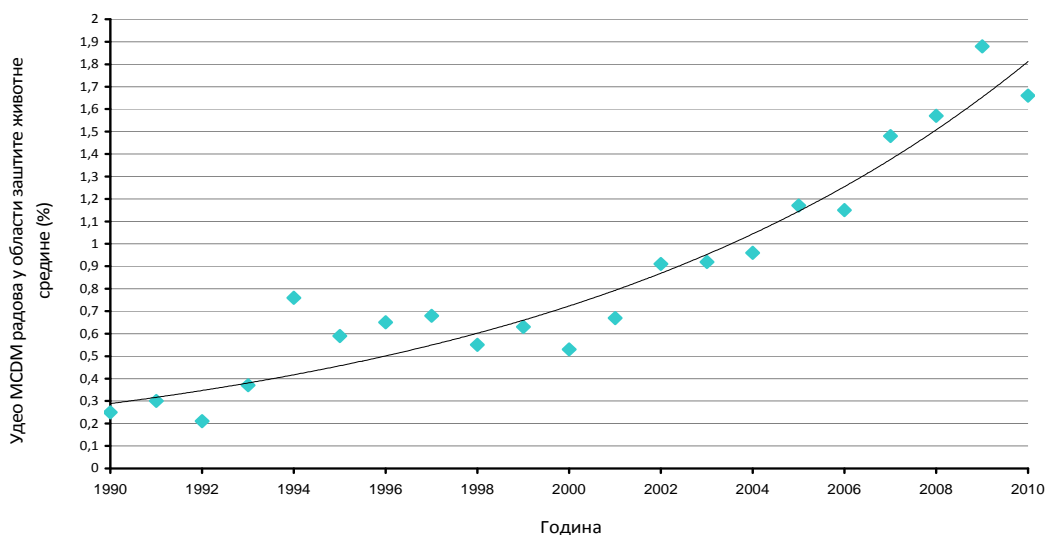


Слика 2.8 Удео анализа према врсти отпада примењених на системе управљања у Европи

Pires и сар. (2011) су извршили преглед броја и структуре публикованих анализа процеса управљања чврстим отпадом у Европи. Из овог рада, интересантно је издвојити дијаграмски приказ процентуалног удела системских анализа према врсти отпада (слика 2.8). Уочава се, да удео системских анализа управљања **чврстим комуналним отпадом** у укупном броју, прелази 50%, што говори у прилог чињеници, да је унапређење система управљања овом врстом отпада најчешћи циљ истраживача у оквиру овог сектора. Њихово истраживање (Pires и сар., 2011) је довело до још једног релевантног податка који истиче актуелност примене методе Оцењивања животног циклуса или неке од вишекритеријумских метода за доношење одлука. Наиме, од 218 анализираних радова са територије земаља Европске уније око 45% (98/218) публикација је повезано са применом неке од ових метода.



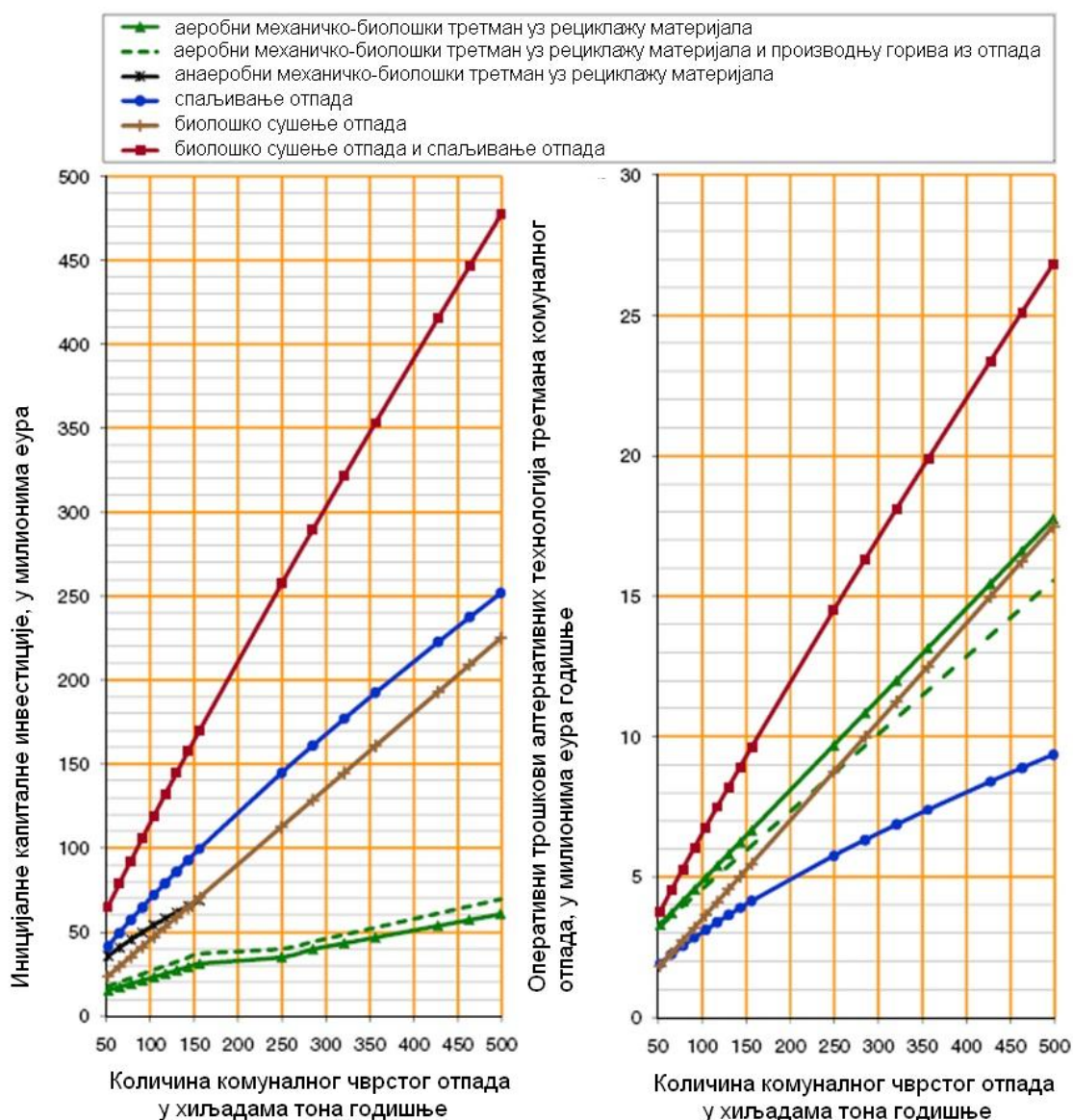
Са друге стране, Huang и сар. (2011) дају преглед **примене вишекритеријумских метода** у области инжењерства заштите животне средине за период од 1990. до 2010. године. Њихов рад је обухватио анализу и систематизацију укупно 312 радова из ове области у којима су коришћене неке од метода вишекритеријумског приступа. На слици 2.9 приказан је значајан пораст примене метода вишекритеријумског одлучивања за анализирани период (Huang и сар., 2011).



**Слика 2.9** Учешће вишекритеријумског приступа у публикацијама из области заштите животне средине

#### 2.4.2.1 Преглед анализа економских перформанси

Суочавање са брзим променама у начину живота, социјалним, економским и политичким ограничењима, као и постојање великог броја различитих технологија, довели су до потребе развоја интегрисаних критеријума за процену и пројектовање одрживих система за управљање чврстим комуналним отпадом. Из тих разлога је, последњих неколико деценија, дошло до значајног развоја прорачунских поступака трошкова и добитака или тзв., cost-benefit анализа и испитивања ефикасности система управљања отпадом (Haddix, 1975; Gunnerson и Jones, 1984; Goddard, 1995; Chang и Lin, 1997; Miranda и Hale, 1997; Garcia, 1999; Lee и сар., 2004; Consonni и сар., 2005; Begum и сар., 2006; Eshet и сар., 2007; Finnveden и сар., 2007; Bel и Warner, 2008; El-Hamouz, 2008; Moutavtchi и сар., 2008; Pickin, 2008; Zotos и сар., 2009; Economopoulos, 2010; Lavee, 2010; Weng и Fujiwara, 2011).



Слика 2.10 Иницијалне капиталне инвестиције и оперативни трошкови алтернативних технологија третмана комуналног отпада

Есопотороулоу (2010), даје анализу техно-економских аспеката неколико алтернативних метода третмана комуналног чврстог отпада, који су развијени и примењивани на нивоу индустријских постројења у Грчкој. На дијаграмима са слике 2.10, које су преузети из наведеног рада, уочава се, да су изразито највеће иницијалне капиталне инвестиције, као и оперативни трошкови потребни за процес биолошког сушења у комбинацији са спаљивањем или гасификацијом. Исплативост овог поступка зависиће од користи које он доноси у поређењу са приказаним трошковима. Најнижи трошкови за иницијалне капиталне инвестиције се јављају приликом изградње постројења за аеробни механичко-биолошки третман који не укључује претварање отпада у енергију, док се са најнижим оперативним трошковима сусрећемо приликом реализације процеса спаљивања отпада.

Опсежну анализу испитивања ефикасности комуналног система управљања отпадом са аспекта трошкова и добитака, а на основу, тзв., 3R принципа (Reduce, Reuse, Recycle) дају Weng и Fujiwara (2011). Студија се односи на Тајван, али се уз одређена прилагођавања може применити на територијама сличних социоекономских карактеристика.

Економским аспектима система управљања комуналним чврстим отпадом уз поређење еколошких ефеката, поред осталих, посебно су се бавили Beigl и Salhofer (2004), Soukорова и Hrebicek (2011), затим Schneider и сар. (2012), као и Rubio-Romero и сар. (2013).

Аустријски истраживачи Beigl и Salhofer (2004), анализирају економску оправданост процеса рециклаже, а везано са три категорије утицаја (потенцијал глобалног загревања, потенцијал закишељавања и нето потрошња енергије). Они указују на чињеницу да еколошке предности рециклаже могу, у даљем процесу, бити смањене или у потпуности елиминисане, а као узрок наводе специфичности одређених регионалних услова. Оправданост рециклаже појединих фракција отпада, поред еколошких користи, мора бити повезана са мањим трошковима, у односу на неке друге поступке третмана отпада. Beigl и Salhofer (2004), сходно условима у Аустрији за време њиховог истраживања, истичу да рециклажа пластичне амбалаже доводи до значајног смањења емисија GHG-а, али и до веома високих трошкова. Са друге стране, рециклажа отпадног стакла даје позитивне ефекте, и у еколошком, и у економском смислу. Одвојено сакупљање и рециклажу металне амбалаже могу да прате, зависно од начина колекције, релативно високи трошкови. Ови истраживачи указују на економске предности рециклаже отпадног папира, у односу на нерциклажни сценарио третмана ове фракције отпада (нпр., спаљивање). Чешки аутори Soukорова и Hrebicek (2011), у свом раду креирају модел односа трошкова и цена при управљању комуналним отпадом у Чешкој Републици. У складу са регионалним условима, они предлажу метод за идентификацију оптималне стратегије управљања отпадом и планирање активности, у вези финансијских оптерећења процеса, потрошње материјала, енергије и утицаја на животну средину. Уз одговарајуће специфичности и корекције, аутори сматрају да њихов модел може бити универзално примењен.

У раду Schneider и сар. (2012), предмет истраживања аутора представља исплативост мера за смањење емисија GHG и енергетског искоришћења из комуналног отпада у Републици Хрватској. Резултати ове анализе могу посебно бити интересантни и због чињенице да, као и Република Србија, Република Хрватска припада групи држава које су чиниле бившу Југославију и имају релативно сличне системе управљања комуналним чврстим отпадом. Закључци дати у овом раду, указују да се од неколико разматраних технологија, највеће економске користи могу очекивати од коришћења депонијског гаса у производњи електричне енергије. Аутори су истраживали економске показатеље одређених модалитета управљања отпадом који би могли довести до смањења емисија GHG. Анализирани су механичко-биолошки третман, спаљивање депонијског гаса без искоришћења енергије, коришћење депонијског гаса за производњу електричне енергије, поступак употребе RDF-а у индустрији цемента и термички третман отпада. Разматран је временски период од 20 година (2010 – 2030) и упоређиване вредности, тзв., маргиналних трошкова GHG ублажавања, а који су специфични за сваку од наведених технологија.

Rubio-Romero и сар. (2013) су дали процену профитабилности производње електричне енергије из депонијског гаса. На основу спроведених мерења на 34 депоније и одговарајућих прорачуна, испоставило се да само на 6 депонија (< 20%) инвестиција не би била исплатива. Поред директних користи од производње електричне енергије, аутори истичу значајне еколошке бенефите, као и отварање одређеног броја нових радних места.

У раду (Beigl и Salhofer, 2004), аутори упоређују еколошке ефекте и трошкове система за управљање комуналним отпадом у Аустрији. Резултујући инвентари животног циклуса су оцењени на основу три утицајна фактора, GWP, AP и NEU. Анализа обухвата еколошке утицаје и поређење трошкова за системе управљања целокупним отпадом и системе управљања појединачним врстама отпада – отпадни папир, пластична амбалажа, метална амбалажа и отпадно стакло. Аутори су разматрали три сценарија, од којих два укључују процесе рециклаже. Истраживања су показала да сценарио који укључује рециклажу није најпогоднији са аспекта доприноса глобалном загревању. Супротно томе, истакнути су врло позитивни ефекти рециклаже пластичних материјала у погледу смањења емисија GHG.

Организацију и ефикасност сакупљачких система одређених фракција комуналног отпада, у свом раду разматрали су Larsen и сар. (2010). Они су, кроз примену LCA методе, израдили студију случаја за град Aarhus (Данска) и упоређивали еколошке и економске параметре за пет алтернативних система прикупљања неколико фракција кућног отпада (папир, стакло, метал и пластична амбалажа). Као функционалну јединицу, аутори су одабрали управљање, односно сакупљање, транспортовање и третман просечне годишње количине генерисаног кућног отпада. Највиша стопа рециклаже је уочена код сценарија са "улично-тротоарском" варијантом сакупљања (31%), а најнижа у случају централизованог сакупљања фракција отпада. И укупни еколошки бенефити су највећи у случају постављања контејнера на тротоаре.

#### 2.4.2.2 Преглед анализа еколошко-енергетских перформанси

Група данских аутора (Christensen и сар., 2009), користећи LCA методу и софтверски пакет EASEWASTE (Kirkeby и сар., 2007), моделирала је фактор глобалног загревања, GWF, за 40 различитих сценарија управљања комуналним отпадом, укључујући различите системе за рециклажу (папир, стакло, пластика и органски отпад) и управљањем преосталим отпадом кроз депоновање, спаљивање или механичко-биолошки третман.

Christensen и сар. (2009) су се у свом истраживању фокусирали на климатске промене и емисије гасова стаклене баште. У оквиру студије разматране су реалне технологије управљања отпадом, које се не односе на неки специфичан процес или постројење, и које су већ уведене, или могу бити уведене у практично свим европским земљама. Аутори у сврху спровођења анализе, уводе и појмове "северно-европски састав отпада" и "јужно-европски састав отпада" који се разликују првенствено у проценту заступљености папирне и органске фракције отпада (табела 2.9).

Vovea и сар. (2010) дају процену утицаја на животну средину 24 алтернативне стратегије управљања комуналним чврстим отпадом, за шпански град Castellón de la

Plana, чији су број становника и дневна продукција комуналног отпада веома слични граду Крагујевцу. Користећи LCA методу и софтверске пакете SimaPro 7 и Ecoinvent, аутори рада су анализирали утицај сваког предложеног сценарија управљања отпадом на пет одабраних, стандардних утицајних фактора. Vovea и сар. (2010), су дошли до закључака који указују на предности рециклаже, одвојеног сакупљања - сортирања отпада, енергетског искоришћења депонованог отпада, као и примене поступка биогасификације биоразградиве компоненте отпада. Као оптималан сценарио, са еколошке тачке гледишта, издвојен је сценарио који је подразумевао максимално сортирање отпада, примену поступка биогасификације и енергетско искоришћење депонованог отпада.

**Табела 2.9** Карактеристични састави комуналног отпада на европском простору

Фракција	Средњи европски састав отпада	"Северно - европски" састав отпада	"Јужно - европски" састав отпада
Органски	35	30	47
Папир	22	33	20
Текстил	3	4	3
Пластика	10	9	9
Стакло	6	4	5
Метал	4	4	5
Остало	20	16	11

Hong и сар. (2010), спровели су LCA методологију за четири најчешће коришћена сценарија управљања комуналним чврстим отпадом у Кини. У уводним разматрањима, аутори указују на велики проблем са којим се ова земља сусреће, а који се односи на раст популације и наглу урбанизацију. Као последица, евидентиран је пораст генерисаног отпада од 45%, у периоду од 1995. до 2004. године. Аутори су истраживали утицај на одређене еколошке показатеље за следеће технологије: депоновање, спаљивање, компостирање у комбинацији са депоновањем и компостирање у комбинацији са спаљивањем отпада. Према очекивањима, највећи негативни потенцијал, у погледу доприноса глобалном загревању, узрокован емисијама метана, забележен је у варијанти депоновања отпада. Закључено је да производња електричне енергије, кроз искоришћење депонијских гасова, има значајан потенцијал, и да се, за услове који су тренутно присутни у Кини, спаљивање отпада показало као еколошки најприхватљивија опција.

Manfredi и сар., (2009) дају процену утицаја на животну средину 6 варијанти депоновања чврстог отпада (отворена депонија, конвенционална депонија са спаљивањем депонијског гаса, конвенционална депонија са искоришћењем енергије и 3 модалитета депоније-биореактора) уз примену LCA моделирања. Аутори су указали на чињеницу да употреба депонијског гаса за добијање енергије, чини суштински део система управљања отпадом у форми депоновања. Овакав вид управљања отпадом, доводи до уштеде значајних емисија GHG-а и избегава се већи негативни утицај у

неколико еколошких категорија. Енергетско искоришћење депонијског гаса (метана) је посебно важно у погледу вредности потенцијала глобалног загревања.

Fruergaard и сар. (2010), коришћењем софтвера EASEWASTE дају процену животног циклуса за седам различитих опција третмана остатака након спаљивања отпада, са становишта контроле загађења ваздуха (APC – Air Pollution Control). Они су разматрали утицај врсте третмана на глобално загревања, екотоксичност у води, токсичност по људе кроз воду и токсичност по људе кроз земљиште. Закључак је да, од свих седам разматраних сценарија, најбоље еколошке перформансе дају одлагање пепела у напуштеним рудницима соли и слојевито прекривање земљиштем, затим коришћење за неутрализацију отпадних киселина и коришћење остатака као додатног материјала у асфалту.

Утицај опција управљања депонијским гасом на животну средину био је предмет анализе Manfredi и сар., (2009). Аутори су вршили поређење еколошких утицаја три алтернативна решења, и то: сагоревање гаса без енергетског искоришћења, коришћење гаса у сврху добијања топлотне енергије и коришћење гаса за добијање и електричне и топлотне енергије. Коришћењем софтверског пакета EASEWASTE (Kirkeby и сар., 2006, 2007) спровели су анализу животног циклуса. Најбоље еколошке перформансе је показала опција управљања депонијским гасом уз производњу топлотне енергије, и то кроз највећи степен коришћења депонијског гаса, док је најлошије параметре имала варијанта са спаљивањем депонијског гаса без енергетског искоришћења.

Calabrò (2009) се бавио улогом и утицајем одвојеног сакупљања отпада на емисије гасова стаклене баште. Његов приступ се своди на формирање неколико различитих сценарија које добија варијацијом процента разврстаног отпада, као и искључивањем неких отпадних, рециклабилних фракција из процеса одвојеног сакупљања. У раду се закључује да одвојено сакупљање отпада и рециклажа имају позитивно дејство у смислу смањења емисија GHG и да се оно повећава са порастом процента одвојеног сакупљања и рециклаже. Чак и нераздвојен отпад на извору, уз високо ефикасан систем сакупљања и коришћења депонијског гаса (ефикасност од 90%), гарантује негативне GHG емисије. Такође, посебно се наглашава да резултати истраживања значајно зависе од састава отпада.

У раду (Manfredi и сар., 2010), разматран је утицај на животну средину приликом процеса депоновања појединих фракција комуналног отпада, коришћењем емпиријског модела (Belevi и Vaccini, 1989) и софтверског пакета EASEWASTE. Иако је моделирање утицаја на животну средину индивидуалних фракција отпада базирано на многим претпоставкама и повезано са одређеним неизвесностима, ипак се кроз ову врсту анализе могу добити значајне информације у погледу унапређења процеса управљања комуналним чврстим отпадом. На крају анализе указује се на значај употребе депонијског гаса и процес везивања угљеника за депонијску масу. Ово друго је посебно карактеристично за папирни отпад који задржава значајан проценат угљеника у депонији и након периода од 100 година.

Шведски истраживачи Bernstad и Jansen, (2011) кроз LCA приступ разматрају неколико опција управљања кућним прехранбеним отпадом, будући да је повећање обима третмана биоразградивог отпада зацртано у оквиру шведске националне стратегије управљања чврстим отпадом. У студији су истраживана три алтернативна третмана

кућног органског отпада, спаљивање, компостирање и анаеробна дигестија, који су коришћени за пројектовање неколико различитих сценарија управљања овом фракцијом комуналног чврстог отпада.

На основу опсежних анализа дошло се до закључка да је најмањи негативан утицај по животну средину приликом реализације сценарија који подразумева анаеробну дигестију уз коришћење биогаса, као горива за возила, и коришћење дигестата на песковитим земљиштима. Највећи допринос глобалном загревању је евидентиран код сценарија са спаљивањем отпада.

Утицај управљања комуналним чврстим отпадом на потенцијал глобалног загревања је предмет анализе у раду Nabib и сар. (2013). Аутори, на примеру општине Aalborg у Данској (број становника и продукција отпада релативно слични параметрима града Крагујевца), разматрају пет различитих сценарија који су карактерисали сваку од фаза развоја градског система за управљање комуналним отпадом. Управљање комуналним чврстим отпадом у Aalborg-у почетком седамдесетих година (сценарио 1) прошлог века се сводило на класично депоновање без спаљивања отпада. Осамдесетих година уведен је поступак спаљивања отпада, али без енергетског искоришћења (сценарио 2), док у последњој деценији прошлог века (сценарио 3), започиње процес коришћења отпада у енергетске сврхе у систему даљинског грејања. Сценарио 4 се односи на период са самог почетка овог века, и тадашњи систем управљања комуналним чврстим отпадом укључује производњу и топлотне и електричне енергије, уз даље унапређење рециклажних процеса. Коначно, у току последње фазе (за њен почетак аутори су навели 2010. годину), долази до побољшања ефикасности енергетског искоришћења отпада, процеса компостирања, као и сортирања отпада и рециклаже. Дакле, аутори су упоређивали утицај реалних, примењиваних система управљања и њихов утицај на најзначајнији глобални еколошки показатељ – потенцијал глобалног загревања. Процена утицаја је извршена помоћу IPCC 2007 GWP 100a методе. За LCA студију је коришћен софтверски алат SimaPro 7.3. Посебно је истакнуто да се током четрдесетогодишњег периода, састав отпада значајно променио, поготову у погледу смањеног удела прехранбеног отпада, а повећања процента баштенског (дворишног) и амбалажног отпада (од папира и пластике). Такође, утврђено је да се у наведеном периоду производња отпада по становнику повећала са 0,46 t/год. (у 1970. години) на 0,76 t/год. (у 2005. години).

#### 2.4.2.3 Преглед примене вишекритеријумског приступа одлучивања у сектору управљања комуналним отпадом

Последњих деценија, запажа се интензиван пораст броја публикација и анализа у којима се кроз примену вишекритеријумског приступа одлучивања решавају проблеми у сектору управљања комуналним отпадом (Huang и сар., 2011).

Morrissey и Brown (2004), дају преглед најчешће коришћених група модела у области управљања комуналним отпадом. Већина ових модела представља алате за подршку одлучивању и аутори поред модела заснованих на СВА анализи и LCA методи посебну пажњу посвећују методама ВКО.

Su и сар. (2007), у оквиру студије случаја за управљање прехранбеним отпадом у Тајвану, анализирају утицај социјалних фактора, као и учешће јавности, у процесу доношења одлука везаних за стратегије управљања отпадом. Презентиран метод има за циљ постизање максималног нивоа компромиса између различитих критеријумских захтева и заинтересованих страна. Развијени модел процењује, тзв., „степен консензуса“ између заинтересованих страна.

У раду (Vego и сар., 2007) аутори кроз примену две вишекритеријумске методе (PROMETHEE и GAIA) дају предлог оптималног броја потенцијалних центара управљања отпадом у Далматинској регији у Хрватској. Анализа је обухватила укључивање већег броја група критеријума, као што су еколошки, економски, социјални и функционални, уз употребу софтверског алата Decision Lab 2000. Кроз примену вишекритеријумског приступа и методе PROMETHEE, аутори анализирају могуће варијанте токова отпада, пореклом од електронске и електричне опреме. Извршено је рангирање дванаест алтернативних система управљања на основу њихових перформанси и ефикасности. И у овом истраживању доминантну улогу заузимају економски, еколошки, технички и социолошки критеријуми.

Интегрисана примена вишекритеријумских метода и LCA методе је анализирана у већем броју научних радова. Аналогију и повезаност ове две методе су уочили Chevalier и Rousseaux (1999). Метода Оцењивања животног циклуса (LCA) се, на одређени начин, може посматрати као проблем одлучивања (Hertwich и Hammitt, 2001) или као једна од метода вишекритеријумског приступа (Benoit и Rousseaux, 2003).

Са друге стране, Geldermann и Rentz (2005) дају свој приказ повезаности ове две методе, а посебно истичу везу оцене утицаја интерпретације резултата код LCA методе, са сваком од фаза вишекритеријумске анализе. Метода адитивних тежинских фактора (SAW), као једна од најједноставнијих из групе вишекритеријумских техника, користи се у неколико метода за процену укупног утицаја животног циклуса на животну средину (Rowley и Peters, 2009).

Основни допринос примене вишекритеријумске анализе се састоји у додељивању одговарајућих тежинских фактора одређеним параметрима проистеклим из LCA анализе. Након класификације параметара, карактеризације и евентуалне нормализације резултата, сумира се укупан утицај животног циклуса. Управо додељивање тежинских фактора утицаја, уз могућност варирања, представља и основну предност синтезе ове две методе. Генерално, примена вишекритеријумског приступа и LCA, најчешће, може бити усмерена на додељивање тежинских фактора категорија утицаја у LCIA или директно кроз примену на резултате LCIA.



### 3. Анализа постојећег стања у сектору управљања чврстим комуналним отпадом у Републици Србији

Генерисање отпада представља једну од директних последица укупне економске активности сваке државе, па је као такво у уској вези са националном економијом. Продукција и систем управљања комуналним отпадом зависе од степена индустријског развоја, животног стандарда, начина живота, социјално-културолошког амбијента, нивоа потрошње материјалних добара и других карактеристичних параметара сваке појединачне заједнице. У том смислу се и количине и састав генерисаног комуналног отпада могу значајно разликовати међу државама, у оквиру којих такође могу постојати изразите разлике по регионима или општинама. Република Србија, у економском смислу, припада групи земаља у развоју. У оквиру циљева дугорочне стратегије из области заштите животне средине, између осталог, истиче се потреба за јачањем постојећих и развојем нових мера за успостављање интегрисаног система управљања отпадом на територији целе републике. Мониторинг тренутног стања, у погледу технолошких карактеристика, обима генерисаног и третираног отпада као и његовог састава, представља један од кључних корака у конципирању и развоју једног таквог сложеног система.

#### 3.1 Количине генерисаног отпада у општинама Републике Србије

Постојеће стање у локалним самоуправама Републике Србије карактеришу релативно непоуздани и непотпуни подаци о количини генерисања комуналног отпада. Укупне количине комуналног отпада на годишњем нивоу су процењене на основу мерења количина генерисаног отпада у одабраним, референтним локалним самоуправама (Вујић и сар., 2009). Према подацима *Републичког завода за статистику и Агенције за заштиту животне средине* (2012), у табели 3.1 дат је преглед одређених релевантних индикатора у сектору управљања комуналним отпадом Републике Србије, за период од 2006. до 2012. године.

На основу података приказаних у табели 3.1, може се закључити да након вишегодишњег раста вредности свих наведених параметара, у 2012. години долази до извесног пада. Овај тренд је у складу са ситуацијом у готово свим европским државама, где је такође евидентиран одређени пад количина комуналног отпада за поменути годину. Узрок овим променама, у највећој мери потиче од последица вишегодишње економске кризе, пада куповне моћи становништва, а самим тим и промета материјалних добара. Са друге стране, повећање нивоа ефикасности у одвојеном сакупљању појединих фракција отпада, доводи до смањења количине мешаног отпада који се углавном одлаже у контејнере.

Податке о количини и саставу генерисаног комуналног отпада на територијама локалних заједница, достављају матична комунална предузећа. Достављени подаци морају бити у складу са *Правилником о методологији за прикупљање података о саставу и количинама отпада на територији локалне самоуправе* (Службени гласник Републике Србије, 61/2011). Наведена методологија (Вујић и сар., 2010; Јовичић и сар.,

2009) је развијена на бази постојећих искустава и по угледу на низ напредних методологија које се користе у земљама Европске Уније. За потребе израде ове студије, на основу критеријума вишепараметарске репрезентативности, одабрано је 10 општина са територије Републике Србије, на чијим локацијама је вршена квантитативна и квалитативна анализа комуналног чврстог отпада. У табели 3.2 приказане су количине генерисаног комуналног отпада по одабраним општинама на дневном и годишњем нивоу (Вујић и сар., 2010).

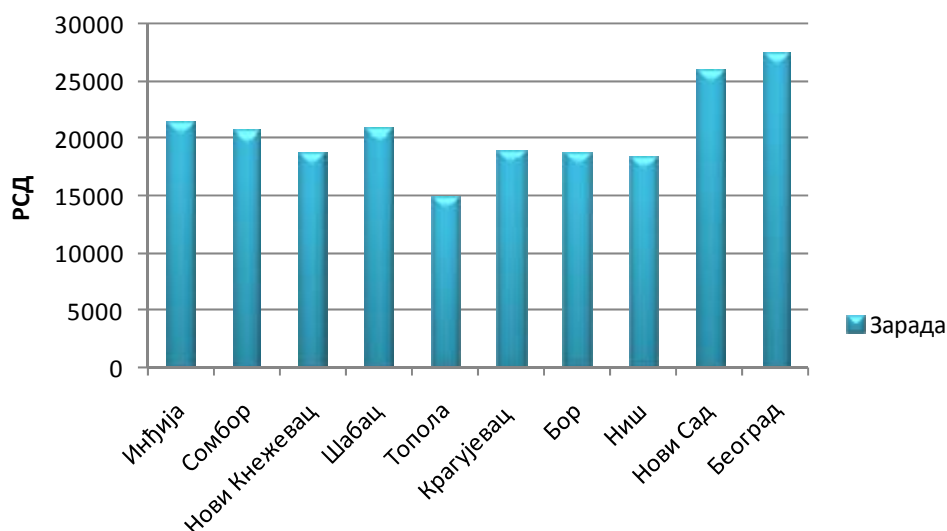
**Табела 3.1** Преглед релевантних индикатора у сектору управљања отпадом

Индикатор	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.	2012.
Укупна количина генерисаног отпада (милиона тона)	1,73	2,07	2,55	2,63	2,65	2,71	2,62
Количина прикупљеног и депонованог отпада од стране општинских ЈКП (милиона тона)	1,04	1,24	1,52	1,58	1,59	2,09	1,83
Просечни обухват прикупљања отпада (%)	~60	~60	~60	~60	~72	~77,3*	~70
Средња дневна количина комуналног отпада по становнику (kg)	0,62	0,77	0,95	0,98	0,99	1,01	0,99
Средња годишња количина по становнику (t)	0,23	0,28	0,35	0,36	0,36	0,37	0,36

**Табела 3.2** Преглед количина генерисаног комуналног отпада по општинама

ОПШТИНА	Количина генерисаног отпада			
	На дневном нивоу		На годишњем нивоу	
	t	kg/становнику	t	kg/становнику
<b>Инђија</b>	52	1,05	18.890	383
<b>Сомбор</b>	38,5	0,67	13.966	246
<b>Нови Кнежевац</b>	5,7	0,59	2.063	214
<b>Шабац</b>	66	0,59	25.794	209
<b>Топола</b>	7,3	0,29	2.761	105
<b>Крагујевац</b>	128	0,7	47.099	252
<b>Бор</b>	17,8	0,32	6.507	114
<b>Ниш</b>	176	0,73	63.937	266
<b>Нови Сад</b>	366	1,16	133.104	424
<b>Београд</b>	1.484	1,08	548.513	394

На слици 3.1, дат је дијаграмски приказ вредности нето износа просечних зарада (без пореза и доприноса) запослених у десет одабраних општина (Републички завод за статистику, 2007). Поређењем одговарајућих вредности са слике 3.1, и података из табеле 3.2, јасно се уочава да се у три општине, са просечно највећим нето зарадама (Инђија, Нови Сад и Београд), генерише и највише комуналног отпада по становнику.



Слика 3.1 Просечна зарада без пореза и доприноса по општинама

## 3.2 Морфолошки састав комуналног отпада у општинама Републике Србије

Утврђивање морфолошког састава комуналног отпада представља други важан задатак са аспекта прикупљања свих релевантних података који претходе процесу дефинисања оптималног система управљања отпадом на територији одређене локалне заједнице. У табели 3.3, приказан је морфолошки састав комуналног отпада у 5 градова Републике Србије, изражен у виду процентуалних износа удела шеснаест фракција комуналног отпада (Вујић и сар., 2010).

За утврђивање одређених правилности у сезонским трендовима и промени процентуалних износа појединих компоненти, потребно је вишегодишње континуирано праћење промена количина и састава депонованог комуналног отпада одређеног подручја. На основу спроведене квалитативне анализе, аутори студије су закључили да процентуални износ органске компоненте отпада, као највеће и са еколошко-енергетско-економског аспекта најзначајније фракције комуналног отпада, релативно мало варира током године. Одређени сезонски максимуми процентуалних износа појединих органских компоненти су углавном компензирани сезонским минимумима других органских састојака отпада.

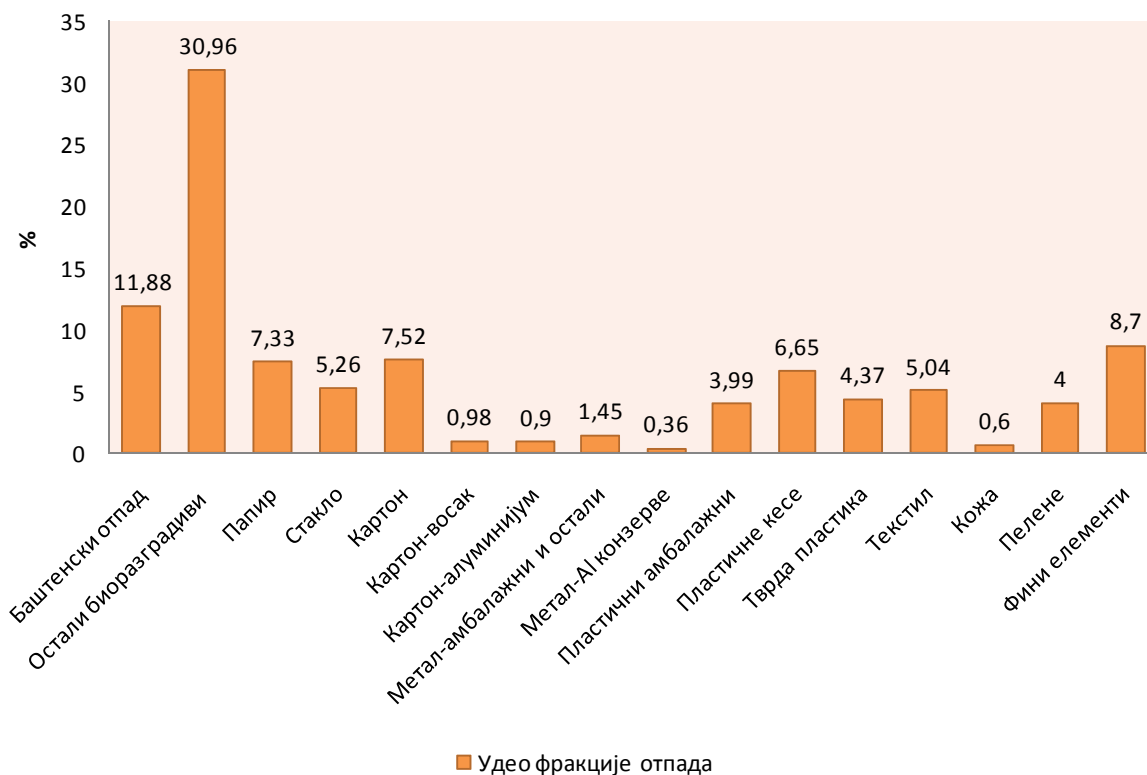
На основу података из табеле 3.3 може се уочити да су процентуални износи највећег броја компоненти комуналног чврстог отпада у директној корелацији са бројем становника општине. Други утицајан чинилац, као што је напред већ речено,

представља и економски степен развоја локалне заједнице. У општинама са мањим бројем становника, баштенски отпад има већи удео у укупним количинама. Овај податак је последица начина живота и становања у мањим срединама. Са друге стране, количине папира, у највећем броју случајева, расту са повећањем броја становника одређене општине. Категорија "остали биоразградиви отпад" углавном има уједначене податке, независно од величине и броја становника појединих општина. На процентуалне саставе амбалажних, односно рециклабилних компоненти, значајан утицај има и локални систем одвојеног сакупљања ових врста материјала.

**Табела 3.3** Морфолошки састав комуналног отпада у 5 градова Републике Србије (%)

Категорија отпада	О П Ш Т И Н А				
	Београд	Ниш	Крагујевац	Топола	Нови Сад
Баштенски отпад	6,68	10,00	11,29	16,16	13,37
Остали биоразградиви	30,93	30,56	27,34	36,32	30,17
Папир	10,78	7,90	8,07	4,72	5,25
Стакло	6,84	4,74	5,04	2,95	5,07
Картон	8,97	6,12	11,13	4,25	6,13
Картон-восак	1,74	0,71	0,80	0,46	0,71
Картон-алуминијум	1,20	0,62	1,24	0,54	0,65
Метал-амбалажни и остали	1,98	1,38	1,09	1,00	1,64
Метал-А1 конзерве	0,40	0,57	0,68	0,33	0,15
Пластични амбалажни	4,58	3,01	4,78	3,17	3,71
Пластичне кесе	5,61	9,18	8,45	6,24	6,40
Тврда пластика	4,73	5,77	3,68	2,88	5,04
Текстил	5,31	5,67	3,68	4,45	7,49
Кожа	0,61	0,36	0,41	0,50	1,04
Пелене	3,67	4,08	3,72	4,15	4,48
Фини елементи	5,98	9,32	8,61	11,88	8,70

На сличан начин, као за генерисане количине, направљена је и пројекција морфолошког састава комуналног отпада на нивоу целе Републике (Вујић и сар.,2009). На слици 3.2, дијаграмски су представљене процентуалне заступљености сваке од наведених категорија отпада за целу Републику Србију.



Слика 3.2 Морфолошки састав комуналног отпада у Републици Србији

### 3.3. Поступање са отпадом у Републици Србији

Бројне анализе су показале да је један од највећих еколошких проблема у Републици Србији неадекватно поступање са отпадом. Комунални отпад се најчешће одлаже на неуређене депоније. Међутим, још већу потенцијалну опасност по животну средину представља огроман број дивљих депонија које су настале као последица несавесног поступања дела становништва, чија домаћинства нису покривена организованим сакупљањем комуналног отпада. Посебан проблем представља стварање великих количина опасног индустријског и медицинског отпада, укључујући отпадна моторна уља, мешане органско-водене емулзије, итд. Опасан отпад се привремено складишти у, претежно, неодговарајућим условима на месту свог настанка, али се врло често без било какве контроле, одлаже на комуналне или дивље депоније.

И поред постојећих законских прописа који указују на неопходност примене рециклаже секундарних сировина, обим сортирања по домаћинствима, одвојено сакупљање, прерада и поновна употреба рециклираних отпадака и даље, на домаћем тржишту, нису заступљени на задовољавајућем нивоу.

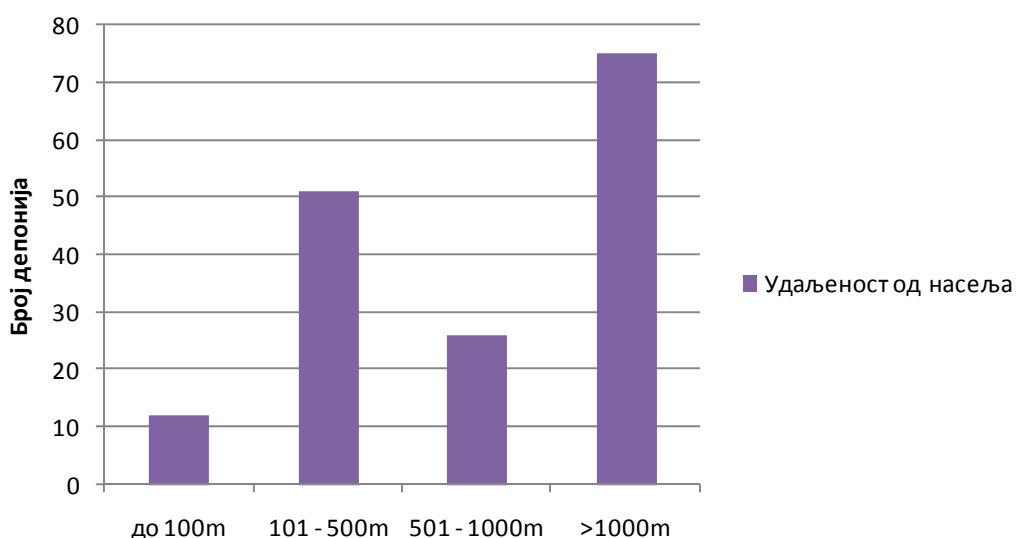
Усвајањем *Националне стратегије управљања отпадом 2010 - 2019* (Службени гласник Републике Србије 29/2010) са програмом приближавања ЕУ, постављена је основа којом се обезбеђују услови за рационално и одрживо управљање отпадом у Републици Србији. Доношењем *Закона о управљању отпадом* (Службени гласник Републике Србије 36/2009 и 88/2010) успоставља се систем интегрисаног управљања

отпадом, и то од његовог настанка преко сакупљања, транспорта, складиштења, третмана па све до коначног одлагања.

### 3.3.1 Третман комуналног отпада

На територији Републике Србије одлагање на депоније, практично, представља једини начин управљања комуналним отпадом. Локалне депоније, са малим бројем изузетака, не задовољавају ни основне хигијенске и техничко-технолошке услове. Већина депонија није прописно ни лоцирана, а поред свега, предвиђени капацитети за највећи број одлагалишта су, практично, попуњени.

На простору Републике Србије (без Косова и Метохије), у оквиру пројекта *Иновирање катастра одлагалишта отпада у Републици Србији* (Агенција за заштиту животне средине, 2008), лоциране су укупно 164 депоније које користе општинска јавна комунална предузећа за одлагање отпада. Старост депонија варира, од неколико нових које су отворене 2005. године, све до најстарије, која функционише готово шест деценија. Подаци о димензијама и запремини тела депонија нису најпоузданији, јер су тражене величине већином процењене, а за многе од њих не постоји одговарајућа техничка документација. Највеће депоније налазе се у Београду, Нишу и Новом Саду. Прекривање отпада се врши на 117 депонија (72%), и то најчешће земљом или неким другим инертним материјалом. На 15 депонија се прекривање врши свакодневно, на једној месечно а на 101 по потреби. Од укупног броја општинских одлагалишта отпада, 12 (7,3%) депонија се налази на удаљености мањој од 100 m од насеља (слика 3.3). Овакви подаци говоре о угрожености становништва од загађења која се емитују са депоније, али и о могућим појавама болести, које преносе мишеви, пацови и друге животиње, које су стални становници депонија.



Слика 3.3 Удаљеност депонија од насеља у Републици Србији ([www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs))

Прикупљени подаци о удаљеностима депонија од водених површина показују да се 15,2% депонија налази на удаљеностима мањим од 50 m од обала река, потока, језера или акумулација. Од тог броја, 14 депонија се практично налази на самој обали водотока или у његовом трупцу. На удаљеностима мањим од 500 m од зоне водоснабдевања, налази се 11 (6,7%) депонија, а још 20 (12,2%) на удаљеностима мањим од 1.000 m.

### 3.3.1.1 Стање постојеће инфраструктуре за управљање комуналним отпадом

Сакупљање комуналног отпада у Републици Србији обављају, углавном, јавна комунална предузећа чији су оснивачи локалне самоуправе. Организација кретања наменских возила, као и просторни распоред контејнера претежно се базирају на слободној процени и ранијој рутинској пракси. Веома је мали број локалних самоуправа у којима надлежна комунална предузећа своје активности, у вези управљања отпадом, планирају на основу одговарајућих анализа заснованим на броју гравитирајућег становништва, фреквенцији пуњења и пражњења контејнера као и капацитету возила. У неким општинама послови сакупљања отпада поверени су приватним предузећима.

У оквиру постојећег стања у сектору сакупљања и транспорта комуналног отпада у Републици Србији могу се посебно нагласити следеће чињенице (Национална стратегија управљања отпадом 2010 – 2019, Службени гласник Републике Србије 29/2010):

- неодговарајући број и структура посуда за сакупљање отпада,
- неодговарајући распоред посуда,
- недостатак одговарајућих наменских возила за сакупљање и транспорт отпада,
- неодговарајућа динамика (учесталост) сакупљања и транспорта отпада,
- руте кретања наменских возила најчешће нису оптимизоване,
- присутни су значајни проблеми сакупљања, транспорта и третмана отпада из здравствених установа и одређених привредних субјеката.

Центри за одвојено сакупљање отпада постоје у Београду, Чачку и нешто мањег обима у још неким локалним самоуправама у Републици Србији. У овим центрима се поједине врсте комуналног отпада сакупљају у посебним контејнерима, намењеним за сакупљање различитих врста отпада (метал, стакло, папир, ПЕТ амбалажа, лименке и др.). За сада, једино у Новом Саду функционише постројење за сепарацију рециклабилног отпада. Поред тога, постоји више регистрованих постројења за рециклажу ПЕТ-а, металног отпада, пластике и др. И поред значајног садржаја органске компоненте у комуналном отпаду и свих његових потенцијала, на територији целе Републике, за сада не постоје инсталирана постројења за биолошки третман комуналног отпада. У Републици Србији нису регистрована ни постројења за инсинерацију комуналног отпада (Национална стратегија управљања отпадом 2010 – 2019, Службени гласник Републике Србије 29/2010).

Комунални отпад, који се организовано сакупља, одлаже се на 164 званично регистроване општинске депоније. На депонију "Винча", која представља највећу депонију у Републици Србији, дневно се одлаже око 1.700 тона комуналног отпада из домаћинства и неопасног отпада из индустријског сектора, са територије 12 београдских општина. Није предвиђено никакво претходно третирање отпада пре одлагања.

Земљишне парцеле на којима су лоциране депоније су, углавном, у својини Републике Србије. Подаци о димензијама и запремини тела депонија у највећем броју случајева нису поуздани, с обзиром да за многе од њих не постоји одговарајућа техничка документација. Близу 70%, од тренутно активних депонија-сметлишта, није предвиђено у просторним плановима и за велику већину нису урађене студије о процени утицаја на животну средину нити имају одговарајуће дозволе.

За равнање и сабијање отпада најчешће се користе булдожери, док се на 10 депонија за процес сабијања користе компактори. На већем броју депонија практикује се повремено услужно изнајмљивање механизације. На отвореним депонијама-сметлиштима често долази до самозапаљења делова отпада, при чему долази до мањих или већих неконтролисаних емисија загађујућих материја.

Око 40% укупно генерисаног комуналног чврстог отпада у Републици Србији се одлаже на дивље депоније, које су у потпуности ван контроле јавних комуналних предузећа. Према извештају (Агенција за заштиту животне средине Републике Србије, 2010) на територији републике, укупно је регистрована 4481 дивља депонија. У највећем броју случајева, дивље депоније се налазе у сеоским и приградским срединама и најчешће су последица недостатка средстава за проширење и функционисање система сакупљања отпада у овим срединама. Ипак, врло често, узроке треба тражити и у лошој организацији комплетног процеса управљања отпадом на локалном нивоу.

Дивље депоније се, врло често, појављују и дуж саобраћајница у околном путном појасу. Највећи проценат оваквих депонија се формира на косинама насипа путева, одакле се отпад једноставно баца киповањем из камиона или трактора. Такве депоније је врло тешко санирати и уклонити због лоше доступности за одговарајућу механизацију. У сврху дивљег - неконтролисаног депоновања отпада често се користе и природне депресије, јаме и вртаче из којих је чишћење практично немогуће и технички и финансијски веома захтевно.

На основу одредби *Националне стратегије управљања отпадом из 2003. године*, планира се затварање постојећих сметлишта као и њихова рекултивација. Поред тога, предвиђена је и изградња 29 регионалних санитарних депонија, са одговарајућим центрима за сепарацију рециклабилног отпада и пратећим трансфер станицама. Између већине локалних самоуправа, међутим, још увек нису постигнути договори, нити потписани споразуми, односно уговори око дефинисања и формирања регионалних области за управљање отпадом (Национална стратегија управљања отпадом 2010 – 2019, Службени гласник Републике Србије 29/2010).



### 3.4. Потенцијалне опције управљања комуналним чврстим отпадом

Под интегрисаним управљањем чврстим отпадом подразумева се целокупан процес његовог уклањања или опционог коришћења, почев од смањења количине – минимизације на самом извору настајања, преко сакупљања, транспорта, евентуалног третмана, па све до коначног одлагања. У циљу формирања одрживог система управљања отпадом, неопходно је сагледати све актуелне и одрживе технологије управљања отпадом. Анализа примера добре праксе у управљању чврстим отпадом у развијеним земљама, као и сагледавање објективних околности и стања овог сектора у Републици Србији и локално, у граду Крагујевцу, могу значајно допринети да се, у технолошком смислу, дође до оптималног предлога. Одлука о избору најпогодније опције у фази третмана отпада, доноси се, између осталог, на основу анализе животног циклуса отпада, а која узима у обзир и карактеристике средине и локације на којој отпад настаје.

Основни концепт хијерархије управљања отпадом указује на чињеницу да редукција настајања отпада представља далеко најефикасније решење са аспекта очувања животне средине. Ипак, тамо где даље смањење није практично изводљиво, прибегава се поновном коришћењу производа и материјала, било за исту или неку другу намену. Уколико ни та могућност не постоји, чврсти комунални отпад се у даљем процесу може искористити кроз рециклажу, компостирање или у сврху добијања енергије. Тек уколико ниједна од претходно наведених опција не даје одговарајуће прихватљиво решење, отпад, у складу са максималним еколошким стандардима, треба одложити на санитарну депонију.

На основу препорука датих у *Националној стратегији управљања отпадом 2010-2019*, направљен је преглед одређеног броја доступних, еколошки и економски потенцијално одрживих, као и енергетски ефикасних технологија третмана комуналног чврстог отпада (табела 3.4). Примена и укључивање ових технологија се, у складу са реалним техничко-економским могућностима, препоручује у оквиру система управљања отпадом у Републици Србији.

Приликом конципирања варијантних решења за локални систем управљања отпадом, које је приказано у наредним поглављима дисертације, водило се рачуна управо о препорукама датих у оквиру *Националне стратегије управљања отпадом 2010-2019*, везаних за карактеристике појединих технологија третмана. Избор одговарајућих критеријума, током процеса вишекритеријумског одлучивања, уско је повезан са специфичним карактеристикама одређених опција третмана. Током процеса креирања алтернативних решења, са посебном пажњом су узети у обзир законодавни оквири Републике Србије и Европске Уније у сектору управљања отпадом.

**Табела 3.4** Препоручене технологије третмана комуналног чврстог отпада

Опција третмана	Напомене и препоруке
Редукција отпада на извору	<ul style="list-style-type: none"> <li>- приоритетна оријентација</li> <li>- интеграција у целокупни животни циклус производа</li> <li>- допринос потрошачке популације кроз куповину производа са мање амбалаже</li> <li>- носиоци активности: влада и локалне самоуправе</li> </ul>
Поновна употреба	<ul style="list-style-type: none"> <li>- специфично дизајнирање производа</li> <li>- увођење одговарајућих прописа као подстицај произвођачима</li> <li>- смањење трошкова за произвођаче и потрошаче</li> <li>- уштеде у енергији и сировинама</li> <li>- смањење трошкова коначног депоновања</li> </ul>
Рециклажа	<ul style="list-style-type: none"> <li>- значајно смањење количине депонованог отпада чиме се битно продужава век депоније и доприноси смањењу неконтролисаних емисија</li> <li>- рационалније коришћење природних ресурса</li> <li>- доношење одговарајућих прописа који дефинишу строже услове за процес одлагања отпада</li> </ul>
Компостирање	<ul style="list-style-type: none"> <li>- процес се спроводи под посебним, контролисаним условима</li> <li>- производ је материјал сличан хумусу погодан за кондиционирање земљишта</li> <li>- тржишна вредност финалног производа зависи од његовог квалитета</li> <li>- потребан релативно мали простор за лоцирање оваквих постројења</li> <li>- постројења за компостирање могу захтевати значајна капитална улагања</li> <li>- потребно раздвајање органског отпада ради подизања квалитета компоста</li> </ul>
Анаеробна дигестија	<ul style="list-style-type: none"> <li>- продукти процеса су биогаз, компост и вода</li> <li>- гасови настали као продукт процеса имају висок удео метана и погодни су за енергетско искоришћење</li> </ul>
Инсинерација	<ul style="list-style-type: none"> <li>- добијена енергија се може користити у сврху добијања топлотне и/или електричне енергије</li> <li>- значајно смањује запремину отпада</li> <li>- високи инвестициони и оперативни трошкови</li> <li>- отпор јавности према инсталацији оваквих постројења</li> </ul>

**Табела 3.4 (наставка) Препоручене технологије третмана комуналног чврстог отпада**

Опција третмана	Напомене и препоруке
Пиролиза	<ul style="list-style-type: none"> <li>- термичко разлагање органских компоненти</li> <li>- продукти су пиролитички гас, уље и чврста фаза богата угљеником</li> <li>- повећањем температуре реакције повећава се удео пиролитичког гаса који представља потенцијални енергент</li> <li>- захтева значајна финансијска улагања</li> <li>- спада у новије технологије третмана отпада</li> </ul>
Гасификација	<ul style="list-style-type: none"> <li>- високотемпературни процес третмана отпада</li> <li>- релативно ретка технологија третмана чак и у високо развијеним земљама</li> <li>- као производ реакције добија се мешавина горивих гасова</li> <li>- гасови се спаљују или користе у постројењима за когенерацију</li> <li>- гориво мора бити релативно хомогеног састава</li> </ul>
Плазма процес	<ul style="list-style-type: none"> <li>- високотемпературни процес при коме долази до разлагања органских и топљења неорганских материја из отпада</li> <li>- готово потпуна елиминација штетних емисија</li> <li>- након витрификације неорганских материја исте се могу искористити као додатак грађевинским материјалима</li> <li>- изузетно висока финансијска улагања</li> </ul>
Отпад као гориво	<ul style="list-style-type: none"> <li>- потребан отпад високе топлотне моћи</li> <li>- еколошко-економске користи замене фосилних горива</li> <li>- термоелектране и градске топлане могу постати део инфраструктуре за сагоревање отпада</li> <li>- емисије штетних гасова морају бити ограничене</li> </ul>
Депонување отпада	<ul style="list-style-type: none"> <li>- депоније за неопасни, инертни и опасни отпад</li> <li>- неопходне као комплементарна допуна сваке друге изабране опције управљања отпадом</li> <li>- за сада, практично једини вид управљања отпадом у Републици Србији</li> <li>- велики значај система за сакупљање и искоришћење депонијских гасова</li> <li>- начин поступања са отпадом на самој депонији може значајно допринети смањењу негативних ефеката на животну средину</li> </ul>

## 4. Стање и динамика чврстог отпада на локалном нивоу

### 4.1 Управљање чврстим отпадом у Крагујевцу

Град Крагујевац представља регионални административни, економски, индустријски, културно-образовни и здравствени центар и седиште је Шумадијског округа. Град је лоциран на подручју око 44<sup>0</sup> северне географске ширине и 21<sup>0</sup> источне географске дужине, на надморској висини од 170 до 220 метара и заузима површину од 835 квадратних километара. Карактерише га умерено-континентална клима.

Према резултатима републичког пописа из 2011. године, у Крагујевцу живи 179.417 становника (шире градско подручје), од чега у ужем градском подручју 150.835, што га, по величини популације, сврстава на четврто место у Републици Србији.

За сакупљање отпада, ЈКП "Чистоћа" користи сопствену оперативу и опрему, коју чине возила за транспорт отпада, машине за рад на депонији и опрема за сакупљање. Возни парк овог предузећа, који је на располагању за послове сакупљања и транспорта отпада, чини 20 аутосмеђара, 4 подизача и 4 теретна возила – кипера. Основни недостатак представља старосна структура возног парка. Просечна старост возила износи 16 година, док се оптимални радни век, у складу са специфичним условима у којима таква наменска возила раде, процењује на око 7 до 8 година. Услед хроничног недостатка новчаних средстава, са овим проблемом се суочава већина јавних комуналних предузећа везаних за сектор отпада у Републици Србији.

Механизација за рад на самој депонији "Јовановац", са којом располаже ЈКП "Чистоћа", је малобројна, застарела и у релативно лошем техничком стању. Механизација се састоји од два трактора гусеничара, једног утоваривача и једног компактора који је тренутно ван функције.

Опремену за сакупљање отпада чине контејнери различитих запремина (1,1 м<sup>3</sup>, 5 м<sup>3</sup> и 7 м<sup>3</sup>), канте запремине 140 литара и кесе. Преглед опреме за сакупљање отпада дат је у табели 4.1.

**Табела 4.1** Преглед опреме за сакупљање отпада на територији коју покрива ЈКП "Чистоћа" – Крагујевац (подаци за 2014. годину)

Опрема за сакупљање отпада	Бројно стање опреме (ком.)
Контејнер запремине 5 м <sup>3</sup>	115
Контејнер запремине 7 м <sup>3</sup>	15
Контејнер запремине 1,1 м <sup>3</sup>	3.500
Канта запремине 140 литара	4.500
Контејнер за секундарне сировине	770
Кесе (потрошња на месечном нивоу)	- 12 000 за комунални отпад - 12 000 за ПЕТ амбалажу

Након процеса сакупљања, сав отпад се транспортује до главне градске депоније у Јовановцу. Депонија је у употреби од 1966. године и у власништву је локалне самоуправе, односно града Крагујевца. Налази се на 3 километра од центра града, а од најближег насеља је удаљена око једног километра. Депонија је површинског типа и простире се на 15 хектара површине. Просечна висина депонованог отпада превазилази 15 метара. Депонија није ограђена, изузев са предње стране са које се налази и улазна рампа, пријавница и колска вага, на којој се редовно мери маса депонованог отпада. Осим ЈКП "Чистоћа", депонију могу користити и друга правна и физичка лица, уз плаћање одговарајуће надокнаде за депоновани отпад.

Како је депонија у употреби већ готово пола века, и узимајући у обзир количине депонованог отпада, њену близину самом граду и неким приградским насељима, као и ограниченост површине који депонија заузима, намеће се закључак да депонија у Јовановцу представља један од највећих еколошких проблема града Крагујевца. Капацитети депоније су скоро сасвим попуњени и предвиђа се њено релативно безбедно коришћење у трајању од највише две године.

Депонија у Јовановцу, првенствено због велике количине депонованог органског отпада, веома је богата депонијским гасом. У тело депоније је, пре свега у циљу превенције настанка пожара и експлозија, постављено 17 вентилационих биотрнова (лула), од којих су тренутно активна само четири. Процењује се да би коришћење депонијског гаса могло да обезбеди снабдевање електричном и топлотном енергијом неколико стотина домаћинстава.

Очигледно је, из напред изложеног, да главне тренутне проблеме у сектору управљања отпадом у Крагујевцу, представљају недостатак одговарајућег, новог простора за депоновање отпада, као и решавање проблема затварања и рекултивације постојеће депоније у Јовановцу. Застарели возни парк и прилично неефикасан начин сакупљања отпада, као и мали проценат издвајања секундарних сировина су, такође, неки од евидентних проблема. Постоји релативно велики простор у правцу унапређења енергетске ефикасности система сакупљања и транспорта комуналног отпада на територији Крагујевца (Бошковић, 2014).

Као позитивну чињеницу, свакако треба истаћи веома висок проценат покривености становништва које је укључено у организовано сакупљање отпада у обиму који знатно превазилази просек у Републици Србији. Ипак, кључни недостатак који значајно доприноси претходно наведеним проблемима, представља непостојање осмишљеног система управљања, пре свега, комуналним чврстим отпадом и то са аспекта савремених сазнања и актуелних европских и светских трендова из овог сектора.

## 4.2 Количина и састав комуналног отпада у граду Крагујевцу

Количина и састав комуналног отпада представљају основне улазне податке у будући систем управљања комуналним чврстим отпадом на територији града Крагујевца и опционо регионалне области. Избор оптималних технологија третмана и вредности њихових, пре свега еколошких, енергетских и економских перформанси значајно зависе од ових параметара. У том смислу, у наредним одељцима биће представљени резултати експерименталних испитивања количине и састава генерисаног комуналног

чврстог отпада у Крагујевцу (Вујић и сар., 2010). Резултати ових испитивања настали су у оквиру сарадње Факултета техничких наука из Новог Сада и Факултета инжењерских наука из Крагујевца (Јовичић и сар., 2009).

#### 4.2.1 Количине комуналног отпада у Крагујевцу

Стално праћење количина отпада, које се генеришу на територији неке општине, представља један од основних предуслова за добро организовање система за управљање отпадом и квалитетно пружање услуга корисницима система. Крагујевачка депонија поседује одговарајућу опрему којом се свакодневно врше мерења масе прикупљеног комуналног отпада. Колска вага је повезана са рачунаром на коме се преко специјализованог софтвера врши евидентирање измерене масе отпада.

**Табела 4.2** Преглед количина депонованог отпада на депонији у Јовановцу (у тонама)

Месец	2009	2010	2011	2012	2013	Просек
Јануар	2.489	2.650	2.587	3.102	3.224	2.810
Фебруар	2.132	3.090	2.361	3.040	2.965	2.718
Март	3.560	3.725	3.598	4.450	3.504	3.767
Април	4.651	3.754	3.424	4.006	4.215	4.010
Мај	4.210	3.852	3.783	4.177	3.959	3.996
Јун	3.608	3.373	3.638	3.525	3.530	3.535
Јул	3.910	3.591	3.544	3.839	4.201	3.817
Август	3.994	3.444	4.073	4.038	4.216	3.953
Септембар	4.143	3.754	4.080	3.651	4.093	3.944
Октобар	3.984	3.662	3.868	3.991	4.556	4.012
Новембар	4.052	3.582	4.251	4.103	3.927	3.983
Децембар	3.356	3.222	3.582	3.368	3.526	3.411
Σ	44.089	41.699	42.789	45.290	45.916	3.663
						43.957

У табели 4.2 представљене су вредности количина депонованог отпада на депонији у Јовановцу, у тонама на месечном нивоу, у току четворогодишњег периода (јануар 2009. – децембар 2013.). На слици 4.1, дат је упоредни графички приказ укупних годишњих количина депонованог отпада за наведени период.

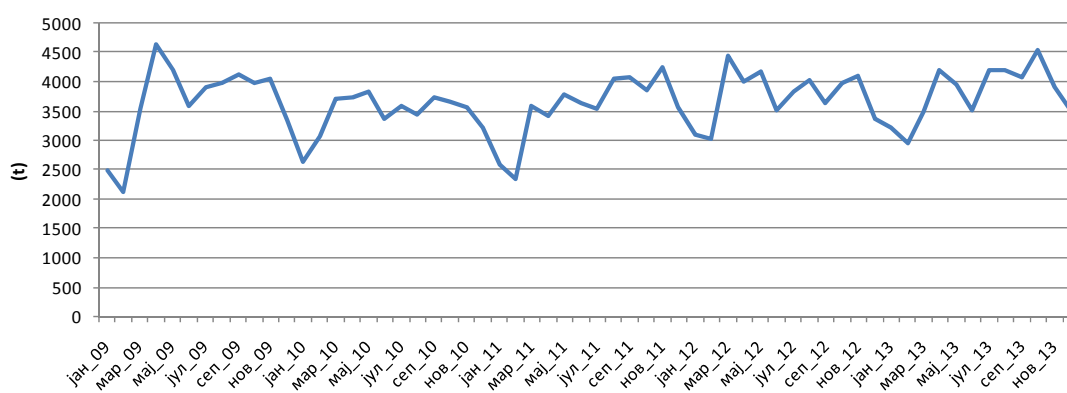
ЈКП "Чистоћа", поред мешаног комуналног отпада, врши одвојено сакупљање рециклабилног отпада (стакло, ПВЦ и алуминијум). Просечно се, за месец дана, сакупи око 20 тона ПЕТ и пластичне амбалаже, затим приближно 50 тона папирне и картонске амбалаже, око 10 тона стакла, као и 100 килограма алуминијумских лименки.

Узимајући у обзир састав и количину отпада, наведене вредности сакупљених секундарних сировина су веома мале (свега око 2% у односу на укупни депоновани отпад). Након разврставања и балирања, амбалажни отпад се испоручује овлашћеним оператерима. Поред амбалажног отпада, предузеће је ангажовано и на сакупљању отпадних гума од вулканизера, по позиву. Месечно се, у просеку, прикупи око седам тона отпадних гума, које се, такође, испоручују овлашћеном дистрибутеру.

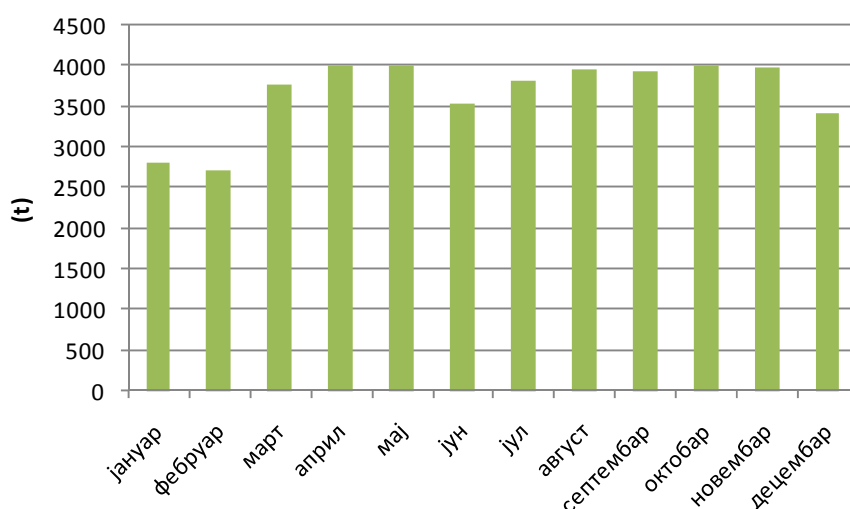


**Слика 4.1** Количине депонованог комуналног отпада на депонију у Јовановцу, на годишњем нивоу, у тонама

На основу података из табеле 4.2, на слици 4.2 дат је дијаграмски приказ масе прикупљеног комуналног отпада по месецима у периоду од јануара 2009. до децембра 2013. године. Анализом дијаграма са слике 4.2 уочавамо пет изражених локалних минимума количине депонованог комуналног отпада, а који се, по правилу, јављају у зимском периоду. То се посебно односи на два најхладнија месеца у години, јануар и фебруар. Насупрот томе, локални максимуми се бележе у пролеће и на јесен. Овај тренд постаје још очигледнији на дијаграму са слике 4.3, на коме је представљена просечна количина депонованог отпада по месецима за посматрани четворогодишњи период.



**Слика 4.2** Количина прикупљеног комуналног отпада по месецима за град Крагујевац, у тонама



**Слика 4.3** Просечна количина прикупљеног комуналног отпада по месецима за град Крагујевац, у тонама

Најмање отпада се, према вишегодишњим подацима, прикупља у фебруару (отежано прикупљање, посебно у удаљенијим и мање приступачним деловима општине, и одсуство баштенског, парковског и дворишног отпада, најкраћи месец), а највише у априлу и октобру.

#### 4.2.2 Морфолошки састав комуналног отпада у Крагујевцу

Као део примењене методологије за одређивање састава комуналног отпада (Вујић и сар., 2009), вршено је сакупљање узорака комуналног отпада приближне масе од око 500 килограма. Значајан утицај на састав отпада, поред социо-економских фактора има и тип становања (колективни или индивидуални). У складу са тим чињеницама, узимани су узорци из различитих делова општине (са циљем анулирања утицаја поменутих фактора), класификованих у следеће зоне:

- градска зона - индивидуално становање,
- градска зона – колективно становање и комерцијална зона,
- сеоска зона.

Поред доминантног утицаја локалитета са кога се генерише отпад, на морфолошки састав комуналног отпада значајан утицај имају и годишња доба, односно климатски и вегетацијски услови. Из тог разлога се одређивање састава отпада, према наведеној методологији, врши три пута годишње у зимској, пролећној (или јесењој) и летњој сезони, а под претпоставком да је морфолошки састав комуналног отпада релативно сличан у току пролећних и јесењих месеци.

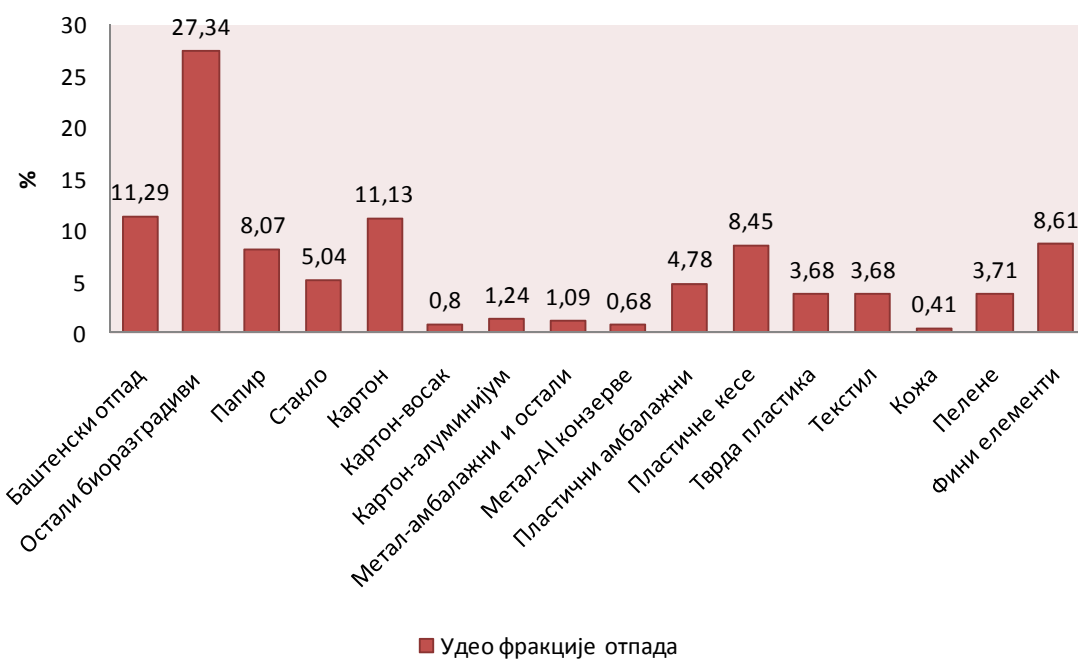
Истраживања су, календарски, обухватила летњу, зимску и пролећну анализу, за три различита сектора становања. Добијени резултати, разврстани процентуално по категоријама отпада, представљени су у табели 4.3 (Вујић и сар., 2009).



**Табела 4.3** Процентуални састав комуналног отпада за град Крагујевац (%)

Категорија отпада	Тип становања								
	Град - индивидуално			Град - колективно			Сеоски		
	Летњи	Зимски	Пролећни	Летњи	Зимски	Пролећни	Летњи	Зимски	Пролећни
Баштенски отпад	1,61	6,43	24,19	13,71	2,77	4,22	33,33	13,2	30,98
Остали биоразградиви отпад	27,96	26,69	19,69	29,34	32,79	23,11	29,06	32,64	23,12
Папир	7,48	6,81	3,72	7,31	6,15	18,83	1,89	5,53	2,11
Стакло	2,26	1,31	5,46	12,42	5,8	2,72	1,3	3,78	2,11
Картон	9,72	11,41	6,73	15,5	8,73	18,23	5,84	6,28	2,28
Картон – восак	0,17	0,3	0,97	0,1	0,87	2,41	0	0,21	0,64
Картон – алуминијум	1,35	0,96	0,28	1,35	1,58	2,05	0,63	0,5	0,58
Метал – амбалажни и остали	1,17	1,9	1,79	0,55	0,81	0,91	1,45	1,59	0,8
Метал – алуминијумске конзерве	0,12	0,05	0,36	0,26	0,66	2,35	0	0,18	0,51
Пластични амбалажни отпад	3,74	3,75	6,07	2,24	7,94	5,67	3,48	4,5	2,99
Пластичне кесе	7,56	11,61	5,74	5,54	13,42	10,02	3,98	5,63	5,23
Тврда пластика	4,22	3,9	4,03	4,33	3,48	2,53	5,22	2,37	3,62
Текстил	8,39	5,11	8,27	1,07	3,95	0,6	2,62	5,73	1,53
Кожа	0	1,18	1,3	0	0	0	1,25	0,82	0,9
Пелене	8,42	3,99	1,35	1,97	5,38	1,27	2,6	2,21	9,91
Фини елементи	15,83	14,6	10,07	4,31	5,67	5,07	7,35	14,83	12,68

У контексту варијација у саставу отпада, везаних за локалитет генерисања отпада, на основу података из табеле 4.3 може се уочити да су у колективном типу становања, у градском сектору и комерцијалној зони, процентуално заступљенији папир, картон, кесе и амбалажни отпад. Ово је, између осталог, последица постојања великог броја продавница и локала који се налазе у овој градској зони, али и одређених социо-економских навика и стандарда становништва из сектора колективног становања. Са друге стране, у сеоском сектору доминантну компоненту чини баштенски отпад, кога процентуално има значајно више него у зонама друга два типа становања и то посебно у летњем и пролећном периоду. Битна разлика се уочава и у процентуалном саставу финих елемената којих има више у отпаду пореклом из сеоског и градског сектора са индивидуалним типом становања, у односу на отпад из градске зоне где преовлађује колективни вид становања. Повећано присуство ових елемената у саставу комуналног отпада је повезано са доминантним начином загревања стамбеног простора у деловима општине који нису у систему даљинског грејања. У овим деловима града, становништво се претежно греје сагоревањем угља или дрва, због чега настају релативно велике количине пепела који се, на жалост, најчешће одлаже у контејнере. Анализом података из сезонских анализа састава комуналног отпада може се уочити да се највеће варијације у процентуалним износима појављују у случају баштенског отпада, кога има највише у пролећном, а најмање у зимском периоду. Такође се, у пролеће, процентуално, појављује више папира у отпаду, а мање пластичних кеса у односу на зимски период.



**Слика 4.4** Морфолошки састав генерисаног комуналног отпада за град Крагујевац

Одређивањем средњих вредности из све три сезонске анализе, добија се просечан састав комуналног чврстог отпада генерисаног на територији општине Крагујевац који је приказан на слици 4.4.

## 5. Методе и софтверска решења за квантификовање еколошко-енергетских и економских перформанси технологија управљања чврстим отпадом

Избор енергетски ефикасног, еколошки прихватљивог и економски одрживог система за управљање комуналним чврстим отпадом представља веома сложен процес и, самим тим, представља значајан изазов који се поставља пред доносиоце одлука, најчешће у оквиру органа локалне самоуправе.

Моделирање управљања отпадом не представља нову идеју. Свеобухватни преглед одговарајућих модела, развијених током друге половине прошлог века дали су (Gottinger, 1988), MacDonald (1996), (Berger и сар., 1999) (Tanskanen, 2000) и (Chang и сар., 2011). Првобитни модели су се првенствено бавили економским ефектима управљања отпадом, да би се тек крајем XX века социјални и еколошки аспекти "изборили" за своје место у оквиру овог сектора. Такође, треба нагласити да је процес рециклаже почео значајније да се укључује у структуру тадашњих модела током 1990-их (Morris, 1991; Smith и сар., 1991; Chang и сар., 1999).

Принципи интегрисаног управљања чврстим отпадом, као и укључења целокупног животног циклуса производа (отпада) су у потпуности усвојени на самом крају прошлог и почетку овог века (ERRA, 1999; Gabola, 1999; Kowalewski и сар., 1999; Clift и сар., 2000; McDougall и сар., 2001; Harrison и сар., 2001). Интегрисано управљање комуналним чврстим отпадом подразумева организацију овог посла на еколошки, технички и економски одржив, као и социјално прихватљив начин (McDougall, 2001).

Утицај јавности који се огледа, пре свега, у односу према депонијама и постројењима за термички третман отпада (Not In My Back Yard - NIMBY, Not Over There Either - NOTE, Locally Unwanted Land Use - LULU и Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything - BANANA) представља све значајнији фактор у политици управљања отпадом и, у складу са тим, постаје и структурални део нових модела.

На почетку XXI века, практично све анализе које се баве унапређењем процеса управљања отпадом, у себи садрже део који се односи на економске аспекте (трошкове процеса и остварену добит путем издвајања енергије или материјала из отпада, итд.), енергетски биланс (инвентар потрошене енергије у самом процесу, као и могућности енергетског искоришћења отпада) и еколошке ефекте (позитивне и негативне) по животну средину. Свакако да овакав комплексан приступ, а који у себи садржи адекватан одговор на захтеве свих пет раније наведених покретача развоја системског управљања отпадом, резултира изналажењем све бољих, ефикаснијих (у економском, енергетском и еколошком смислу) и одрживих стратегија управљања отпадом.

Већина савремених модела развијених у циљу подршке у процесу одлучивања и избора оптималне стратегије управљања отпадом, може се класификовати на следећи начин (Morrissey и Browne, 2004):

- Модели у којима се разматрају проблеми процене односа трошкова и добити у оквиру анализираних система управљања отпадом,
- Модели у којима се разматра утицај стратегије за управљање отпадом на животну средину и на енергетске и материјалне токове,
- Модели вишекритеријумског одлучивања за избор оптималне стратегије управљања отпадом.

Претходна подела је у складу са хронолошким настајањем одређених група метода, тако да приказана класификација има и еволутивни и развојни карактер.

Другу врсту поделе даје (Rogers, 2001): (1) приступи у којима се користе оптимизацијске методе и (2) приступи засновани на коришћењу компромисних метода.

У наставку овог поглавља, детаљније ће бити описане главне карактеристике најзначајнијих и најчешће коришћених метода у процесу одлучивања и избора оптималних технологија управљања отпадом, уз посебно истацање њихових предности и недостатака током анализе и оцењивања алтернативних сценарија.

## 5.1 Методе за процену економских параметара система

У последњих неколико деценија предложен је већи број модела за оцену економских параметара система управљања отпадом. Међу њима, најчешћу примену у пракси имају методе: Процене укупних трошкова (Total Cost Assessment - TCA), Анализе трошкова и добити (Cost Benefit Analysis - CBA) и, у последње време, Трошак животног циклуса (Life Cycle Cost - LCC). Метода LCC има врло сличну структуру као и LCA метода, и пројектована је тако да омогући анализу економских перформанси система, паралелно са реализацијом LCA. С обзиром да представља допуну LCA методе, метода трошкова животног циклуса биће детаљније описана у оквиру одељка 5.2.2.

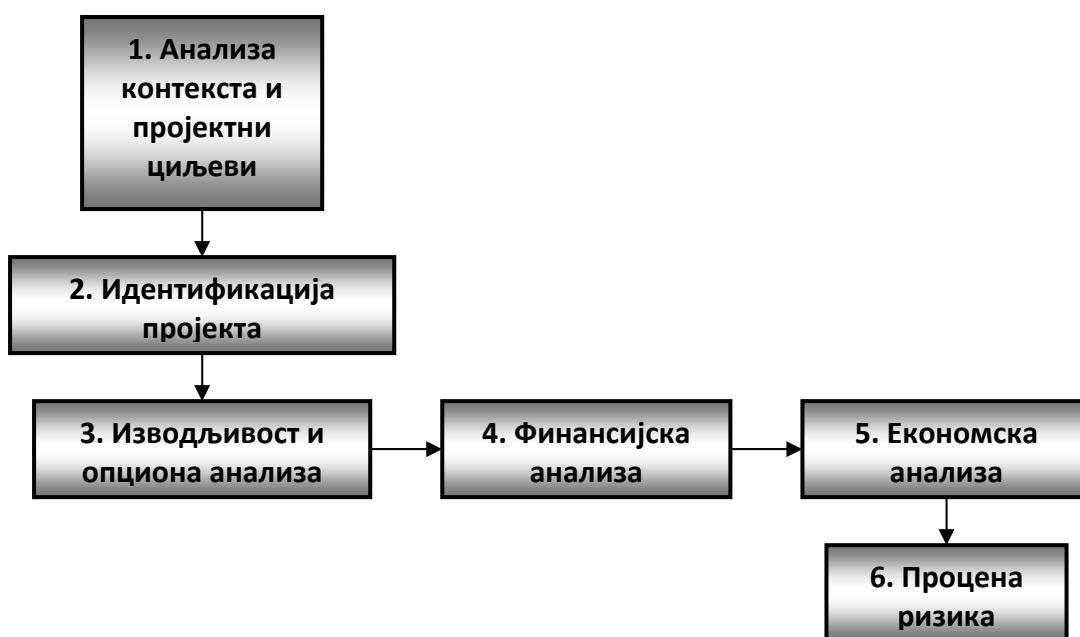
У наредном одељку, представљена је метода CBA. Треба истаћи да је ова метода најчешће коришћена приликом процене економских ефеката рада одређених система управљања отпадом (Pires *et al.*, 2010).

### 5.1.1 Модел анализе трошкова и добити - CBA модел

Основни концепт модела у којем се разматра однос трошкова и финансијских користи постављен је још током деветнаестог века, да би у другој половини двадесетог века доживео свој интензивни развој (Hammond, 1966; Hanley *et al.*, 1993). У циљу реалног сагледавања процеса инвестирања и оцене реализације једног инвестиционог пројекта потребно је, пре свега, утврдити и анализирати укупне ефекте који проистичу из реализације одређене инвестиције. У том контексту, CBA представља модел за доношење инвестиционих одлука које могу утицати на развој одређеног региона или одређене друштвене заједнице. Модел CBA је заснован на аналитичком приступу решавања проблема одређеног избора. У овом моделу прво се дефинишу могуће алтернативе које треба да доведу до највећих користи при најмањим трошковима. Затим се дефинишу критеријуми у смислу којих се оцењују могуће алтернативе.

Предност овог модела, првенствено се састоји у томе што он одговорне чиниоце усмерава ка идентификацији могућих трошкова и ефеката, без ослонца на непоуздане податке и сопствену интуицију (ToI, 2003). Применом овог модела могуће је истовремено, доносити одлуке о начину коришћења ресурса и различитих пројеката. Анализа се често може односити и на инвестиционе пројекте који доносе и значајне индиректне и тешко мерљиве ефекте. У оквиру процеса управљања отпадом, велики део индиректних добити потиче од еколошких користи као што су нпр., очување ресурса подземних вода или ограничење емисија гасова стаклене баште (Karmperis и сар., 2012).

На слици 5.1 приказан је оквир СВА модела (European Commission, 2008) чија реализација обухвата шест корака. Први корак предвиђа анализу друштвено-економског окружења у коме се одређени систем налази и дефинисање пројектних циљева. Други корак захтева јасну идентификацију пројекта, и у оквиру ове фазе потребно је, између осталог, дати и опис животног циклуса пројекта (дизајн – имплементација – функционисање – затварање). Трећи корак обухвата студију изводљивости пројекта (доступност одређених технологија, кадровски капацитети и способности, тржишни аспекти). У четвртном кораку се спроводи финансијска анализа која, најчешће, укључује процене улагања и оперативних трошкова, као и очекиване приходе од пројекта.



Слика 5.1 Основни модел СВА оквира

У оквиру петог корака основног модела СВА, врши се економска анализа. Приликом процене инвестиција, најзначајнији је однос користи и трошкова. Овај однос се може израчунати коришћењем следеће релације (European Commission, 2008; Nahman, 2011; Karmperis и сар., 2012):

$$\frac{B}{C_t} = \frac{PV_{kpe}}{PV_{tne}} \quad (5.1)$$

при чему величина  $B$  представља укупне користи - бенефите,  $C_t$  – укупне трошкове,  $PV_{kpe}$  – укупне садашње вредности користи и позитивних екстерних финансијских утицаја, а  $PV_{tne}$  суму садашњих вредности трошкова и негативних утицаја окружења. Вредност односа  $B/C_t$ , израженог помоћу израза (5.1), мора бити већа од јединице за све економски одрживе пројекте.

Последњи корак СВА модела подразумева процену ризика (Risk Assessment - RA), односно квантификовање вероватноће достизања прихватљивих перформанси изабране опције. Овај део подразумева и спровођење анализе осетљивости у циљу идентификације евентуалних критичних променљивих.

Поштовање аксиома рационалног понашања, у погледу процене друштвених користи одређених инвестиционих пројеката, представља основну снагу и предност СВА моделирања (ToI, 2003). Поред тога, овај модел, , карактеришу и друге позитивне особине:

- Директни и индиректни дугорочни утицаји (било да су позитивни или негативни) узимају се збирно у обзир,
- Кроз свеобухватну процену ризика могу се предузети мере за смањивање неизвесности везане за одређене перформансе пројекта,
- СВА модели омогућавају идентификацију и евалуацију различитих испитиваних опција за реализацију пројекта,
- СВА модели, кроз финансијску и економску анализу, испитују перформансе пројекта и са аспекта реализатора пројекта, као и у смислу друштвеног интереса.

Истовремено, СВА модели имају и своје одређене слабости, и то:

- Вредновање нетржишних вредности може представљати компликован задатак (пример естетског утицаја на околни пејзаж или утицај на дивље животиње),
- Свеобухватни СВА модел за конкретан систем управљања чврстим отпадом може бити временски ограничен,
- Вредности променљивих коришћених током финансијско-економске анализе могу имати висок степен непредвидивости услед разних промена током животног циклуса,
- Фокусирање на економску ефикасност, често, у други план ставља еколошке и социјалне аспекте.

Потребно је истаћи да основни недостатак модела заснованог на СВА оквиру представља и усвојена дисконтна стопа, а самим тим и одлука којом се финансијски оптерећују будуће генерације, без њихове сагласности. Други недостатак ове анализе може да представља и ниво на коме се она спроводи. Другим речима, ниво реализације модела треба да буде довољно јасан како би се еколошке користи и трошкови изразили са највећом могућом тачношћу.

## 5.2 Методе за процену утицаја на животну средину и анализу енергетских и материјалних токова

За процену утицаја одређених система и процеса на животну средину, као и за потребе анализе одговарајућих енергетских и материјалних токова, развијен је велики број различитих метода, међу којима посебно треба поменути:

- Оцењивање животног циклуса, (Life Cycle Assessment - LCA);
- Метод процене утицаја на животну средину, (Environmental Impact Assessment - EIA);
- Метод процене ризика по животну средину, (Environmental Risk Assessment - ERA);
- Метод анализе материјалних и енергетских токова, (Material and Energy Flow Analysis - MEFA) и
- Метод стратешке процене утицаја на животну средину, (Strategic Environmental Assessment - SEA).

Приступ процене или оцењивања животног циклуса заузео је, током последњих деценија, значајно место у области управљања комуналним чврстим отпадом. У циљу смањења негативног утицаја отпада на животну средину и здравље становништва, кроз промоцију ефикасног и одрживог коришћења природних ресурса, Европска Унија је крајем 2005. године донела документ под називом *"Тематска стратегија превенције и рециклаже отпада"* (European Commission, 2005) у оквиру које је наглашена и потреба за увођењем новог аналитичког инструмента за доношење одлука у политици управљања отпадом, као што је Оцењивање животног циклуса – LCA.

Од свих горе наведених метода, према обиму примене и броју публикованих стручних радова, LCA метода заузима водеће место, а нарочито у сектору управљања комуналним отпадом. Стога ће у наредном одељку ова метода бити детаљније описана. Метода Трошкова животног циклуса (LCC), која припада методама за квантификацију економских параметара, представља проширење LCA методе. Због истовестности структуре и начина функционисања, у наредном одељку дат је краћи опис и ове методе.

### 5.2.1 Метода Оцењивања животног циклуса (LCA)

Оцењивање животног циклуса је метод за анализу и квантификацију могућих утицаја производа на животну средину, током целокупног животног века производа, односно од екстракције сировина, преко производње и употребе и поступања на крају животног века производа, рециклирања и коначног одлагања (ISO 14040:2006, SRPS ISO 14040:2008). Оно што ову методу издваја од осталих је њен јединствени концепт "од колевке до гроба" (from cradle to grave, енг.) односно праћење утицаја током целокупног животног циклуса производа. Сам концепт праћења производа током целокупног животног циклуса није новијег датума. Међутим, заинтересованост за LCA анализу се у значајнијем обиму јавља тек крајем деведесетих година прошлог века, и то тек након

хармонизације и стандардизације овог поступка. Деведесетих година се усваја први приручник за спровођење LCA анализе (Consoli и сар., 1993), а убрзо након тога штампају се и побољшана упутства за реализацију ове методе (Guinée и сар., 2001; European Commission, 2009). Данас, као што је већ наглашено, Оцењивање животног циклуса представља метод који је регулисан међународним и домаћим стандардом (ISO 14040:2006, SRPS ISO 14040: 2008) и представља неопходан алат многих компанија, али и владиних агенција приликом процене утицаја производа, технолошких процеса и одређених прописа који регулишу област заштите животне средине. Примена LCA алата, не гарантује сама по себи избор опције која је "еколошки супериорна", али ће, правилном применом адекватне процедуре одлучивања, омогућити компромисну везу са сваком од процењиваних опција.

Према стандарду (ISO 14044:2006, SRPS ISO 14044:2009), поступак спровођења LCA анализе се изводи у четири фазе :

1. **Дефинисање циља и обима анализе** (ISO 14041:1998, SRPS ISO 14041:2002). У оквиру ове фазе врши се дефинисање циља, предмета и подручја примене у којој се врши избор метода и поступака анализе као и одређивање дубине и ширине предвиђене анализе и намераване употребе резултата истраживања.
2. **Анализа инвентара животног циклуса** (ISO 14041:1998, SRPS ISO 14041:2002). Фаза анализе инвентара животног циклуса LCI (Life Cycle Inventory) се односи на прикупљање улазних и излазних материјалних и енергетских параметара посматраног производног система, као и појединачних емисија у воду, ваздух и као чврсти отпад.
3. **Оцењивање утицаја животног циклуса** (ISO 14042:1999, SRPS ISO 14042:2005). У трећој фази сваке LCA студије, познате као LCIA (Life Cycle Impact Assessment) врши се обезбеђивање додатних информација које треба да помогну у оцењивању резултата претходне LCI фазе система производа, како би се боље разумео његов значај са аспекта заштите животне средине.
4. **Интерпретација животног циклуса** (ISO 14043:1999, SRPS ISO 14043:2005). Овај део (Life Cycle Interpretation) представља завршну фазу сваке LCA анализе, у којој се резултати LCI и/или LCIA сумирају и разматрају као основа за одговарајуће закључке, препоруке и доношење одлука у складу са дефиницијом циља, предмета и подручја примене.

**Дефинисање циља и обима анализе** је основа сваког LCA истраживања, и том приликом је потребно да се одреде (McDougal и сар., 2001):

- функционална јединица,
- систем производа,
- границе система,
- алокација процедуре,
- тип индикатора,
- методологија оцењивања животног циклуса,
- интерпретација животног циклуса,



- листа података, квалитет података, претпоставке, ограничења,
- тип критичке оцене,
- форма захтева извештаја студије.

Функционална јединица представља квантитативно изражавање функција система. Сви материјални и енергетски токови и сви ефекти који потичу од ових токова се исказују у односу на функционалну јединицу (SRPS ISO 14040:2008).

У оквиру **инвентарисања животног циклуса**, односно, LCI фазе, приступа се прикупљању података о релевантним улазима и излазима сваког појединачног процеса који, заједно, чине животни ланац производа или процеса који се анализира. Подаци који се прикупљају током ове фазе укључују улазне параметре, као што су вредности улаза енергије и сировина, итд. Са друге стране сакупљају се излазни подаци о добијеним производима, отпаду, као и емисијама у ваздух, воду и земљиште. Фаза анализе инвентара животног циклуса се састоји из следећих корака:

- припрема за прикупљање података,
- прикупљање података,
- поступак обрачуна,
- расподела – алокација.

Доступност података за успостављање инвентара је предуслов за спровођење целокупне LCA анализе. Иако постоји велики број националних и међународних пројеката који представљају значајан извор информација за израду LCA студија, ипак, евидентан је недостатак једне опште, јавно доступне базе података.

**Трећа фаза** сваке LCA студије, **Оцењивање утицаја животног циклуса**, позната је као **LCIA**, а реализује се кроз успостављање релација улазних и излазних параметара са утицајима на животну средину. Оцењивање утицаја се врши у два корака:

- организовање и класификовање улазних и излазних података LCI у специфичне категорије и
- сврставање улаза и излаза за сваку категорију на основу индикатора.

Избор категорија утицаја (потенцијал глобалног загревања, ацидификација, еутрофикација, итд.) спроводи се на основу постављеног циља и предмета LCA студије.

Због великог броја података, резултати инвентарисања често нису погодни за извођење непосредних закључака о утицају испитиваног производа на животну средину. Зато се у оквиру ове фазе примењује нека од метода за вредновање величине и значаја утицаја система производа на еколошки систем.

Процена значаја потенцијалних ефеката на животну средину коришћењем резултата анализе инвентара врши се у неколико следећих корака:

- избор и дефинисање категорије утицаја, индикатора и модела,
- класификација утицаја,
- карактеризација,

- нормализација података,
- агрегација и/или тежинско одмеравање података.

LCIA фаза обезбеђује информације за завршну фазу интерпретације. Такође, пружа свеобухватни преглед проблематике утицаја производа или услуга на животну средину и ресурсе. У овом кораку, резултати LCI фазе разврставају се у специфично селектоване категорије утицаја. Категорије утицаја се користе за специфичне резултате који су у вези са питањима животне средине.

Четврта фаза LCA анализе, **интерпретација животног циклуса** је системски поступак за идентификацију, проверу, квалификовање и оцењивање информација добијених на основу резултата анализе инвентара животног циклуса и/или оцењивања утицаја животног циклуса система производа. Фаза интерпретације треба да донесе резултате који су конзистентни са дефинисаним циљем и предметом, и који продукују одговарајуће закључке, објашњавају ограничења и обезбеђују препоруке за доносиоце одлука.

### 5.2.1.1 Предности и ограничења

Предности LCA методе у односу на друге методе су следеће (Karrperis и сар., 2013):

- Свеобухватни приступ овог инструмента. Унутар граница система евидентирају се сви улази, излази и емисије у свим фазама и операцијама животног циклуса. Инвентаризацијом су обухваћени, не само директни улази и емисије које потичу од производње, дистрибуције, употребе и одлагања, већ и индиректни улази и емисије (нпр. од иницијалне производње енергије која се користи у процесу),
- Имплицира дугорочне користи у погледу заштите животне средине (нпр., увођење опције рециклаже отпада уместо депоновања),
- Приступ омогућава, истовремено, унапређење у погледу заштите животне средине, као и економске користи (нпр. сакупљање и искоришћење депонијског гаса, третман органског отпада и одговарајући производи),
- Могућност квантификације великог броја емисија у земљу, ваздух и воду,
- Сви ефекти на људе и екосистеме могу да се процене и евалуирају,
- Могућност идентификације и поређења алтернативних сценарија, као и избора оптималне опције у контексту вишекритеријумског одлучивања.

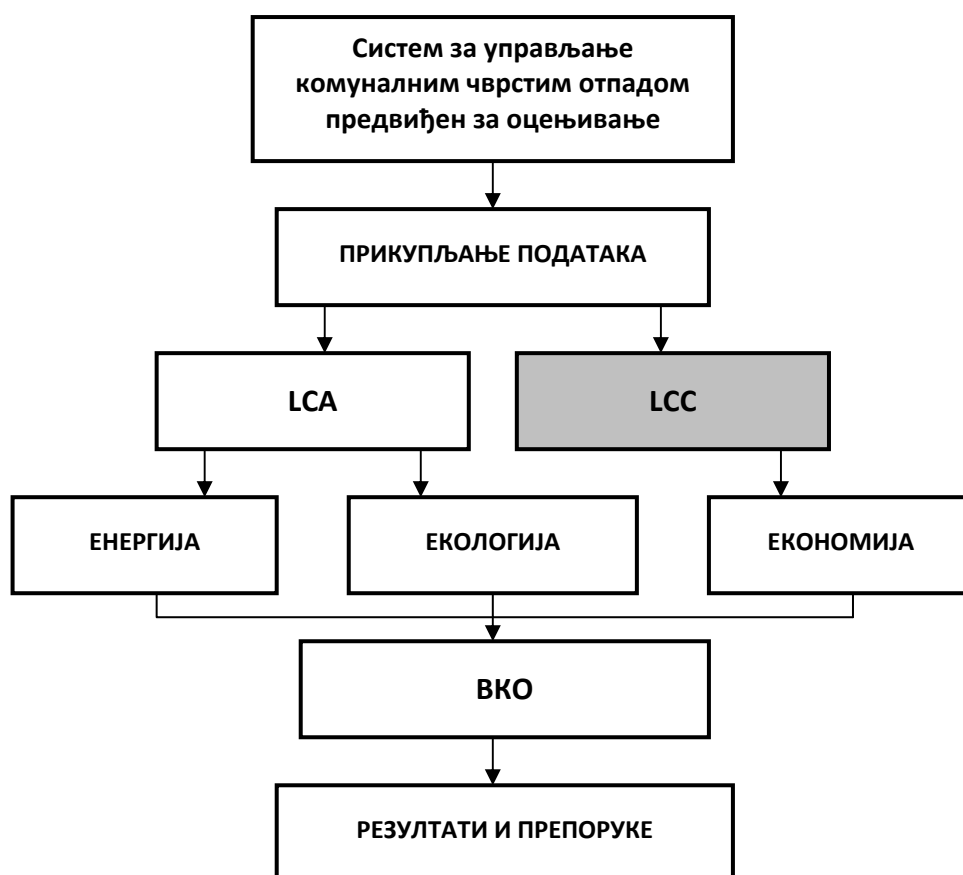
Са друге стране, метода Оцењивања животног циклуса у себи садржи и одређени број ограничења и недостатака, и то (Karrperis и сар., 2013):

- Развој свеобухватног модела LCA представља дуготрајан и сложен процес,
- Постоје одговарајућа ограничења LCA модела у погледу дефинисања и конципирања сценарија,
- Претпоставке донете у оквиру LCA моделирања могу бити у одређеној мери субјективне, а често и релативно произвољне (гранични услови, извори података, критеријуми оцењивања),

- Немогућност вредновања економских и социјалних аспеката,
- Могућност добијања дивергентних и конфликтних резултата.
- Квалитет података има значајан утицај на поузданост резултата.

### 5.2.2 Модел трошкова животног циклуса - LCC

Модел за процену трошкова животног циклуса (LCC) настао је као логична последица одређених недостатака и слабости LCA. Немогућност валоризације економских показатеља био је основни мотив појаве и развоја једног оваквог модела, који у комбинацији са LCA покрива готово све аспекте функционисања неког система.



**Слика 5.2** Позиција LCC методе у оквиру 3E анализе модела система управљања отпадом

Између LCA и LCC приступа постоје сличности, али и одређене разлике (Norris и сар, 2001), тако да за усклађивање ове две методе, посебно у сегменту упоредивости и функционалности резултата, неопходна је:

- 1) подударност временског оквира – хоризонта,
- 2) идентична функционална јединица,

- 3) исти метод алокације (преусмеравања ресурса) мора бити примењен на обе методе.

У контексту процеса доношења одлуке, на слици 5.2, приказано је место LCC методе у оквиру 3E анализе одабраног система управљања отпадом (Dong и сар., 2014).

Претходна илустрација показује да се, кроз развој и примену LCC методе, као алата који је компатибилан са методом процене животног циклуса, практично, отвара могућност реализације вишекритеријумског приступа одлучивања.

### 5.2.3 LCA и управљање отпадом

Отпад представља неизбежан "производ" друштва. Пракса управљања отпадом првенствено се заснива на избегавању негативног утицаја отпада на јавно здравље. Ипак, уважавањем чињенице да отпад представља ресурс различитих материјала, од друштвене заједнице се очекује да отпадом управља на крајње ефикасан и одржив начин.

Имајући у виду релативно широк спектар тренутно расположивих опција управљања комуналним чврстим отпадом, пред доносиоце одлука се поставља проблем комплексног избора најпогодније алтернативе, која би била одржива за примену, и у складу са могућностима конкретне заједнице. Одговоре на бројне дилеме, поштујући одговарајуће економске и техничке параметре, треба потражити узимајући у обзир и емисије које одређене технологије продукују, као и потрошњу ресурса која је са овим процесима повезана.

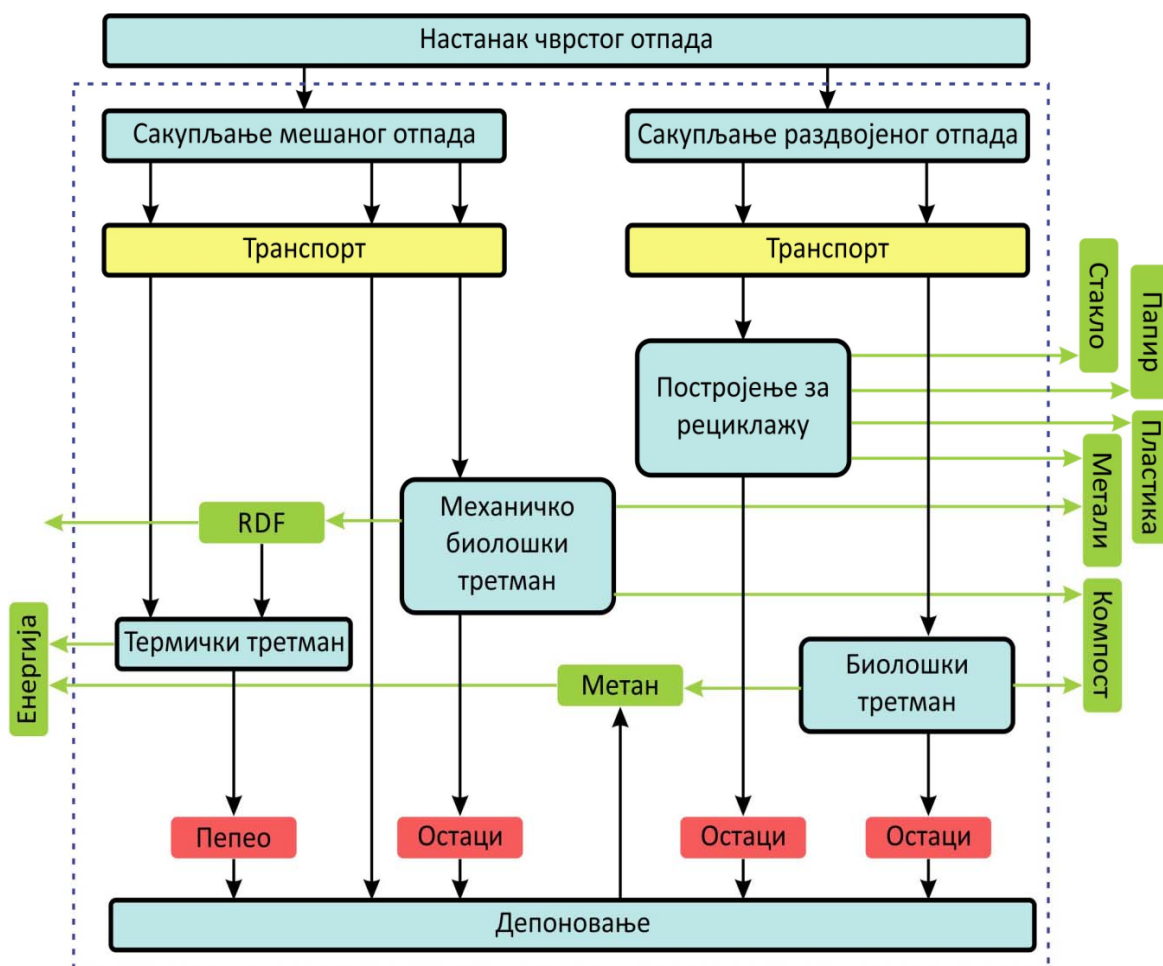
Студија LCA се може користити у сврху упоређивања утицаја на животну средину разних алтернативних начина третмана отпада, и помоћу ње се могу идентификовати кључни делови система где су могућа одговарајућа побољшања.

Одрживо управљање ресурсима подразумева уважавање проблематике и специфичности које карактеришу отпад, и тај приступ захтева увођење принципа "размишљања о животном циклусу" (Life Cycle Thinking – LCT). Стратегија превенције и рециклаже отпада подразумева да је прихватање "размишљања о животном циклусу" отпада од суштинског значаја за одрживо управљање отпадом.

Размишљање о животном циклусу отпада, током процеса доношења одлука о одређеној технологији везаној за интегрисано управљање комуналним чврстим отпадом, од суштинског је значаја. Овде се, пре свега, мисли на избегавање ненамерног пребацивања оптерећења између различитих врста утицаја на друштво и животну средину, између различитих региона, као и између различитих фаза животног циклуса. Ово се може постићи коришћењем LCA методологије, како у контексту квантификације утицаја, тако и при упоређивању различитих стратегија (алтернатива) управљања комуналним чврстим отпадом.

Животни циклус отпада почиње када се производ одбаци, а завршава када се отпадни материјал деградира, или када бива враћен у технолошки систем кроз рециклажу и замену других производа. Један од могућих шематских приказа животног циклуса отпада представљен је на слици 5.3 (Abeliotis, 2011).

Циљ инвентара животног циклуса комуналног чврстог отпада је што тачнија предикција оптерећења животне средине, која се јавља као последица утицаја система интегрисаног управљања чврстим отпадом, а који би требао да буде одржив по животну средину, економски и друштвено прихватљив.

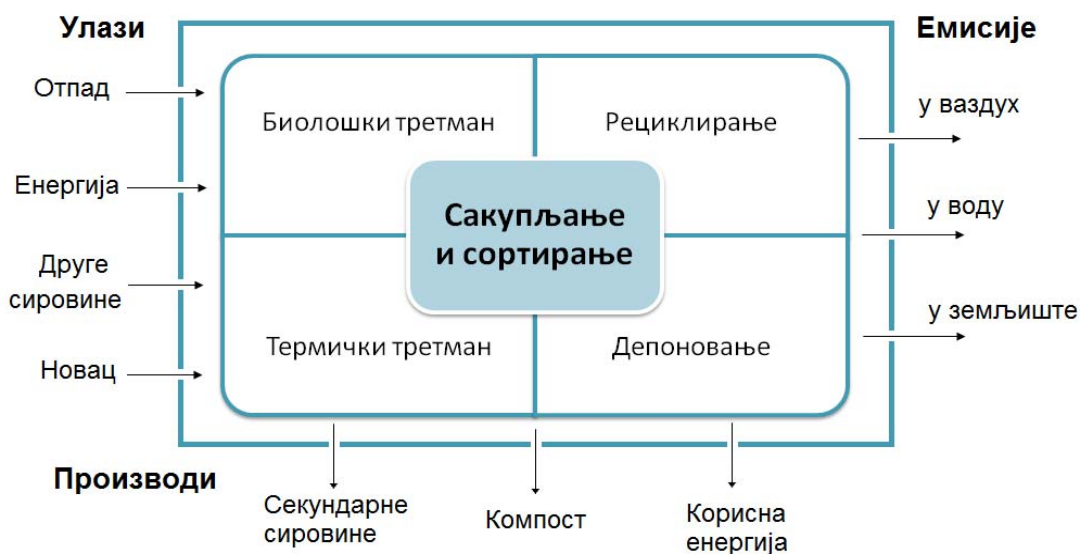


Слика 5.3 Животни циклус чврстог комуналног отпада

Приликом израде LCA студија за комунални чврсти отпад, функционална јединица се везује за количину генерисаног отпада из домаћинства и комерцијалног сектора, са одређеног подручја које је обухваћено истраживањем. Географско подручје и производња отпада се дефинишу на основу бројности и карактеристика популације. У складу са улазним подацима о отпаду, за дату област, произилазе резултати чијом анализом се оцењују еколошко-енергетски трошкови различитих система управљања отпадом.

Кључне разлике између LCA студије за производ и LCA студије за чврсти отпад су везане за избор функционалне јединице, за начин коришћења, као и у потенцијалним корисницима.

Одређивање граница система за животни циклус комуналног чврстог отпада представља сложен и захтеван процес, који је директно повезан са циљем и предметом LCA анализе.



Слика 5.4 Границе система за оцењивање животног циклуса чврстог отпада

Као основни задатак LCA анализе поставља се питање почетка животног циклуса чврстог отпада. Почетни корак представља тренутак када корисник одбацује материјал или производ као отпад, односно када процени да он више нема захтевану употребну вредност. За отпад из домаћинства под почетном тачком се обично подразумева отпад одбачен у посуду (канту, кесу) за сакупљање смећа. На сам ток отпада значајан утицај имају редукција отпада на извору, минимизација отпада и неки други процеси, који за циљ имају унапређење система животне средине.

Коначна тачка у животног циклусу комуналног чврстог отпада подразумева његов финални третман и/или одлагање у неки сегмент животне средине. Тако на пример, инсинерација и депонување треба да представљају два начина коначног одлагања отпада. Међутим, са становишта животног века отпада, треба нагласити да инсинерација захтева одлагање остатака из процеса сагоревања, најчешће кроз процес депонувања. Са друге стране, депонување чврстог отпада није коначно "одлагалиште" за гасовите и течне емисије (депонијски гас и процедурне воде).

Отпад може да добије нову вредност у форми компоста (кроз процес компостирања), секундарних материјала, горива (RDF) или као енергент кроз процес термичког третмана. Дефинисање тачке у којој отпад престаје да буде отпад и добија одређену употребну вредност је од великог значаја за процес LCA. Опште границе система за интегрисани систем управљања отпадом шематски су приказане на слици 5.4 (McDougal и сар., 2008).

Проблематика коришћења енергије у оквиру система управљања чврстим отпадом захтева посебна разматрања. Улаз у систем представља и гориво које је потребно за транспорт отпада (бензин, дизел, гас), али и електричну енергију која се користи у

постројењима за прераду отпада. LCA студије управљања отпадом укључују и оптерећења животне средине насталих као последица потрошње ресурса и емисија, које потичу од производње енергије која се користи у систему управљања отпадом.

Економски улази у систем управљања чврстим отпадом обухватају следеће врсте трошкова:

- Трошкови сакупљања отпада,
- Трошкови сортирања,
- Трошкови разних опција третмана,
- Трошкови транспорта и
- Трошкови коначног одлагања на депоније.

Са друге стране, евидентирају се приходи система који могу да се остваре од продаје рециклабилних материјала, компоста и енергије. Одузимањем прихода од трошкова добија се износ нето трошкова рада система.

### 5.3 Вишекритеријумско одлучивање (ВКО)

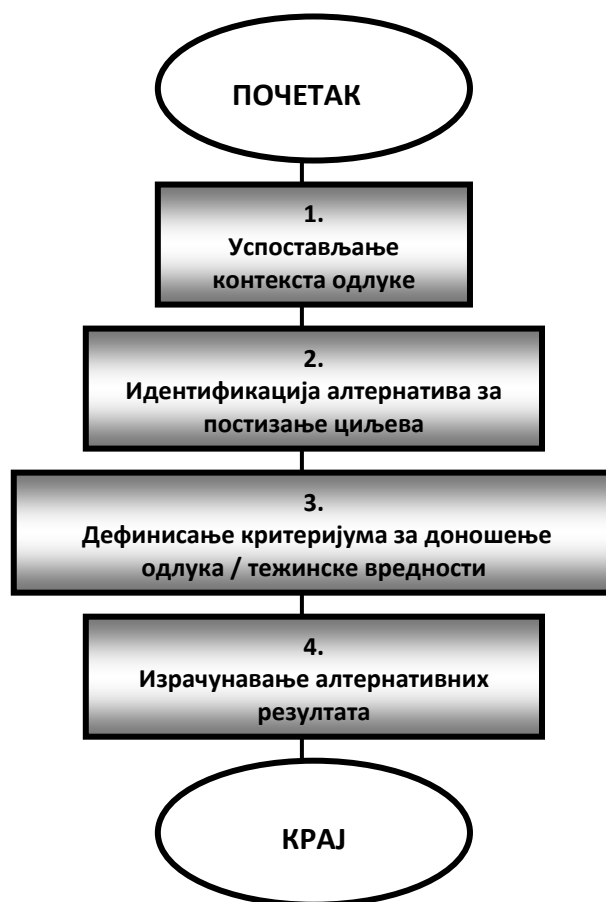
Одлучивање је процес који има своју дефинисану структуру и свој поступак. Одлука представља финални резултат процеса одлучивања која се у складу са структуром самог процеса доноси, спроводи, контролише и коригује. Процес одлучивања у теорији менаџмента се разматра као део процеса решавања одређеног проблема. Многи аутори теорије менаџмента сматрају да је одлучивање један од најважнијих задатака, како на стратегијском, тако и на оперативном нивоу.

Вишекритеријумско одлучивање (ВКО), представља релативно нову дисциплину која, кроз свој развој, треба да пружи подршку доносиоцима одлука који се, у највећем броју случајева, суочавају са веома бројним и, веома често, опречним утицајним факторима и интересним групама. Овај алат припада области теорије одлучивања у оквиру које је интегрисан велики број дисциплина: математика, статистика, економија, психологија, социологија, филозофија, организационе науке, информатичке технологије и др. Кратак преглед историјског развоја ове методе (Costa и Piriot, 1997) открива чињеницу да је појам вишекритеријумског доношења одлука (MCDM - Multi-Criteria Decision-Making) први пут, током 1972., године уведен у науку о менаџменту у Сједињеним Америчким Државама. Европску "верзију" ове методе представља анализа мултикритеријумског одлучивања (MCDA - Multi-Criteria Decision-Analysis). Ове методе, имају за циљ да се, у оквиру транспарентног процеса, дође до оптималног и компромисног решења и да се максимално побољша квалитет одлука које укључују задовољење више критеријума да би, на крају, избор био што експлицитнији, рационалнији и ефикаснији.

Заједничка карактеристика свих MCDM(A) приступа је у усвајању неколико појединачних и често супротстављених критеријума што, кроз мултидимензионални начин, доводи до снажније подржане одлуке у односу на неке једнодимензионалне процедуре (CBA). Базични приступ подразумева идентификацију одређеног броја алтернатива (као што су различити сценарији управљања отпадом), затим оцењивање

у складу са усвојеним критеријумима који су важни за модел, и дефинитивно, рангирање опционих решења. Основни циљ представља креирање структуре процеса који доводи до дефинисања циљева, формирања алтернатива и поређење различитих перспектива уз селекцију прихватљивих у односу на неприхватљиве могућности (Marttunen, 2011).

Процес одлучивања у теорији менаџмента се разматра као део процеса решавања одређеног проблема. Многи аутори теорије менаџмента сматрају да је одлучивање један од најважнијих задатака како на стратегијском тако и на оперативном нивоу.



Слика 5.5 Основни модел ВКО (MCDM) оквира

Процес одлучивања се реализује по фазама које су приказане на слици 5.5 (Mourits, и сар., 2006). У ширем смислу, процес одлучивања обухвата све фазе процеса одлучивања које су приказане на слици 5.5. У ужем смислу, под одлучивањем се подразумева оцена и избор најбоље алтернативе из скупа допустивих алтернатива.

У оквиру првог корака, неопходно је јасно дефинисање обима и главних циљева у смислу успостављања контекста одлуке. Ови циљеви морају бити специфични, реални и мерљиви ради идентификације свих могућих и одрживих опција њихове реализације. Друга фаза у реализацији овог типа модела управо захтева идентификацију свих могућих алтернатива за постизање прокламованих циљева. У трећем кораку, доносиоци одлука дефинишу критеријуме за оцењивање перформанси које



одражавају степен реализације циљева. У оквиру ове фазе додељују се и тежински коефицијенти и дефинишу евентуални приоритети међу критеријумима. Последња фаза спровођења ВКО процедуре, подразумева оцењивање и рангирање разматраних опција, а у циљу оптималног или компромисног избора.

Међу групама критеријума, који у оквиру ове методе најчешће користе, су економски, еколошки и енергетски критеријуми. У последње време у бројним анализама све чешће се уводе и различити социолошки и правно регулативни критеријуми (Ehrgott и сар., 2010).

Као коначни резултат процеса ВКО, најчешће се наводе три типа задатака (Bernardini и сар., 2007):

- добијање једног оптималног решења – вишекритеријумска оптимизација,
- рангирање добијених решења - алтернатива,
- издвајање скупа прихватљивих, од скупа неприхватљивих алтернатива.

Код уобичајеног ВКО приступа, посматра се коначан скуп алтернатива (опција, потенцијалних решења)  $A_i \in A$ . Свако алтернативно решење се може вредновати са аспекта више критеријума (атрибута),  $C_j \in C$ . Алтернативе ( $A_i$ ) и критеријуми ( $C_j$ ) и њихови међусобни односи се могу представити у облику матричне табеле или такозване **матрице одлуке** (табела 5.1).

**Табела 5.1** Приказ повезаности алтернатива и критеријума - **матрица одлуке**

		Критеријуми					
		$C_1(W_1)$	$C_2(W_2)$	...	$C_j(W_j)$	...	$C_n(W_n)$
Алтернативе (сценарија)	$A_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1j}$	...	$x_{1n}$
	$A_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2j}$	...	$x_{2n}$
	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	$A_i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{in}$
	⋮	⋮	⋮	...	⋮	...	⋮
	$A_m$	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mj}$	...	$x_{mn}$
	max/min	max	max	...	min	...	min

Сваки од критеријума ( $C_j$ ) може бити максимизационог (max) или минимизационог (min) типа у складу са природом величине коју карактерише. У табели 5.1, величина  $x_{ij}$  представља вредност  $i$ -те алтернативе у односу на  $j$ -ти критеријум, а  $W_j$  је тежински коефицијент  $j$ -тог критеријума. На основу карактера критеријума, вредности алтернатива према критеријумима,  $x_{ij}$ , су представљене нумерички, или одређеним квантитативно-квалитативним лингвистичким исказима. Сваки од критеријума нема подједнаку важност за доносиоце одлука, па се њихов значај представља тежинским коефицијентом -  $W_j$ . Ови коефицијенти имају своје апсолутне (рејтинзи) и релативне

вредности (тежински коефицијенти). У овом сегменту поступка ВКО, приликом одређивања рејтинга појединих критеријума, долази до значајног утицаја појединачног или групног субјективизма доносилаца одређених одлука. Потребно је, пре свега ради унапређења квалитета анализе, тај субјективизам свести на најмању могућу меру.

У последњој фази сваке процедуре ВКО, може се испитивати стабилност решења (избора једне или више алтернатива) на промене улазних података, али и на промене релативних тежинских коефицијената критеријума. Уколико се поредак алтернатива не мења, закључује се да су резултати робусни и поуздани. Анализа осетљивости се често користи у циљу додатног поређења алтернатива, које су веома блиско рангиране. Такође, ова врста додатних анализа, може допринети решавању одређених "конфликата" између појединих доносилаца одлука (Eghali, 2002). Додељивање тежинских коефицијената може бити један од најспорнијих сегмената вишекритеријумских метода, што се превазилази варијацијом тих фактора.

У пракси се, при решавању вишекритеријумских проблема, релативно често користи више различитих метода анализе, како би се и на тај начин, испитала осетљивост резултата и обезбедила контрола конзистентности одлучивања.

### 5.3.1 Методе вишекритеријумског одлучивања

Литерарно најчешће навођена подела поступака ВКО предвиђа постојање две основне групе ових метода (Yoon, 1980; Polatidis и сар., 2006; Kaplan, 2006; Chai и сар., 2013):

- Методе више-атрибутског одлучивања (MADM - Multiple Attribute Decision Making), које подразумевају избор најприхватљивије алтернативе на основу постављених критеријума. Ове методе се даље могу поделити на *методе корисности* (utility methods, енг.), *методе рангирања* (outranking methods) и *методе компромиса*. Ове методе се користе приликом избора једне алтернативе из ограниченог броја алтернатива.
- Методе вишециљног одлучивања (MODM - Multiple Objective Decision Making), код којих се употребом одређеног математичког апарата, скуп више функција циља преводи у проблем једнокритеријумског одлучивања. Овај тип метода се користи при решавању проблема са веома великим или бесконачним бројем алтернатива и као резултат, уместо једног, даје скуп најбољих опционих решења.

Ова класификација MCDM проблема је направљена са аспекта начина решавања проблема. Основна разлика између MADM и MODM проблема дефинише се на следећи начин: MADM проблеми су постављени као проблеми избора најбоље алтернативе из скупа расположивих алтернатива а MODM проблеми су проблеми планирања.

Chen и Hwang (1991), дају поделу метода ВКО на:

- методе без информација о атрибутима (max-min, max-max, Hurwicz-ова метода)
- методе за које су потребне информације о атрибутима (конјунктивна, дисјунктивна, адитивна, TOPSIS, AHP, ELECTRE, PROMETHEE)

Са друге стране, на основу типа података који се користе, ове методе се могу поделити на детерминистичке и недетерминистичке MCDM методе (Karmpiris и сар., 2013).

У даљем тексту, биће детаљније описане неке од напред наведених метода.

Код **max-min методе** квалитет одређене алтернативе се одређује само на основу њене вредности по критеријуму по коме је најлошије оцењена. Ово се може упоредити са познатим примером ланца и карике, где јачина неког ланца у потпуности зависи од јачине његове најслабије карике. Као најбоља, из групе анализираних алтернатива, бира се опција која има највећу вредност "најлошијег" атрибута, односно ону која је "најмање лоша". У првом кораку се траже минималне вредности по врстама табеле 5.1, а затим се из тако добијене колоне тражи максимум. Алтернатива којој припада добијени максимум ( $A^*$ ) представља оптимално решење добијено применом ове методе:

$$A^* = \{ A_i | \max_i \min_j r_{ij} \} \quad (5.2)$$

Нормализација атрибута олакшава рачунске проблеме који се могу јавити због различитих мерних јединица у оквиру елемената матрице одлуке.

*Линеарна нормализација* вредности  $x_{ij}$  у  $r_{ij}$  се може спровести на два начина :

- Начин 1. (а) за **max** критеријуме:  $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^{\max}}$ ,  $x_j^{\max} = \max_i x_{ij}$ , (5.3)

(б) за **min** критеријуме:  $r_{ij} = \frac{x_j^{\min}}{x_{ij}}$ ,  $x_j^{\min} = \min_i x_{ij}$ . (5.4)

- Начин 2. (а) за **max** критеријуме:  $r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$ , (5.5)

(б) за **min** критеријуме:  $r_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$ . (5.6)

Оба наведена начина за нормализацију података своде вредности алтернатива по критеријумима између нуле и јединице.

Max-min методу, обично, користи доносилац одлуке који се понаша "песимистички" у процесу доношења одлуке. Њен основни недостатак представља чињеница, да ова метода процес ВКО своди на поређење по само једном критеријуму. Поред тога, значајна мана ове методе је изостанак утицаја тежинских коефицијената критеријума.

**Max-max метода**, за разлику од претходне, квалитет одређене алтернативе одређује само на основу њене вредности према атрибуту (критеријуму) по коме има најбољу оцену. Ово подразумева да се прво траже максимуми по врстама табеле 5.1, а затим се у тако добијеној колони поново тражи максимална вредност. Алтернатива којој

одговара детектовани максимум ( $A^*$ ), представља оптимално решење из сета разматраних опција.

$$A^* = \{ A_i \mid \max_i \max_j r_{ij} \} \quad (5.7)$$

Поступак нормализације вредности  $x_{ij}$  из полазне матрице (табела 5.1) се врши на начине који су наведени код max-min методе и супротно њој, има тзв "оптимистички" приступ (посматра вредност алтернативе само на основу критеријума по коме је супериорна у односу на остале). Обзиром да имају практично идентичну процедуру и ова метода има сличне недостатке као и претходна.

**Hurwicz-ов** метод представља комбинацију max-max и max-min метода. Основна идеја ове методе је истовремени песимистички и оптимистички приступ разматрања проблема. Идеално решење проистиче на основу следећег записа:

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max_i \left[ \alpha_{po} \min_j r_{ij} + (1 - \alpha_{po}) \max_j r_{ij} \right] \right\} \quad (5.8)$$

где  $\alpha_{po}$  представља коефицијент песимизма – оптимизма,  $0 \leq \alpha_{po} \leq 1$ . Кроз увођење и дефинисање вредности овог тежинског коефицијента, одређује се у којој мери ће процедура избора имати "песимистички" а у којој "оптимистички" карактер. За случај да коефицијент  $\alpha$  има вредност 1, спроводи се практично max-min метода а када је  $\alpha = 0$ , Hurwicz-ов приступ се своди на max-max методу.

**SAW** (Simple Additive Weighting Method) метода, или метода адитивних тежинских фактора (Fishburn, 1967) представља једну од најпознатијих, релативно једноставних и најшире коришћених поступака, која даје сличне резултате као и знатно комплексније методе вишекритеријумског одлучивања. Овај поступак за разлику од претходно описаних, узима у обзир тежинске коефицијенте критеријума. Сваком од критеријума, потребно је придружити тежински фактор (пондер) који додељује директно доносилац одлуке, или се добија применом неке од познатих метода за одређивање тежинских коефицијената критеријума. За сваку од разматраних алтернатива рачуна се збирна карактеристика, односно вредност суме производа релативних тежинских фактора и нормализованих вредности перформанси по свим критеријумима. Алтернатива са највећом вредношћу, представља најбоље од понуђених решења:

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^n W_j' r_{ij} \right\} \quad (5.9)$$

$W_j'$  представља нормализовану вредност тежинског коефицијента  $W_j$ :

$$W_j' = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (5.10)$$

Вредности  $r_{ij}$  се добијају на један од два начина, већ поменутог поступка линеарне нормализације. Примена SAW методе подразумева приступ вишеатрибутског одлучивања у оквиру кога припада подгрупи *метода корисности*.

**Конјуктивна** метода предвиђа да доносилац одлуке мора, пре свега, да одреди минималне вредности свих атрибута, односно, тзв., "доњу границу прихватљивости"  $X_j^*$ , за сваки од критеријума  $j \in C$ . У скуп одабраних алтернатива, према овој методи, укључујемо оне опције које, по свим критеријумима, задовољавају задату доњу границу прихватљивости, односно:

$$X_{ij} \geq X_j^*, j=1, 2, \dots, n \text{ за критеријуме типа max,}$$

$$X_{ij} \leq X_j^*, j=1, 2, \dots, n \text{ за критеријуме типа min.}$$

Ова метода, као резултат, најчешће издваја скуп алтернатива, без изразито лоших карактеристика ни по једном од критеријума, и истовремено елиминише оне са екстремним вредностима, макар и једног атрибута.

Примена **дисјунктивне** методе подразумева да се алтернативе процењују према највећој вредности неког атрибута:

$$X_{ij} \geq X_j^*, j=1 \text{ или } 2, \dots, \text{ или } n \text{ за критеријуме типа max,}$$

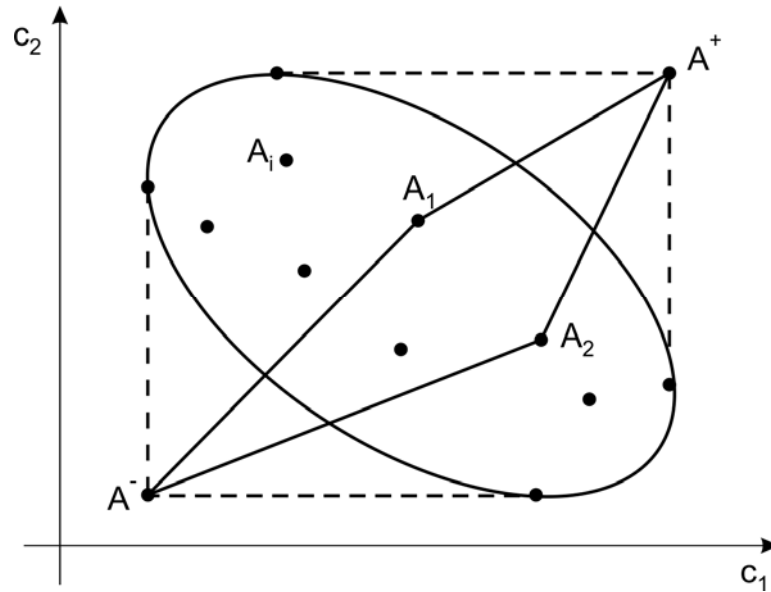
$$X_{ij} \leq X_j^*, j=1 \text{ или } 2, \dots, \text{ или } n \text{ за критеријуме типа min.}$$

При анализи свих понуђених алтернатива, ова метода издваја, у скуп прихватљивих, оне опције које имају бар неку екстремно добру вредност по одређеном критеријуму.

**TOPSIS** (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) метода је заснована на принципу вишеатрибутског одлучивања и припада подгрупи *метода компромиса* или *метода идеалне тачке*.

TOPSIS метода, разматране алтернативе вреднује и рангира на основу њихове удаљености у односу на, тзв., "идеалну алтернативу" (идеално решење) и "анти-идеалну" алтернативу (анти-идеално решење). Као најбоље, издваја се решење које је најмање удаљено од "идеалне", а највише од "анти-идеалне" опције.

На слици 5.6, приказан је просторни распоред одређеног броја ( $i$ ) алтернатива, дефинисан са два критеријума, типа max ( $C_1$  и  $C_2$ ). Уочава се да алтернатива  $A_1$ , иако ближа идеалној алтернативи ( $A^+$ ) од решења  $A_2$ , истовремено је ближа и анти-идеалној алтернативи ( $A^-$ ). Укупна мера квалитета одређене опције, према овој методи, представља релативну блискост алтернативе идеалном решењу, узимајући у обзир њену удаљеност од идеалног и анти-идеалног решења, истовремено. TOPSIS метода, у фази формулације проблема, укључује и информације о тежинским коефицијентима критеријума.



**Слика 5.6** Удаљеност разматраних алтернатива од "идеалне" и "анти-идеалне" алтернативе

Пре навођења основних корака алгоритма за решавање виšekритеријумског задатка помоћу TOPSIS методе дефинише се полазна матрица:

$$X = \|x_{ij}\|_{m \times n}$$

$$X = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_n \\ A_1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ A_2 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_i & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_m & x_{m1} & x_{m2} & \dots & \dots & \dots & x_{mn} \end{matrix} \quad (5.11)$$

Први корак је векторска нормализација почетне матрице одлуке, на следећи начин:

$$\|X\| \rightarrow \|R\|$$

$$R = \|r_{ij}\|_{m \times n}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (5.12)$$

где је  $R$  - нормализована матрица одлуке, која се састоји од нормализованих података ( $r_{ij}$ ).

У другом кораку, врши се отежавање нормализоване матрице одлуке:

$$\|R\| \rightarrow \|V\| \quad (5.13)$$

$$\text{где су: } V = \|v_{ij}\| = \|W_j' \cdot r_{ij}\|, \quad W_j' = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j}, \quad v_{ij} = W_j' \cdot r_{ij} \quad (5.14)$$

У трећем кораку дефинише се идеална алтернатива ( $A^+$ ), које има све најбоље карактеристике по свим атрибутима:

$$A^+ = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in C^+ \right) \cup \left( \min_i v_{ij} \mid j \in C^- \right) \right\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\}, i = \overline{1, m} \quad (5.15)$$

где је  $C^+$  - подскуп скупа  $C$ , кога чине атрибути - критеријуми типа max, а  $C^-$  - подскуп скупа  $C$ , сачињен од атрибута - критеријума типа min.

Са друге стране,  $A^-$  представља анти-идеалну алтернативу која, по свим критеријумима, има најлошије карактеристике:

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in C^+ \right) \cup \left( \max_i v_{ij} \mid j \in C^- \right) \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}, i = \overline{1, m} \quad (5.16)$$

Четврти корак TOPSIS анализе подразумева израчунавање  $m$ -димензионалног еуклидског растојања сваке алтернативе од идеалне и анти-идеалне алтернативе:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (5.17)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (5.18)$$

где  $D_i^+$  представља удаљеност  $i$ -те алтернативе од идеалног решења, а  $D_i^-$  од анти-идеалног.

У петом кораку врши се израчунавање коефицијента релативне близине (relative closeness, енг. -  $RC_i$ )  $i$ -те алтернативе идеалном решењу:

$$RC_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} , \quad (5.19)$$

У последњој фази (*шести корак*), ове методе ВКО, врши се рангирање алтернатива по опадајућим вредностима коефицијента  $RC_i$  од најбоље (са највишим коефицијентом  $RC_i$ ), па до најлошије (са најнижим коефицијентом  $RC_i$ ). Алтернатива која, теоретски, има вредност коефицијента  $RC_i=0$ , представља анти-идеално решење а са друге стране, опција код које би  $RC_i$  био једнак јединици, представљала би идеално решење.

Метода **PROMETHEE** (**P**reference **R**anking **O**rganization **M**ETHOD of **E**nrichment **E**valuation) спада у групу метода вишеатрибутског одлучивања – *методе рангирања*. Логика вредновања у методама рангирања, подразумева да алтернатива са довољно високим ранговима, по већем броју атрибута, буде и сама на крају високо позиционирана.

Ова метода се користи за избор оптималног решења, у случајевима код којих постоји ограничен број алтернатива и више међусобно конфликтних критеријума. До сада је конципирано шест основних фамилија методе PROMETHEE, од којих свака решава одређене проблеме (Behzadian и сар., 2010):

- PROMETHEE I – даје парцијални поредак (рангирање) алтернатива (Brans, 1982),
- PROMETHEE II – даје коначан поредак алтернатива (Brans и Mareschal, 1982),
- PROMETHEE III – врши рангирање варијанти на бази интервала (Brans и сар., 1986),
- PROMETHEE IV – даје потпуни или делимични поредак опција када постоји непрекидан низ решења (Brans и Mareschal, 1994),
- PROMETHEE V – решава вишекритеријумске проблеме са сегментним граничним вредностима (Brans и Mareschal, 1992),
- PROMETHEE VI – одваја такозване "тврде" од "меких" вишекритеријумских проблема где се степен "тврдоће" проблема вреднује према задатим тежинским коефицијентима атрибута –критеријума (Brans и сар., 1995).

Поред ових основних фамилија, развијене су и још неке PROMETHEE методе (Behzadian и сар., 2010):

- PROMETHEE TRI, конципиран за сортирање проблема (Figueira и сар., 2004),
- Графичка интерпретација методе PROMETHEE применом GAIA (Geometrical Analysis for Interactive Aid, енг.) (Brans и Mareschal, 1994),
- PROMETHEE GDSS, предвиђен за групно доношење одлука (Macharis и сар., 1998).

Методе PROMETHEE су засноване на парцијалном поређењу сваког пара алтернатива по сваком од изабраних атрибута – критеријума. Специфичност PROMETHEE методе



представља, тзв., *функција преферентности*. Сврха ове функције је да се разлика у вредностима за сваки пар алтернатива сведе у опсег од 0 до 1, по сваком критеријуму. На тај начин се, уједно, врши нормализација вредности у матрици, као и добијање информација о међусобној преферентности (супериорности или инфериорности) свих могућих парова алтернатива, и по свим критеријумима. Најчешће се користи шест типова функције преферентности које, углавном, покривају већину стандардних захтева, и то су:

1. Обичан критеријум преференције,
2. Квази критеријум преференције,
3. Критеријум са линеарном преференцијом,
4. Критеријум са линеарном преференцијом и подручјем индиференције (померено линеарном),
5. Критеријум са степенастом преференцијом,
6. Критеријум са Гаусовом (Gauss) нормалном преференцијом.

Читав поступак спровођења поступка ВКО, коришћењем PROMETHEE методе може се, у алгоритамској форми, свести на четири корака:

1. Одређивање међусобне преферентности алтернатива,  $P(A_1, A_2)$ , за сваки пар алтернатива из скупа  $A$ , на основу избора типа функција преферентности и параметрима тих функција.
2. Формирање индекса преферентности за сваки могући пар алтернатива у складу са релацијом:

$$\Pi(A_1, A_2) = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \sum_{j=1}^n (W_j \cdot P_j(A_1, A_2)) \quad (5.20)$$

Овај индекс карактерише преферентност алтернативе  $A_1$  у односу на опцију  $A_2$ , узимајући у обзир утицај свих критеријума, док величина  $P_j(A_1, A_2)$ , одсликава преферентност  $A_1$  у односу на  $A_2$  али само по  $j$ -том критеријуму.

3. Формирање матрице индекса преферентности:

	$A_1$	...	$A_m$
$A_1$		...	$\pi(A_1, A_m)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$
$A_m$	$\pi(A_m, A_1)$		

4. Израчунавање позитивне  $\Phi^+(A_1)$  и  $\Phi^-(A_1)$  карактеристике за сваку разматрану опцију из скупа  $A$ :

$$\Phi^+(A_1) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \Pi(A_1, x) \quad (5.21)$$

$$\Phi^-(A_1) = \frac{1}{m-1} \sum_{x \in A} \Pi(x, A_1) \quad (5.22)$$

Величина  $\Phi^+(A_1)$  показује колико је алтернатива  $A_1$  боља од свих осталих опција из скупа  $A$ , узимајући у обзир све критеријуме из скупа  $K$ . Насупрот томе, параметар  $\Phi^-(A_1)$  даје информацију о предности свих осталих алтернатива у односу на  $A_1$ .

У складу са вредностима ових карактеристика, а у зависности од опције коришћене методе ВКО, (PROMETHEE I или PROMETHEE II) врши се рангирање алтернатива.

Током последњих неколико година, ови модели се широко примењују у области система управљања отпадом (Aravosis и сар., 2001; Hung и сар., 2007; Ohman и сар., 2007; Khan и сар., 2008; Hsu и сар., 2008; Garfi и сар., 2009; Sener и сар., 2010; Karagiannidis и сар., 2010; Lin и сар., 2010; Karmperis и сар., 2013; Dong и сар., 2014).

Методе рангирања су показале извесну предност у односу на друге методе одлучивања у области управљања комуналним отпадом (Rogers и Bruen, 1998). Већи број аутора истиче, да као и код осталих ВКО метода, расподела тежинских коефицијената представља најслабију тачку метода рангирања (Morrissey и Browne, 2004).

### 5.3.2 Предности и ограничења приступа ВКО

Предности ВКО приступа у решавању разматраног проблема су:

- Могућност укључивања одређеног број "конфликтних" група критеријума у процес планирања управљања отпадом, (Kou и сар., 2011),
- Коришћење квантитативних и квалитативних критеријума за вредновање алтернатива пројекта управљања комуналним отпадом, (Linkov и сар., 2006),
- Флексибилност у смислу постојања алтернативних категорија критеријума евалуације. (Linkov и сар., 2009),
- Могућност групног одлучивања, где и сваки доносилац одлуке, из редова заинтересованих субјеката у процесу, добија свој тежински коефицијент,
- Мултидисциплинарни приступ који омогућава комплетно сагледавање сложених природних система и плуралитета вредности животне средине и различитих перцепција одрживог развоја, (Diakoulaki, 2004),

- Систематски приступ вредновању опција помаже разумевање проблема и
- Равноправност неекономских критеријума.

Током примене ових модела, доносиоци одлука се сусрећу и са одређеним ограничењима и недостатцима оваквог приступа:

- Ризик појаве извесног степена конфузије приликом избора алтернативних решења у оквиру пројекта (Karrperis и сар., 2012)
- У области управљања отпадом, модели ВКО дају само процену алтернативних решења и не дају никакве препоруке у смислу смањења количина отпада, (Morrissey и Browne, 2004),
- Приликом коришћења ових модела оставља се релативно велики простор за субјективан избор критеријума, као и одговарајућих тежинских коефицијената (сличан проблем се јавља и код примене LCA методе) и
- Потребно је учешће стручњака из већег броја области.

Приликом решавања 3Е проблема (екологија, енергија, економија) различити утицајни фактори имају различите јединице, тако да нормализација њихових вредности и свођење на универзалну јединицу има суштински значај у смислу међусобне упоредивости фактора. Поред тога, треба имати у виду да су у процесе управљања комуналним отпадом укључене различите интересне групе (влада, комунално предузеће и становништво) и да њихова различита гледишта треба узети у обзир приликом доношења одлука (Dong и сар., 2014).

Избор критеријума и додела тежинских коефицијената (пондерисање), представљају једну од најкритичнијих фаза ВКО поступка. Уколико резултати анализе не показују велику осетљивост на варијације пондера може се говорити о високом кредибилитету модела.

На слици 5.7 шематски су приказане неке од могућих користи приликом примене ВКО у сектору планирања управљања отпадом

Поред наведеног, треба још нагласити да у складу са веома флексибилним оквиром ВКО модела, неки од њих могу бити веома поједностављени, јер не узимају у обзир све аспекте одређеног проблема и, супротно, могу имати веома компликовану форму када узимају у обзир превелики број фактора.

Прегледом предности и недостатака свих група метода описаних у одељцима 5.1, 5.2 и 5.3, може се уочити да све технике процене утицаја захтевају допринос стручњака из неколико различитих дисциплина што, у највећем броју случајева, није једноставно обезбедити. Треба нагласити да је основни недостатак LCA и ВКО метода проблем доделе тежинских коефицијената различитим критеријумима. Аналитичари ангажовани при изради LCA модела ће, у извесној мери, имати другачији однос према критеријумима, у односу на оне који учествују у реализацији ВКО поступка. На одређени начин, субјективност може бити слаба страна и појединих СВА модела, посебно у смислу дефинисања нетржишних профитних вредности.

Свакако да ефикасан начин превазилажења појединачних, а делимично и заједничких слабости, као и истицања предности, представља њихова комбинована употреба унутар нових специфичних проширених оквира (Ksu и сар., 2009; Li и сар., 2011 и Sun и

сар., 2012). Према (Tudela и сар., 2006) СВА модел се може ефикасно комбиновати унутар ВКО оквира док, са друге стране (Linkov и сар., 2011) сугеришу да комбинација LCA и ВКО метода обезбеђује потпуно флексибилну стратегију за доносиоце одлука. У новијој литератури постоји неколико радова са комбинованом применом LCA, СВА и ВКО (Duinker и Greig, 2007; Benedetti и сар., 2008, Carter и Keeler, 2008; Lee и сар., 2009; Karmperis и сар., 2012; Dong и сар., 2014).



Слика 5.7 Користи од примене ВКО у области планирања управљања отпадом

Специфичност циљева и система управљања комуналним чврстим отпадом често представљају критеријум за избор одговарајућег модела или њихове комбинације. Ниједан од представљених модела нема универзалност примене на све системе управљања отпадом. Релативно једноставан циљ (пример оптимизације руте возила за сакупљање отпада) захтева једну врсту приступа док, сложенији задатак (процене алтернативних стратегија управљања отпадом) захтева примену других алата (Morrissey и Browne, 2004).

При избору модела, потребно је водити рачуна да поред еколошких, енергетских и економских аспеката, модел у значајној мери узима у обзир и социолошки контекст пројектованог система.

У фази избора оптималног решења, компромис треба да буде једна од кључних речи, на крају претворена у један од основних принципа одлучивања.

## 5.4 Преглед и избор софтверских алата за квантификацију еколошких, енергетских и економских перформанси система управљања комуналним чврстим отпадом

За сваку од група метода, наведених у претходним одељцима, развијен је одређен број софтверских решења, чијом се применом, са мање или више успеха, заокружују целокупан процес квантификације еколошких, енергетских и економских показатеља функционисања одређеног система управљања комуналним отпадом. Morrissey и Brown (2004) су дали преглед коришћених метода ВКО у области одрживог управљања отпадом као и пратећих софтверских пакета. Аутори у свом прегледном раду, констатују да су ELECTRE III, АНР и PROMETHEE I и II, методе које се најчешће користе у вишекритеријумским анализама система за управљање отпадом. Rogers и Bruen (1998), указују на чињеницу да су методе рангирања супериорније од АНР метода у сектору управљања отпадом. Они ову тврдњу објашњавају чињеницом, да методе рангирања узимају у обзир информације које имају и квалитативни и квантитативни карактер. Са друге стране, Lai и сар. (2002) истичу своја позитивна искуства у примени АНР метода у решавању проблема везаних за одрживо управљање отпадом. Врло често опредељење за одређену ВКО методу проистиче из доступности софтверских пакета (Guitouni и Martel, 1998).

Међу већим бројем програмских алата који подржавају примену метода ВКО, у смислу најчешће примене, издвајају се следећа софтверска решења:

- EXPERT CHOICE. Прву верзију овог алата развио је Forman (1983) и базиран је на примени методе Аналитичког хијерархијског процеса (АНР). Употребљив је у широком спектру области почев од типичне производње, преко управљања проблемима животне средине до сектора пољопривреде.
- DECISION LAB 2000. Идејни творци софтверског пакета DECISION LAB 2000, су Barns и Mareschal (1998). Овај програмски алат је заснован на примени методе рангирања PROMETHEE (I и II). Често се користи заједно са моделом GAIA који обезбеђује одговарајућу графичку интерпретацију везану за процес одлучивања.
- ELECTRE TRI Assistant. Mousseau и сар. (2000) су, на бази истоимене методе вишекритеријумског одлучивања ELECTRE TRI, развили овај алат за подршку доносиоцима одлука. Овај софтверски пакет знатно олакшава доносиоцима одлука процес поређења релевантних атрибута који карактеришу вредноване одлуке.
- LOGICAL DECISIONS. Овај софтверски алат користи АНР методу вишеатрибутског доношења одлука и омогућава пет различитих техника одређивања тежинских коефицијената (Jacquet-Lagrange и Siskos, 2001). Има широку примену у области медицине и заштите животне средине.
- SANNA. Припада софтверским решењима из области ВКО која раде у Microsoft Excel окружењу. Овај алат има могућност спровођења процеса ВКО на бази неколико различитих метода (SAW, TOPSIS, ELECTRE I и III, PROMETHEE I и II итд.)

Поред ових неколико набројаних софтверских пакета за подршку методи ВКО, релативно често се примењују приликом решавања проблема у сектору управљања отпадом и следећи програмски алати (Morrissey и Browne, 2004): PREFCALC, MINORA, HIPRE 3+, PROMCALC, RANGY system, ROSE system, FINEVA, итд.

За потребе вишекритеријумског одлучивања у оквиру ове дисертације одабран је софтверски пакет **DSS** (Decision Support Software, Panagiotidou и сар, 2010). Овај алат је развијен у оквиру пројекта финансираног од стране Европске Уније у циљу унапређења интегрисаног планирања и управљања комуналним отпадом на територији неколико балканских земаља чланица ЕУ (Словенија, Грчка, Румунија и Бугарска). Софтвер је у неким сегментима прилагођен земљама које припадају простору Балканског полуострва (Србија заузима централни део) али има могућност универзалне примене за све земље чланице ЕУ и оне које теже достизању одговарајућих стандарда ове заједнице а који се тичу сектора управљања отпадом. DSS подразумева мултикритеријумски приступ у процесу одлучивања и на врло прегледан начин представља резултате поређења одговарајућих алтернативних сценарија. Поред тога, програм даје могућност пондерисања критеријума и даје комплетну анализу тока материјала као и одговарајуће дијаграме. Применом овог пакета може се извршити анализа све три врсте перформанси једног система управљања комуналним чврстим отпадом – еколошких, енергетских и економских.

Структура софтверског пакета DSS заснована је на методи вишеатрибутског доношења одлука односно методи рангирања PROMETHEE II.

Од софтверских решења који у себи интегришу примену LCA методе, као најчешће коришћени могу се издвојити: IWM2 (McDougall и сар., 2001), WISARD (Clift и сар., 2000), IWMM - EPIC/CSR (Haight, 2004), SIMA Pro 7 (Goedkoop и сар., 2010), ORWARE (Dalemo и сар., 1997; Eriksson и сар., 2002), WRATE (Thomas и McDougall, 2003; Gentil и сар., 2005; Coleman, 2006), GABI 4 (GaBi4, 2007), EASETECH – EASEWASTE (Kirkeby и сар., 2006). Прегледом и анализом великог броја радова у области LCA моделирања (неки од њих представљени у поглављу 2 дисертације) као и проучавањем структуре и карактеристика набројаних софтвера, за потребе одређивања циљаних параметара (енергетских и еколошких) одабрани су пакети IWM2 и EASETECH. Софтверски алат **IWM2** (Integrated Waste Management 2), у складу са његовим скраћеним називом, заснован је на концепту интегрисаног управљања отпадом и користи се за израчунавање одређених параметара система, из области заштите животне средине и економске одрживости што га, донекле, издваја из релативно уског оквира LCA алата. Међутим овом програмском пакету недостаје покривеност социолошког сегмента да би имао карактер мултикритеријумског алата. Ипак, његова употреба ће у оквиру ове дисертације послужити за додатно вредновање предложених технологија третмана комуналног чврстог отпада.

Софтверски пакет **EASETECH** (EASEWASTE) развијен је на Техничком Универзитету у Данској. Његов назив представља акроним за Environmental Assessment System for Environmental Technologies и сам пакет представља унапређену верзију претходног софтверског алата - EASEWASTE. Основна намена овог програмског пакета је оцењивање животног циклуса сложених система управљања комуналним отпадом кроз праћење токова свих врста материјала присутних у процесу. Резултати утицаја на животну средину, током читавог животног циклуса, могу бити представљени кроз утицај комплетног система управљања отпадом или као утицаји појединачних сегмената (модула).

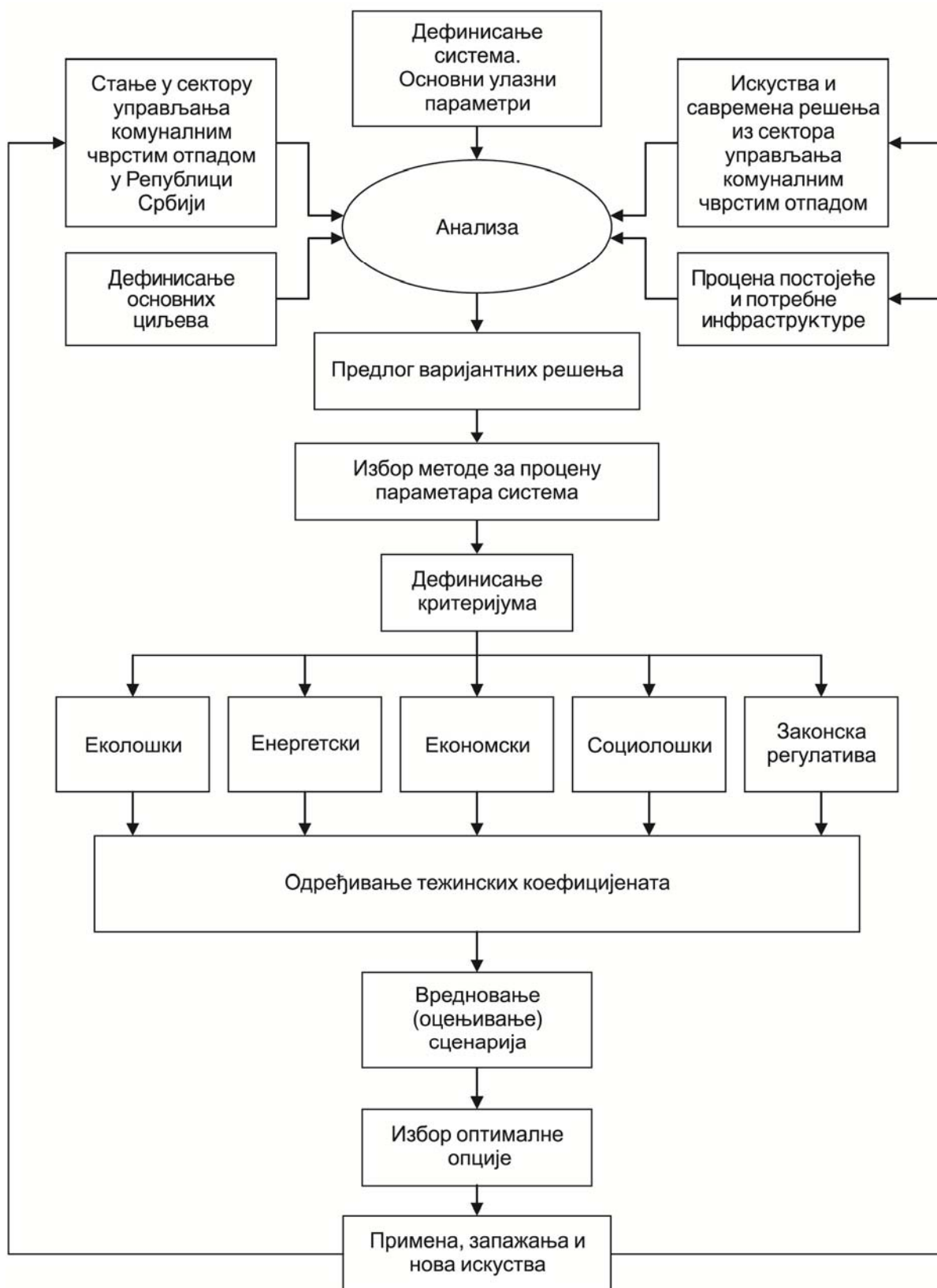
## 6. Моделирање варијантних решења система управљања чврстим отпадом

Дефинисање оптималног и одрживог система управљања комуналним чврстим отпадом на локалном нивоу, представља комплексан процес у оквиру кога се доносиоци одлука суочавају са бројним изазовима и усаглашавањем низа противуречности. Имајући у виду да постојеће стање у нашој земљи значајно одступа од праксе развијених земаља, отвара се релативно велики простор за његово унапређење у еколошком, енергетском и економском смислу. Формирање (моделирање) предлога варијантних решења или могућих сценарија, који у потпуности, квалитативно и квантитативно, дефинишу поступање са овом врстом отпада, представља врло значајну фазу у целокупном поступку избора оптималне опције и, као део ширег контекста, биће приказан у оквиру овог поглавља.

На слици 6.1 представљена је шема - алгоритам усвојене методологије у процесу доношења одлука, приликом избора оптималног система управљања комуналним чврстим отпадом. Као што је на поменутој шеми приказано, самој фази предлагања варијантних решења, односно идентификацији алтернатива за постизање циљева, претходи свеобухватна анализа успостављања општег контекста одлучивања. Таква анализа подразумева пријем и обраду информација из неколико утицајних сегмената. Дефинисање система и његових основних улазних параметара представља практично почетну фазу поступка. Концепције будућих система управљања отпадом треба да се, у највећој могућој мери, ослањају на савремена решења и примере добре праксе. Стање у сектору управљања комуналним отпадом у Републици Србији, карактеристике постојећег локалног система, као и процена постојеће и потребне инфраструктуре, такође, представљају неке од полазних тачака у процесу. На самом "крају почетка" процеса, потребно је дефинисати и неке основне циљеве и ограничења који се морају достићи и испоштовати.

Свеобухватна анализа претходних сегмената треба да резултира предлогом одређеног броја алтернативних решења која, као таква, улазе у процес оцењивања њихових релевантних перформанси. Алтернативна решења се дефинишу у складу са примерима добре праксе, као и стањем постојеће локалне инфраструктуре у сектору управљања отпадом. У оквиру таквих варијантних решења, мора се предвидети максимално ефикасан и одржив третман свих фракција комуналног чврстог отпада. Улазни параметри, као што су количина и састав генерисаног отпада, представљају значајан утицајни фактор у почетном конципирању система управљања отпадом. Економске, енергетске и еколошке перформансе пројектованих система умногоме ће зависити, управо, од квалитативно-квантитативних карактеристика отпада и оптималног избора технологија третмана.

Након утврђивања предлога могућих варијантних решења (сценарија), врши се избор методе за процену параметара система.



Слика 6.1 Шема методологије за процену и избор технологија управљања комуналним чврстим отпадом на локалном нивоу



Приказани алгоритам, на слици 6.1, омогућава укључивање широког спектра критеријума, који се могу груписати у неколико главних категорија:

1. еколошки критеријуми,
2. енергетски критеријуми,
3. економски критеријуми,
4. социолошки критеријуми и
5. критеријуми из области законске регулативе.

Треба истаћи да је неопходно да сваки од критеријума добије одговарајући тежински коефицијент, на основу кога ће вршити свој релативни утицај у фази вредновања (оцењивања) алтернативних решења.

Методологија, приказана на слици 6.1, у потпуности је усклађена са основним концептом вишекритеријумског оквира доношења одлука (поглавље 5, слика 5.6). Поред овог примарног и општег приступа, а имајући у виду релевантне критеријуме који су од интереса, развијени алгоритам се може користити и у процесу Оцењивања животног циклуса (LCA), где је циљ квантификовање првенствено еколошких перформанси предложених опција управљања отпадом.

На самом крају процеса, приступа се избору опције са оптималним перформансама. У овој фази, на крају процеса вишекритеријумског одлучивања, а на основу добијених оцена варијантних решења, врши се рангирање разматраних алтернатива. Кроз спровођење различитих анализа осетљивости резултата могу се додатно испитати и валоризовати оцене и ранг варијантних решења.

Приказана методологија има итеративни карактер, будући да реализација и функционисање одабраног варијантног решења, кроз запажања и стечена искуства, постају нови улазни подаци у сегментима са почетка процеса (слика 6.1).

За потребе моделирања, симулације и вредновања одређеног броја могућих варијантних решења, коришћени су софтверски алати: DSS (Decision Support Software, Panagiotidou и сар, 2010), IWM2 (Integrated Waste Management-2, McDougall и сар., 2001) и EASETECH (Kirkeby и сар., 2006). Као што је у претходном поглављу наглашено, алгоритам софтвера DSS се заснива на вишекритеријумском принципу одлучивања. Са друге стране, примена пакета IWM2 и EASETECH базира се на методологији оцењивања животног циклуса (LCA). Варијантна решења су конципирана у складу са специфичним структурама сваког од три коришћена програмска пакета. Истовремено, за сваку од анализа, улазни подаци у моделиране системе су били идентични. Без обзира на делимичне објективне, софтверски условљене, структуралне неусаглашености између сетова предложених решења, у највећи број алтернатива су инкорпориране сличне, савремене технологије третмана отпада са очекивано добрим перформансама. Одређени квалитет целокупног процеса доношења одлуке о избору оптималног система, управо и треба да проистекне из једног оваквог приступа у коме се одређене технологије управљања отпадом валоризују већи број пута.

## 6.1 Дефинисање система и основни улазни параметри

За потребе истраживања ове дисертације, дефинисана су два различита система управљања комуналним чврстим отпадом. У оквиру првог, моделиран је систем управљања комуналним отпадом, који би се односио на град Крагујевац. Други систем је конципиран на бази територијалних смерница наведених у Националној стратегији управљања отпадом 2010 – 2019 (Службени гласник Републике Србије 29/2010). С тим у вези, разматране су опције управљања отпадом за територијалну област (у даљем тексту Регион), која, поред Крагујевца као регионалног центра за управљање комуналним отпадом, обухвата и општине Аранђеловац, Горњи Милановац, Тополу и Кнић. У табелама 6.1 и 6.2 представљени су основни подаци, за град Крагујевац и Регион.

**Табела 6.1** Основни подаци за град Крагујевац

Град КРАГУЈЕВАЦ	
Број становника	179.417
Прорачунски период (временски хоризонт)	2014 – 2034
Производња отпада по становнику (kg/дневно)	0,75
Годишња стопа раста производње отпада	1,5

У табели 6.1, број становника за град Крагујевац у складу је са резултатима пописа становништва у Републици Србији из 2011. године. Вредност генерисане количине отпада представља резултат обраде и систематизације података вишегодишњег евидентирања и мерења масених токова отпада која су спроведена у оквиру постојећег система управљања комуналним отпадом на територији града Крагујевца (поглавље 4).

**Табела 6.2** Основни подаци за Регион

РЕГИОН	
Број становника	320.000*
Прорачунски период (временски хоризонт)	2014 – 2034
Производња отпада по становнику (kg/дневно)	1,25
Годишња стопа раста производње отпада	1,5

\* Заокружена вредност према попису из 2011. године

У табели 6.2, јединична производња отпада на нивоу Региона, увећана је у односу на одговарајућу вредност за град Крагујевац. Треба истаћи да овај ниво производње може да се прихвати у контексту очекиваних трендова у блиској будућности, везаних за промене у начину живота и стандарду становништва. Са друге стране, у сврху

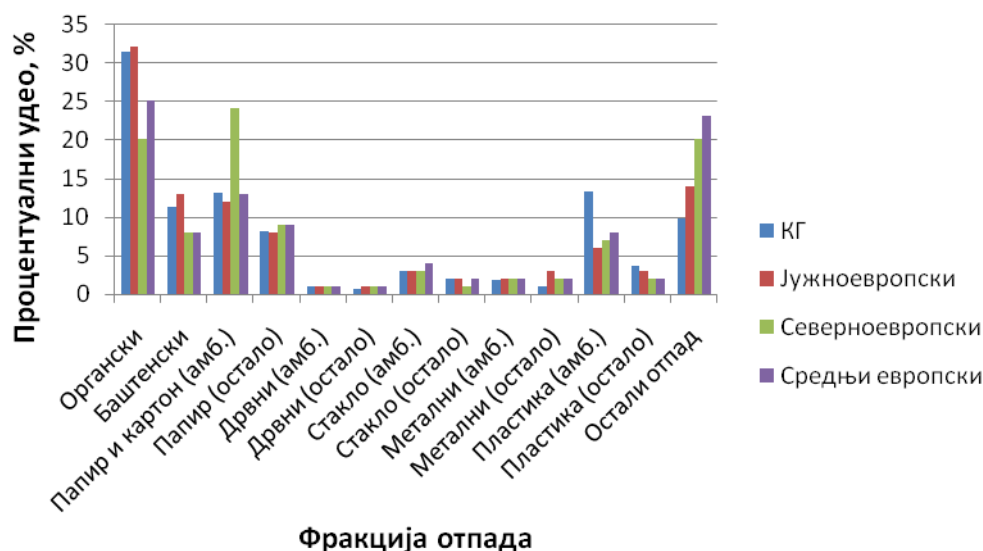
истраживања, хипотетичким повећањем јединичне продукције комуналног чврстог отпада, на територији са 320.000 становника, стичу се услови да се у разматрање укључе и опције термичког третмана отпада. Наиме, изводљивост, односно економска оправданост изградње постројења за инсинерацију отпада, условљена је одговарајућом количином отпада која је неопходна да би инвестициона улагања била у зони исплативости.

**Табела 6.3** Састав отпада различитог географског порекла

ФРАКЦИЈА ОТПАДА	ТИП ОТПАДА			
	КГ (%)	Јужноевропски (%)	Северно-европски (%)	Средњи европски (%)
Органски	31,43	32	20	25
Баштенски	11,29	13	8	8
Папир и картон (амб.)	13,04	12	24	13
Папир (остало)	8,07	8	9	9
Дрвни (амб.)	1,05	1	1	1
Дрвни (остало)	0,62	1	1	1
Стакло (амб.)	3,02	3	3	4
Стакло (остало)	2,02	2	1	2
Метални (амб.)	1,77	2	2	2
Метални (остало)	1,06	3	2	2
Пластика (амб.)	13,23	6	7	8
Пластика (остало)	3,68	3	2	2
Остали отпад	9,72	14	20	23
Σ	100	100	100	100

У табели 6.3 дат је упоредни преглед морфолошких карактеристика комуналног чврстог отпада различитог географског порекла. Као што је наглашено у поглављу 4, на основу спроведених вишегодишњих мерења и анализе на територији града Крагујевца, дефинисан је састав локалног комуналног отпада (у даљем тексту "КГ" састав отпада). Карактеристични састави отпада по европским регионима преузети су из расположиве литературе (Christensen и сар.,2009). У првом, прелиминарном кругу симулација, сва алтернативна решења ће бити оцењивана и рангирана на основу података везаних за локални, "КГ" састав отпада. Остале процентуалне расподеле фракција отпада биће коришћене у оквиру спроведених анализа осетљивости резултата, а у контексту очекиваних промена локалног састава отпада у блиској будућности. Наиме, у Србији, као земљи у развоју, у наредном периоду се могу очекивати одређене промене у навикама и стандарду становништва, што ће последично, довести до промена у саставу

отпада. Очекује се да локални састав отпада, временом "еволуира" ка саставима отпада са, пре свега, мањим садржајем органске компоненте. У циљу поређења и истицања значајне сличности у саставу локалног "КГ" и "јужноевропског" комуналног отпада, на слици 6.2, илустративно су приказани подаци из табеле 6.3.



Слика 6.2 Дијаграмски приказ састава отпада различитог географског порекла

Из података представљених у табели 6.3, може се прерачунати да фракције које припадају биоразградивој органској компоненти чине 65,5% у односу на целокупну масу. Са друге стране, удео фракција које припадају категорији амбалажног отпада износи 32,11%. На основу података из табела 6.1 и 6.2 (број становника, годишња производња отпада и стопа раста производње), може се израчунати да ће 2020. године (изабрана као референтна година за процес симулације), укупне количине комуналног чврстог отпада предвиђене за неку врсту третмана бити 56.158 тона за град Крагујевац и 166.935 тона за Регион.

## 6.2 Дефинисање основних циљева и процена потребне инфраструктуре

Неки од основних циљева које сваки од одабраних алтернативних сценарија мора да испуни, а у контексту обима депонованог отпада и нивоа рециклаже (издвајања материјала из отпада), дефинисани су у складу са законском регулативом Европске уније, будући да је Република Србија у статусу кандидата за чланство у ЕУ од јануара 2014. године. Усклађеност је извршена према одредбама Оквирне директиве о отпаду (Waste Framework Directive, 2008/98/EC), Директиве о депонијама (Landfill Directive, 1999/31/EC), као и Директиве о амбалажном отпаду (Packaging Directive, 94/62/EC).

Укупан обим рециклаже за комунални отпад предвиђен је на нивоу од 54,39%, а само за амбалажни отпад 79,35% (табела 6.4). Ове вредности су добијене као сума производа масеног удела појединачне фракције у целокупном отпаду (табела 6.3) и усвојеног процента планираног издвајања одређеног материјала (табела 6.4). Истовремено, на основу одредби Директиве о депонијама (1999/31/ЕС), као и Уредбе о одлагању отпада на депоније (Службени гласник Републике Србије 92/2010), обим депонованог биоразградивог и укупног комуналног чврстог отпада, до 2020. године потребно је свести на ниво од 35% количина из 1995. године. Треба истаћи да за град Крагујевац и анализирани регион нису евидентирани поуздани подаци о комуналном чврстом отпаду за 1995. годину. Отуда, ове вредности су добијене екстраполацијом расположивих актуелних података и усвојене стопе раста продукције комуналног отпада.

**Табела 6.4** Количине отпада и проценат рециклаже за референтну 2020. годину

<b>ДИРЕКТИВА О ДЕПОНИЈАМА</b>							
Комунални отпад	Одложено на депонију (у тонама)			Преусмерено са депоније (у тонама)			
	Крагујевац	Регион		Крагујевац	Регион		
Биоразградиви	8.873	26.376		27.911	82.967		
Укупно	13.547	40.268		42.611	126.667		
<b>ДИРЕКТИВА О АМБАЛАЖНОМ ОТПАДУ</b>							
Материјал	Папир	Стакло	Метал	Пластика	Дрво	Укупно (>60%)	
Процент издвајања	80	80	80	80	60	<b>79,35</b>	
<b>ОКВИРНА ДИРЕКТИВА О ОТПАДУ</b>							
Фракција отпада	Органски	Баштенски	Папир и картон (амб.) >60%	Папир (остало)	Дрво (амб.) >15%	Дрво (остало)	Стакло (амб.) >60%
Процент издвајања	50	50	80	30	60	30	80
Фракција отпада	Стакло (остало)	Метал (амб.) >50%	Метал (остало)	Пластика (амб.) >22,5%	Пластика (остало)	Остали отпад	Укупно (>50%)
Процент издвајања	30	80	30	80	30	30	<b>54,39</b>

Потребни капацитети постројења за третман различитих врста отпада представљени су у табели 6.5. Постројења за издвајање, односно, секундарну сепарацију материјала (MRF - Material Recovery Facility) би, на основу раније наведених претпоставки и циљева (табела 6.4), требало да поседују могућност обима третмана од 16.912 тона и 50.271 тоне за град Крагујевац и Регион, респективно. Истовремено, потребно је инсталирати

капацитете од 11.995 тона за град и 35.657 тона за Регион у сврху третмана отпада биолошког порекла одвојеног на извору (органиски и баштенски). На крају, за третман преосталог мешаног отпада потребна су постројења укупних могућности прераде 25.614, односно, 76.139 тона (табела 6.5).

На основу предвиђених количина отпада, за систем управљања отпадом на територији града Крагујевца, када је у питању биолошки третман, потребна су и потенцијално исплатива постројења за компостирање и анаеробну дигестију. Количине преосталог, мешаног отпада отварају перспективу економски оправдане изградње постројења за механичко-биолошки третман. И процес биолошког сушења, са овим нивоом продукције отпада, има реалну економску перспективу. Спектар потребних опција третмана је сличан и за Регион, али се, у овом случају, због знатно веће количине отпада, отвара и могућност изградње објекта за инсинерацију преосталог мешовитог отпада.

**Табела 6.5** Потребни капацитети постројења за третман комуналног отпада

<b>ГРАД КРАГУЈЕВАЦ (у тонама)</b>					
Година	Укупна количина отпада	Амбалажни отпад (издвојен на извору)	Биоразградиви отпад (издвојен на извору)	Мешани отпад	Остали отпад
1995	38.704*	-	-	-	-
2014	51.359	15.466	10.970	23.425	1.498
2020	56.158	16.912	11.995	25.614	1.638
2034	69.173	20.831	14.775	31.550	2.017
<b>РЕГИОН (у тонама)</b>					
Година	Укупна количина отпада	Амбалажни отпад (издвојен на извору)	Биоразградиви отпад (издвојен на извору)	Мешани отпад	Остали отпад
1995	115.053*	-	-	-	-
2014	152.669	45.975	32.610	69.632	4.452
2020	166.935	50.271	35.657	76.139	4.868
2034	205.623	61.922	43.921	93.784	5.996

\* не постоје подаци, екстраполирана вредност

### 6.3 Избор технологија третмана и масени токови

У оквиру овог одељка, дат је преглед разматраних технологија третмана комуналног чврстог отпада, као и одговарајућих масених токова. Масени токови су приказани у складу са актуелним саставом отпада и усвојеним процентним износима издвајања појединих фракција. У складу са искуством и савременим решењима у развијеним земљама, узимајући у обзир тренутно стање у области управљања отпадом у

Републици Србији, на локалном и регионалном нивоу, као и одговарајуће карактеристике отпада, у сврху анализе, одабране су следеће технологије третмана:

- 1) Компостирање,
- 2) Анаеробна дигестија,
- 3) Постројења за издвајање материјала (сепарација и рециклажа),
- 4) Механичко - биолошки третман (са опцијом компостирања дела мешаног отпада),
- 5) Механичко - биолошки третман (са опцијом анаеробне дигестије дела мешаног отпада),
- 6) Биолошко сушење мешаног отпада,
- 7) Спаљивање – инсинерација мешаног отпада.

Имајући у виду да су претходно поменуте директиве ЕУ, из сектора отпада, интегрисане у софтверски пакет DSS, у оквиру даље анализе коришћене су следеће претпоставке:

- Амбалажни отпад се сакупља и третира одвојено,
- Папир, пластика, стакло и метал се одвајају на извору,
- Отпад биолошког порекла се издваја на извору.

У тексту који следи, процентуални износи масених токова отпада, за поједине технологије третмана, усклађени су са вредностима публикованим у расположивој литератури (Alevridou и сар, 2010) и усвојеним параметрима представљеним у табели 6.4.

### 6.3.1 Компостирање

Технологија компостирања се, у процесу симулација различитих сценарија, може применити без обзира на количину биоразградивог комуналног отпада. Предвиђена технологија подразумева варијанту динамичког компостирања на отвореном (Open windrows) уз активну аерацију супстрата. На слици 6.3 приказан је масени ток отпада у процесу компостирања који је коришћен приликом моделирања и симулације одговарајућих алтернативних сценарија (Alevridou и сар, 2010).



Слика 6.3 Масени ток за процес компостирања

### 6.3.2 Анаеробна дигестија

Примена процеса анаеробне дигестије се, према подацима и препорукама из литературе, сматра ефикасном за обим биоразградивог комуналног отпада од најмање 5.000 тона на годишњем нивоу (Alevridou и сар, 2010). За третман мањих количина ове врсте отпада, процес компостирања се препоручује као најбоља опција.



Слика 6.4 Масени ток за процес анаеробне дигестије

По завршетку процеса анаеробне дигестије, дигестат бива подвргнут компостирању у сврху производње компоста. Генерисани биогас се може користити за добијање електричне енергије, која се може експлоатисати у оквиру самог постројења или се дистрибуира на тржишту повлашћених произвођача. На слици 6.4 представљен је



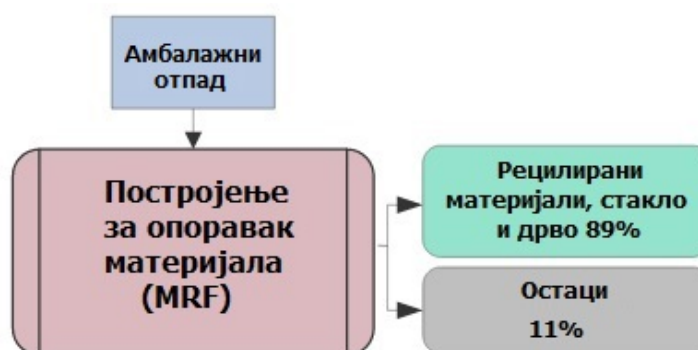
масени ток биоразградивог комуналног отпада кроз процес анаеробне дигестије (Alevridou и сар, 2010).

Укупан удео остатака и губитака у односу на укупне улазне количине биоразградивог комуналног отпада је мањи него у случају процеса компостирања (55% и 65%, респективно). Количина произведеног компоста је нешто мања, али део отпада (15%) се користи за генерисање биогаса.

### 6.3.3 Процес издвајања материјала (секундарна сепарација)

Издавање материјала из отпада, кроз процес секундарне сепарације и рециклаже, представља најбољу опцију за третман разврстаног амбалажног отпада. Одвојено сакупљање секундарних сировина на извору, може се одвијати на два начина:

- Прикупљање секундарних сировина у више наменских контејнера – канти (примарна сепарација) и
- Прикупљање секундарних сировина у један контејнер и накнадна секундарна сепарација у оквиру постројења.



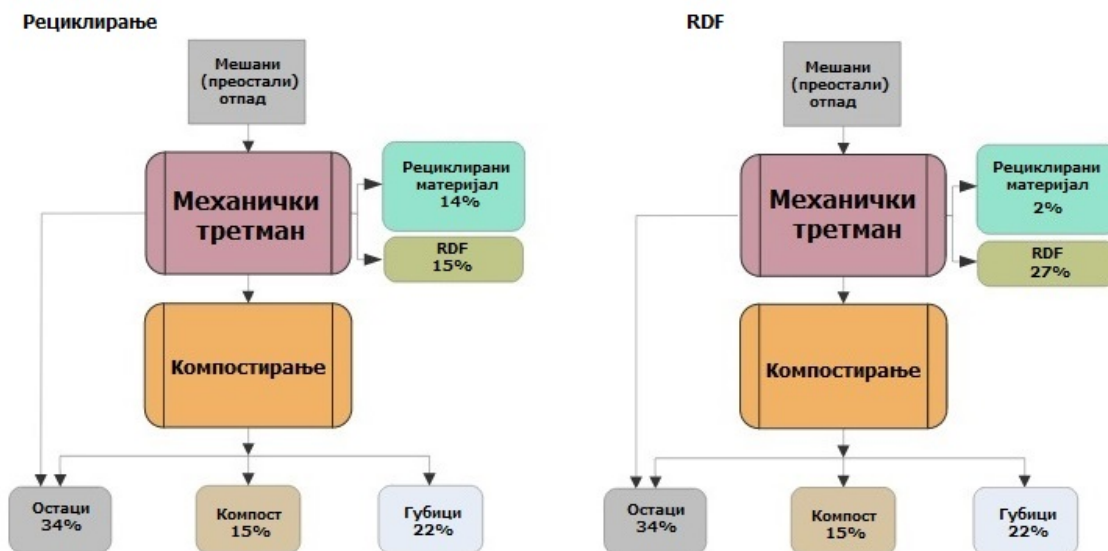
Слика 6.5 Масени ток за процес издвајања материјала из амбалажног отпада

У складу са пројектованим подацима из табеле 6.4, а који су усклађени са одговарајућим директивама и законском регулативом Европске уније, проценат рециклираних материјала, који представља излаз из ове врсте постројења, достиже готово 90%.

### 6.3.4 Механичко – биолошки третман (са опцијом компостирања дела мешаног отпада)

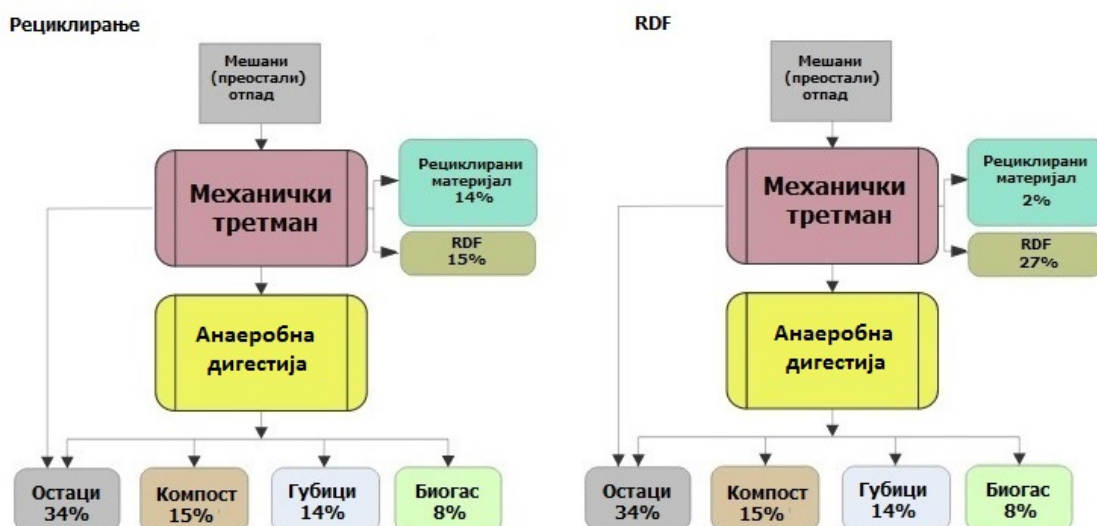
Ова технологије предвиђа коришћење опреме за механичку сепарацију у циљу издвајања рециклабилних материјала и горивог дела отпада (RDF – Refuse Derived Fuel). Преостали део отпада који садржи висок проценат органских материја се усмерава у постројење за компостирање биолошког отпада. RDF може бити искоришћен у цементној индустрији и спаљиван у процесу директног добијања

енергије или одложен на депонију. У зависности од приоритета, формиране су две подопције ове врсте третмана (односно производње рециклабилних материјала и RDF-а). На слици 6.6 приказани су масени токови за обе варијанте механичко – биолошког третмана са компостирањем као технологијом третмана биолошког отпада.



Слика 6.6 Масени токови за процесе механичко – биолошког третмана (уз компостирање дела мешаног отпада)

### 6.3.5 Механичко – биолошки третман (са опцијом анаеробне дигестије дела мешаног отпада)



Слика 6.7 Масени токови за процесе механичко – биолошког третмана (уз анаеробну дигестију дела мешаног отпада)

Ова технологија има сличан концепт као у претходном случају, али се овде мешани отпад са значајним садржајем органске компоненте, преусмерава до постројења за анаеробну дигестију, где се врши производња биогаса. Након завршеног процеса анаеробне дигестије, преостала маса дигестата се подвргава процесу компостирања. Треба нагласити да је у овом случају, због састава улазне материје, произведени компост нешто слабијег квалитета. И у оквиру ове технологије представљене су две подопције, у зависности од приоритета. Треба истаћи, да је за ефикасно и оправдано спровођење ове технологије потребна продукција од најмање 12.500 тона мешаног отпада годишње (Alevridou и сар, 2010). За мање количине отпада, уместо анаеробне дигестије органске компоненте отпада препоручује се технологија компостирања.

Може се приметити да је у оквиру ове технологије смањен укупан процентуални удео губитака и остатака отпада, у односу на одговарајућу технологију МБТ са опцијом компостирања мешаног отпада (48% и 56%, респективно).

### 6.3.6 Биолошко сушење мешаног отпада

У првој фази поступка биолошког сушења мешаног отпада врши се одвајање металних и неметалних материјала. Смањењем влаге, као и разградњом биолошких компонената (слично компостирању), врши се стабилизација отпада и подизање његове топлотне моћи. Отуда се преостала чврста горива маса отпада (SRF – Solid Recovered Fuel) одлаже на санитарну депонију или се усмерава до постројења за термички третман отпада. На слици 6.8 приказан је ток материјала за процес биолошког сушења мешаног комуналног отпада (Alevridou и сар, 2010).



Слика 6.8 Масени ток за процес биолошког сушења мешаног отпада

### 6.3.7 Спаљивање – инсинерација мешаног отпада

Пре процеса спаљивања мешаног дела комуналног чврстог отпада, врши се уклањање материјала који у себи садрже гвожђе, алуминијум и друге метале. Преостала маса отпада се убацује у пећ за спаљивање, уз директну производњу енергије, која се може користити у оквиру самог постројења или се усмерава на тржиште повлашћених

произвођача. Ова технологија постаје рентабилна уколико обим мешаног отпада премашује количину од 50.000 тона на годишњем нивоу (Alevridou и сар, 2010). Чврсти остаци, након процеса спаљивања, могу бити усмерени ка постројењима за производњу цемента или одложени на санитарне депоније. На слици 6.9 приказан је масени ток приликом процеса спаљивања мешане компоненте комуналног отпада (Alevridou и сар, 2010).



Слика 6.9 Масени ток за процес спаљивања мешаног отпада

## 6.4 Моделирање варијантних решења

У оквиру овог одељка представљено је неколико сетова алтернативних предлога (сценарија) за будуће системе управљања комуналним отпадом на територији града Крагујевца и Региона. У одељку 6.4.1 формиран је одређени број сценарија за оба система са циљем одређивања карактеристичних економских, енергетских и еколошких параметара. Квантификација перформанси сваког од ових сценарија, коришћењем софтверског алата DSS, представљена је у наредном, седмом поглављу дисертације. У сврху допунских анализа у одељцима 6.4.2 и 6.4.3 формиран је још један број различитих сценарија ради додатног вредновања њихових, пре свега, еколошких карактеристика. Поред тога, кроз употребу програмских пакета IWM2 и EASETECH, посебно су анализирани неке енергетске и економске категорије. Ова два алата у потпуности прате структуру методе Оцењивања животног циклуса (LCA). У циљу коначног рангирања и избора оптималних решења из сета сценарија чије су перформансе одређене применом LCA методе, коришћен је поступак вишекритеријумског одлучивања (ВКО) и то кроз примену две методе ВКО – SAW и TOPSIS. Предложена алтернативна решења су, као што је већ речено, формирана у складу са структурама сваког од три примењена софтверска алата. Процедура формирања алтернативних сценарија се битно разликује код сваког од употребљених алата. Оно што је битно истаћи је, да су за сваку од анализа моделираних система коришћени практично идентични основни улазни подаци и да су у саме сценарије интегрисане углавном све познате напредне и економски, енергетски и еколошки одрживе технологије третмана комуналног отпада. Ефекти актуелног система управљања отпадом на територији града Крагујевца су могли бити анализирани само кроз примену софтверског пакета IWM2. Овај програмски алат, у оквиру својих алтернативних опција, нуди могућност симулације сценарија који одговара локалном актуелном стању управљања отпадом. Са друге стране, овај условни "недостатак" код преостала два коришћена софтвера, заправо то и није, јер би се будући пројекти

система управљања отпадом морали заснивати на примерима добре праксе и савремених решења из овог сектора, а која ови програмски алати у потпуности покривају. Вишеструко, упоредно оцењивање перформанси појединих савремених технологија управљања комуналним чврстим отпадом, значајно утиче на ниво квалитета целокупне анализе и даје допринос усвајању корисних закључака.

#### 6.4.1 Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета DSS

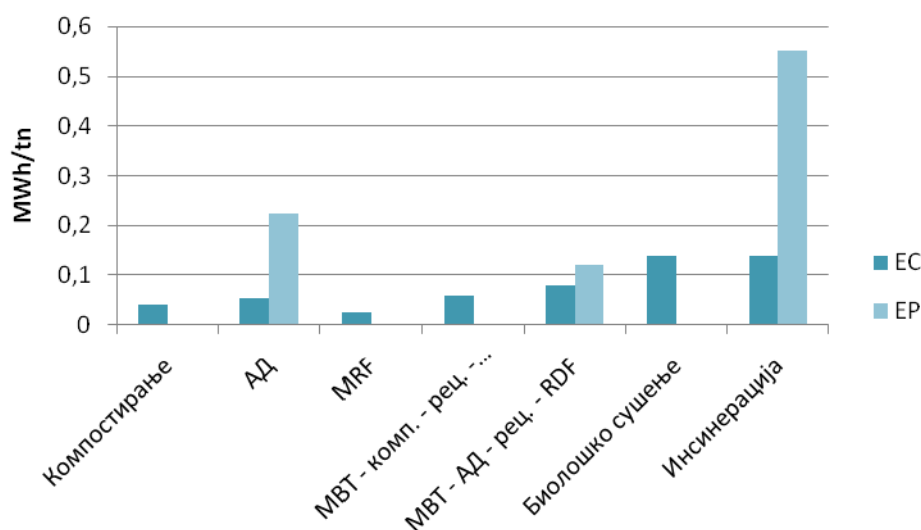
Табела 6.6 Економско – енергетски параметри технологија третмана отпада

Технологија	Економско – енергетски параметри					
	EC (MWh/t)	EP (MWh/t)	CE (€/t)	A&MC (€/t)	SMP (€/t)	LR (m <sup>2</sup> /t)
<b>Компостирање</b>	0,04	-	165	40	7 (компост)	0,9
<b>Анаеробна дигестија (АД)</b>	0,055	0,224	387	70	7 (компост)	0,5
<b>Постројење за издвајање материјала</b>	0,025	-	100	30	150 (Fe) 400 (Al) 70 (Пластика) 40 (Папир) 30 (Стакло)	0,3
<b>МБТ (+компостирање)</b>	0,060	-	200	50	150 (Fe) 400 (Al) 70 (Пластика) 40 (Папир) 7 (Компост)	0,8
<b>МБТ (+АД)</b>	0,08	0,12	398	85	150 (Fe) 400 (Al) 70 (Пластика) 40 (Папир) 7 (Компост)	0,6
<b>Биолошко сушење</b>	0,14	-	192	55	150 (Fe) 400 (Al)	0,3
<b>Инсинерација</b>	0,14	0,55	666	100	150 (Fe) 400 (Al)	0,1

У складу са постојећим спектром најбољих доступних, еколошки прихватљивих и енергетски ефикасних технологија третмана комуналног чврстог отпада, у оквиру овог дела дисертације, формиран је одређен број сценарија који су упоредно оцењивани

кроз примену софтверског алата DSS. Током тог процеса, анализирана је доступна литература, посебно у домену примењене праксе и искуства држава на територији Балканског полуострва (сличан степен економског развоја, релативна подударност састава отпада, сличности актуелних система за управљање отпадом). Отуда, у циљу истраживања и анализе преузет је одређени број сценарија (Decision Support Software Tool – Indicative examples from the application of the DSS, 2012). Приликом креирања предлога алтернативних сценарија управљања комуналним отпадом за град Крагујевац и Регион узети су обзир и одређени економско – енергетски параметри, који карактеришу технологије третмана описане у претходном одељку. Треба истаћи да су ови параметри усклађени са типичним вредностима за земље у окружењу које су чланице ЕУ (Alevridou и сар, 2011). У табели 6.6 дат је упоредни преглед енергетске потрошње (EC), енергетске продукције (EP), капиталних трошкова (CE), трошкова функционисања и одржавања (A&MC), тржишне вредности секундарних сировина (SMP) и потребе за земљиштем (LR) за све наведене технологије.

На слици 6.10 дијаграмски су приказане вредности енергетских параметара, односно, енергетске потрошње и продукције код одређених технологија третмана отпада, приказаних у табели 6.6.

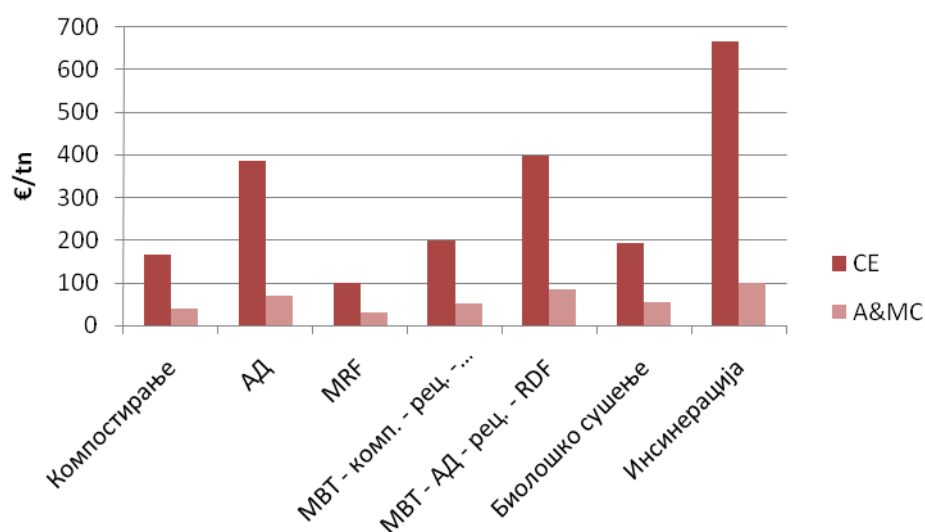


Слика 6.10 Енергетске перформансе технологија третмана отпада

На приказаном дијаграму, као и у табели 6.6, уочава се да термички третман отпада, логично, карактерише највећа продукција енергије (EP) по тони генерисаног отпада. Поред тога, технологије које укључују процес анаеробне дигестије резултују генерисањем биогаса, а самим тим и одређеним енергетским бенефитима. Остали модалитети се карактеришу енергетском потрошњом, а посебно се истиче процес биолошког сушења.

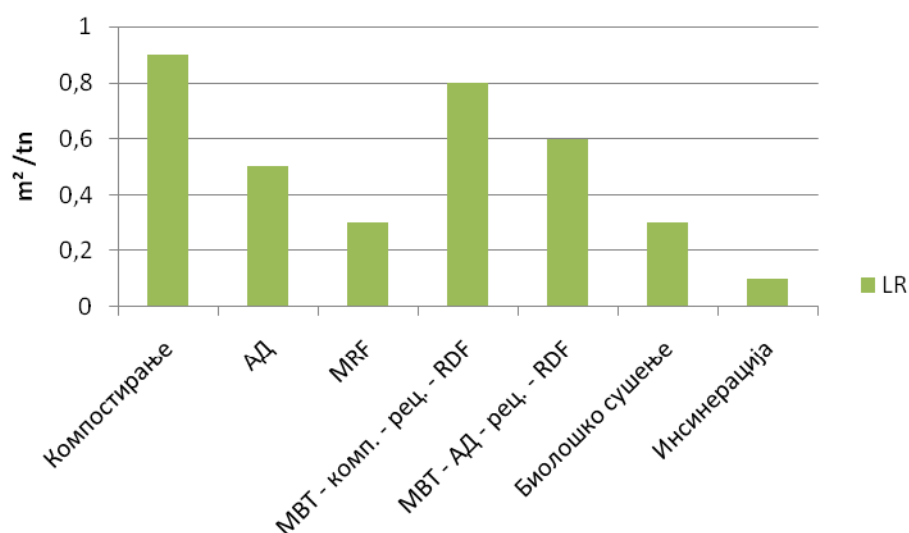
Економски показатељи, у виду капиталних трошкова (CE) и трошкова функционисања и одржавања (A&MC), приказани су на слици 6.11. У погледу висине капиталних трошкова, процес спаљивања отпада се значајно издваја у поређењу са већином преосталих опција третмана. Гледано кроз призму капиталних трошкова, релативно скупе технологије су и анаеробна дигестија, као и поступак механичко – биолошког

третмана, где је за третман дела органског отпада, такође, предвиђен АД поступак. Што се тиче трошкова функционисања и одржавања појединих система, и ту се бележе нешто веће вредности код напред поменутих технологија.



Слика 6.11 Економске перформансе технологија третмана отпада

На основу дијаграма приказаног на слици 6.12, може се закључити да процеси третмана отпада биолошког порекла (компостирање и анаеробна дигестија), имају веће захтеве у погледу површине неопходног земљишта. Са друге стране, за процес инсинерације комуналног отпада потребна је најмања површина земљишта.



Слика 6.12 Потребне за површином земљишта технологија третмана отпада

Сваки од предложених сценарија је креиран у складу са структуром софтверског пакета DSS. Поред поштовања основне структуре, водило се рачуна о количинама појединих

фракција комуналног отпада и адекватним, оптималним опцијама третмана. За третман отпада биолошког порекла, постојала је могућност избора једне од две расположиве опције – компостирања или поступка анаеробне дигестије (АД).

За третман амбалажне фракције отпада предвиђено је искључиво постројење за секундарну сепарацију. Када је у питању третман преосталог, мешаног отпада (Residual Waste), софтверски је остављена могућност изградње (инсталирања) два таква постројења. Укупно је предвиђено шест типова постројења за третман ове, процентуално најзаступљеније врсте отпада и то:

- Постројење за механичко биолошки третман (компостирање биолошког дела отпада, рециклажа рециклабила),
- Постројење за механичко биолошки третман (анаеробна дигестија биолошког дела отпада, рециклажа рециклабила),
- Постројење за механичко биолошки третман (компостирање биолошког дела отпада, издвајање горивог дела отпада),
- Постројење за механичко биолошки третман (анаеробна дигестија биолошког дела отпада, издвајање горивог дела отпада),
- Постројење за биолошко сушење мешаног отпада и
- Постројење за инсинерацију (спаљивање).

Кроз формирање релативно великог броја сценарија, свака од наведених технологија (постројења) за третман мешаног дела отпада је укључена у бар неко од варијантних решења. На тај начин је спроведена и одговарајућа валоризација примене тих технологија, и оцењен степен компатибилности са технологијама третмана осталих фракција комуналног отпада. Треба напоменути да је, из разлога капацитативних ограничења, постројење за инсинерацију укључивано само у предложена решења за регионални систем управљања отпадом.

Предвиђена могућност инсталације два постројења за третман мешане компоненте отпада је искоришћена у готово половини креираних сценарија (23).

Што се тиче поступка са горивим делом отпада (RDF) и преосталом чврстом горивом масом отпада (SRF) предвиђене су две могућности:

- Депоновање поменутих компоненти отпада и
- Њихово енергетско искоришћење.

Приликом формирања појединих сценарија, нарочито оних од којих се очекивала висока коначна оцена перформанси, водило се рачуна о томе да се креирају и упореде два таква, практично идентична решења која би се разликовала само у опцији третмана RDF-а и SRF-а.

У табелама 6.7, 6.8, 6.9 и 6.10 приказано је укупно четрдесет осам формираних сценарија управљања отпадом, од тога по двадесет четири за град Крагујевац и за Регион (Крагујевац, Аранђеловац, Горњи Милановац, Топола и Кнић).

У оквиру двадесет четири сценарија за Крагујевац, у тринаест је за третман биолошког отпада коришћен процес компостирања, а у једанаест процес анаеробне дигестије, Потпуно исти однос заступљености ове две врсте третмана је и код сценарија



управљања отпадом формираних и за Регион. Амбалажни отпад је у свим сценаријима усмераван у постројења за секундарну сепарацију. Што се тиче мешаног отпада, доминантна је технологија механичко – биолошког третмана. Овај вид третмана је примењен у једном од два предвиђена постројења и то у двадесет три сценарија за град и двадесет један за Регион. Биолошко сушење мешаног отпада је предвиђено у четрнаест сценарија за град и у пет за Регион. Инсинерација комплетног дела мешаног отпада је примењена само у једном сценарију за управљање отпадом на нивоу Региона. Спалионица, као примарно постројење за третман мешане компоненте комуналног отпада, предвиђена је у још једном сценарију (4P), где се одређени део овог типа отпада третира кроз процес биолошког сушења. Процес спаљивања преосталог мешаног отпада у оквиру евентуалног секундарног постројења чини саставни део четири предложена алтернативна решења за регионални систем.

Два постројења за третман мешаног отпада, предвиђена су у укупно тринаест сценарија за град и десет за Регион.

RDF и SRF су, у предложеним решењима градског система управљања комуналним чврстим отпадом, шеснаест пута искоришћени за добијање енергије из отпада док је, у преосталих осам варијанти, планирано њихово депоновање. У случају регионалног система, ови производи су седам пута транспортовани на депонију а девет пута су представљали енергетско гориво. У шест сценарија, који укључују опцију спаљивања преосталог мешовитог отпада, ове компоненте се и не појављују у процесу.

Табела 6.7 Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Град Крагујевац (сценарији 1Г – 12Г)

ГРАД КРАГУЈЕВАЦ - (1) Укупна количина отпада: 56.158 тона									
Сценарио	Технологија третмана отпада за:								
	Биолошки отпад (11.995 тона)	Амбалажни отпад (16.912 тона)	Преостали, мешани резидуални отпад (25.614 тона)						Остали отпад (1.638 тона)
	Третман биолошког отпада	Третман амбалажног отпада	Третман мешаног отпада Постројење 1	% третираног отпада Постројење 1	Третман мешаног отпада Постројење 2	% третираног отпада Постројење 2	Третман мешаног отпада Постројење 2	РДФ/SRF Третман	
1Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	Депонување		
2Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	100	-	0	Депонување		
3Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (АД, рец.)	100	-	0	Депонување		
4Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (АД, RDF)	100	-	0	Депонување		
5Г	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	Отпад у енергију		
6Г	АД	MRF постројење	МБТ (АД, RDF)	100	-	0	Отпад у енергију		
7Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	80	Биолошко сушење	20	Отпад у енергију		
8Г	АД	MRF постројење	МБТ (АД, рец.)	80	Биолошко сушење	20	Отпад у енергију		
9Г	Компостирање	MRF постројење	Биолошко сушење	100	-	0	Депонување		
10Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	75	Биолошко сушење	25	Отпад у енергију		
11Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	50	Биолошко сушење	50	Депонување		
12Г	АД	MRF постројење	Биолошко сушење	51	МБТ (АД, рец.)	49	Отпад у енергију		

Табела 6.8 Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Град Крагујевац (сценарији 13Г – 24Г)

ГРАД КРАГУЈЕВАЦ - (2) Укупна количина отпада: 56.158 тона									
Сценарио	Технологија третмана отпада за:								
	Биолошки отпад (11.995 тона)	Амбалажни отпад (16.912 тона)	Преостали, мешани резидуални отпад (25.614 тона)						Остали отпад (1.638 тона)
	Третман биолошког отпада	Третман амбалажног отпада	Третман мешаног отпада Постројење 1	% третираног отпада Постројење 1	Третман мешаног отпада Постројење 2	% третираног отпада Постројење 2	Третман мешаног отпада Постројење 2	РДФ/SRF Третман	
13Г	АД	MRF постројење	Биолошко сушење	60	МБТ (комп., рец.)	40	Депонување		
14Г	АД	MRF постројење	Биолошко сушење	60	МБТ ( комп., RDF)	40	Отпад у енергију		
15Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (АД, RDF)	60	Биолошко сушење	40	Отпад у енергију		
16Г	АД	MRF постројење	МБТ ( комп., RDF)	80	Биолошко сушење	20	Отпад у енергију		
17Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	Отпад у енергију		
18Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (АД, рец.)	100	-	0	Отпад у енергију		
19Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	50	Биолошко сушење	50	Отпад у енергију		
20Г	АД	MRF постројење	Биолошко сушење	60	МБТ (комп., рец.)	40	Отпад у енергију		
21Г	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	Депонување		
22Г	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	80	Биолошко сушење	20	Отпад у енергију		
23Г	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	50	Биолошко сушење	50	Отпад у енергију		
24Г	Компостирање	MRF постројење	МБТ ( комп., RDF)	100	-	0	Отпад у енергију		

Табела 6.9 Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Регион (сценарији 1P – 12P)

РЕГИОН (Крагујевац, Аранђеловац, Горњи Милановац, Топола и Кнић) - (1) Укупна количина отпада: 166.935 тона									
Сценарио	Технологија третмана отпада за:								
	Биолошки отпад (35.657 тона)	Амбалажни отпад (50.271 тона)	Преостали, мешани резидуални отпад (76.139 тона)						Остали отпад (4.868 тона)
	Третман биолошког отпада	Третман амбалажног отпада	Третман мешаног отпада Постројење 1	% третираног отпада Постројење 1	Третман мешаног отпада Постројење 2	% третираног отпада Постројење 2	Третман мешаног отпада Постројење 2	RDF/SRF Третман	
1P	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	Депонување		
2P	Компостирање	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	100	-	0	Депонување		
3P	Компостирање	MRF постројење	МБТ (АД, RDF)	100	-	0	Отпад у енергију		
4P	Компостирање	MRF постројење	Инсинерација	60	Биолошко сушење	40	-		
5P	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	Отпад у енергију		
6P	Компостирање	MRF постројење	Инсинерација	100	-	0	-		
7P	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	40	Инсинерација	60	-		
8P	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	40	Инсинерација	60	-		
9P	Компостирање	MRF постројење	Биолошко сушење	100	-	0	Депонување		
10P	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	40	Инсинерација	60	-		
11P	Компостирање	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	75	Биолошко сушење	25	Отпад у енергију		
12P	Компостирање	MRF постројење	МБТ (АД, RDF)	40	Инсинерација	60	-		

Табела 6.10 Алтернативни сценарији система управљања комуналним отпадом за Регион (сценарији 13P – 24P)

РЕГИОН (Крагујевац, Аранђеловац, Горњи Милановац, Топола и Кнић) - (2) Укупна количина отпада: 166.935 тона									
Сценарио	Технологија третмана отпада за:								
	Биолошки отпад (35.657 тона)	Амбалажни отпад (50.271 тона)	Преостали, мешани резидуални отпад (76.139 тона)						Остали отпад (4.868 тона)
	Третман биолошког отпада	Третман амбалажног отпада	Третман мешаног отпада Постројење 1	% третираног отпада Постројење 1	Третман мешаног отпада Постројење 2	% третираног отпада Постројење 2	Третман мешаног отпада Постројење 2	% третираног отпада Постројење 2	RDF/SRF Третман
<b>13P</b>	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	50	Биолошко сушење	50	Биолошко сушење	50	Депонување
<b>14P</b>	АД	MRF постројење	Биолошко сушење	75	МБТ (АД, рец.)	25	МБТ (АД, рец.)	25	Отпад у енергију
<b>15P</b>	Компостирање	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	40	Инсинерација	60	Инсинерација	60	-
<b>16P</b>	АД	MRF постројење	МБТ (АД, RDF)	40	Инсинерација	60	Инсинерација	60	-
<b>17P</b>	Компостирање	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	-	0	Отпад у енергију
<b>18P</b>	Компостирање	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	100	-	0	-	0	Отпад у енергију
<b>19P</b>	АД	MRF постројење	МБТ (комп., рец.)	100	-	0	-	0	Депонување
<b>20P</b>	АД	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	100	-	0	-	0	Депонување
<b>21P</b>	АД	MRF постројење	МБТ ( комп. RDF)	100	-	0	-	0	Отпад у енергију
<b>22P</b>	АД	MRF постројење	МБТ (АД, рец.)	100	-	0	-	0	Депонување
<b>23P</b>	АД	MRF постројење	МБТ (АД, рец.)	100	-	0	-	0	Отпад у енергију
<b>24P</b>	АД	MRF постројење	МБТ (АД, RDF)	100	-	0	-	0	Отпад у енергију

## 6.4.2 Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета IWM2

Софтверски пакет IWM2 (McDougal и сар., 2001) припада групи програмских алата који према својој структури одговарају методи Оцењивања животног циклуса (LCA). Овај алат нема све елементе који карактеришу методу вишекритеријумског одлучивања, али се његовом применом добијају релативно поуздане процене еколошких, а делом и неких енергетских и економских параметара. Основна сврха употребе софтвера IWM2 је да се додатно истраже и потврде одређене карактеристике и трендови примене појединих опција третмана комуналног чврстог отпада, добијени коришћењем софтверског алата DSS. Структура ова два алата се битно разликује, али се њиховим комбинованим коришћењем могу добити корисне информације, неопходне за доношење кључних одлука у контексту избора система управљања комуналним отпадом.

У оквиру овог одељка наведене су оквирне карактеристике за укупно 6 сценарија управљања комуналним чврстим отпадом, на територији града Крагујевца, који су моделирани коришћењем пакета IWM2. Улазни параметри система су практично истоветни као и за сценарије моделиране у DSS-у (број становника, годишња продукција отпада по становнику, састав отпада), па у овом делу неће бити експлицитно навођени.

Први сценарио (назив **СЦЕНАРИО1КГ**) карактерише комплетно депоновање (100%) генерисаног и сакупљеног отпада на депонију. Депонија, предвиђена за овај сценарио нема инсталиран систем за сакупљање депонијског гаса.

Други сценарио (**СЦЕНАРИО2КГ**) предвиђа издвајање на извору око 10% укупно генерисаног отпада, док се остатак, од 90%, депонује. Разлика у односу на претходни сценарио је у постојању система за сакупљање депонијског гаса и његово енергетско искоришћење. Ефикасност сакупљања депонијског гаса је предвиђена на нивоу од 90%, а ефикасност сакупљања процедурних вода достиже 95%. Енергетска ефикасност процеса трансформације депонијског гаса у енергију је 30%.

Приликом конципирања трећег сценарија (**СЦЕНАРИО3КГ**) повећана је количина отпада предвиђеног за рециклажу (21,66%). Ово повећање се обезбеђује инсталацијом постројења за издвајање, односно, секундарну сепарацију материјала. Депонијски третман преосталог отпада има исте карактеристике као и у случају сценарија2КГ.

Четврти сценарио (**СЦЕНАРИО4КГ**), формиран у сврху симулација одређених карактеристика процеса, у односу на трећи сценарио, укључује и третман 16,35% биолошке фракције отпада. Од тога, део од око 4.250 тона (око 7,6%), као нус-продукт биолошког третмана отпада, бива преусмерен на спаљивање, а део од 1,2% на депонију. Удео материјала за рециклажу, код овог сценарија, расте до нивоа од близу 30%. Укупна количина отпада предвиђена за депоновање, код овог сценарија, износи 35.494 тоне или око 63% (10,9% из процеса сепарације отпада, 1,2% остатка од биолошког третмана и 51,1% директно преусмереног на депонију).

Код петог сценарија (**СЦЕНАРИО5КГ**) значајно се повећава количина отпада која се усмерава у процес спаљивања (31,79%). На неку врсту биолошког третмана усмерава се иста количина отпада као и код сценарија 4КГ. Процент рециклираних материјала је,

такође, готово идентичан у односу на претходни сценарио (29,28%), док проценат депонованог отпада пада на ниво испод 40%. Третман депонованог отпада има исте карактеристике као код другог, трећег и четвртог сценарија.

У оквиру шестог сценарија (**СЦЕНАРИО6КГ**) врши се даље повећавање количине отпада који се спаљује (55,6%). Процент рециклираних материјала је нешто мањи у односу на два претходна сценарија и износи око 27,4%. Као последица битних промена у концепцији система за управљање комуналним отпадом, део предвиђен за депоновање, у оквиру овог алтернативног решења, достиже само 17%. И у овом случају депонијски третман задржава исте карактеристике у погледу сакупљања гаса и процедурних вода.

У табели 6.11, за свих шест сценарија, представљене су, у процентуалном и апсолутном износу, количине отпада према врсти третмана.

**Табела 6.11** Количине отпада према врсти третмана

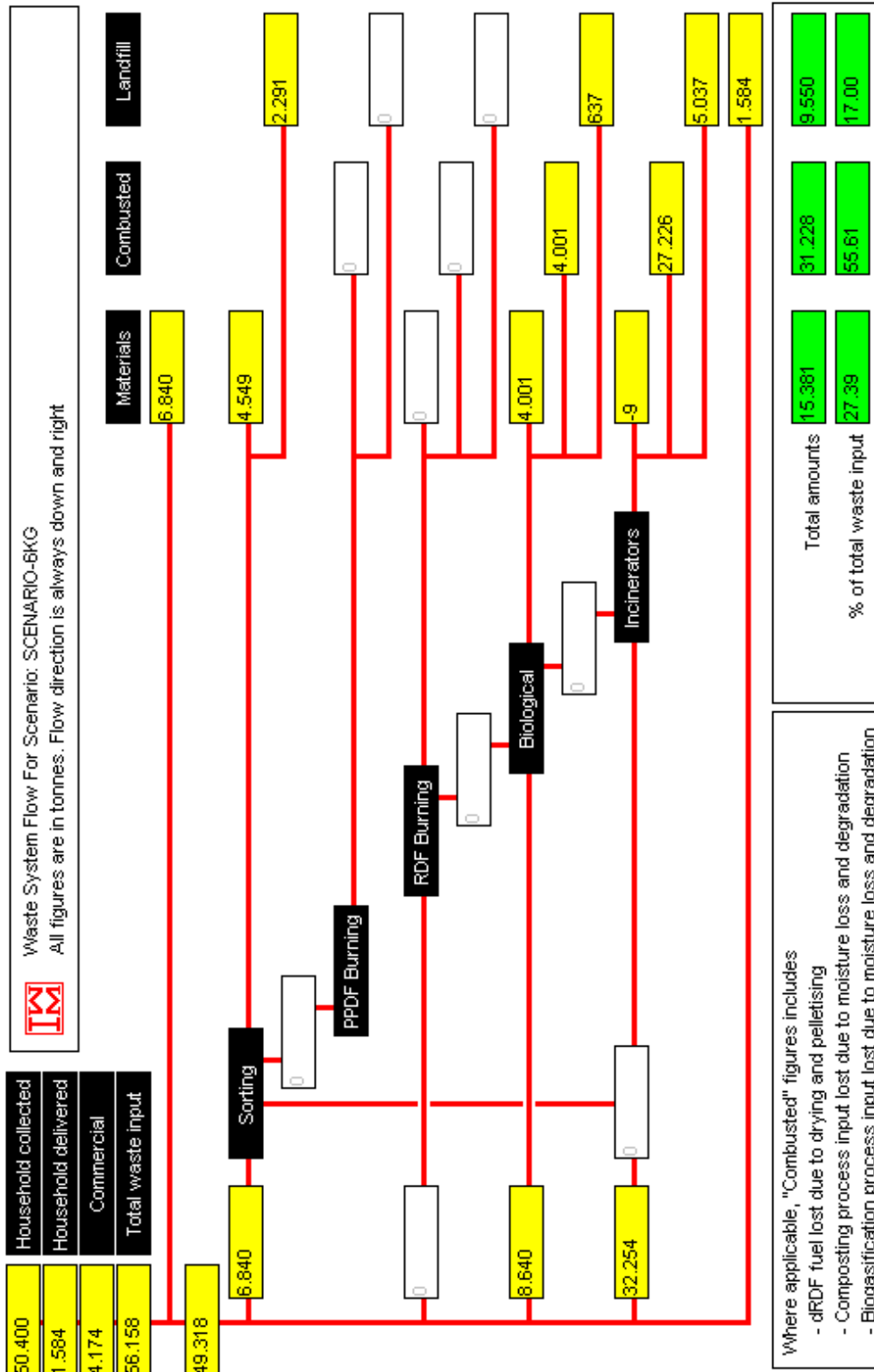
СЦЕНАРИО	Третман отпада								Систем за сакупљање депонијског гаса
	Рециклажа		Биолошки третман		Спаљивање		Депоновање		
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	
СЦЕНАРИО1КГ	0	0	0	0	0	0	100	56.158	Нема
СЦЕНАРИО2КГ	9,9	5.544	0	0	0	0	90,1	50.614	Има
СЦЕНАРИО3КГ	21,66	12.162	0	0	0	0	78,34	43.996	Има
СЦЕНАРИО4КГ	29,23	16.413	16,35	9.180	7,57	4.251	63,2	35.494	Има
СЦЕНАРИО5КГ	29,28	16.441	16,35	9.180	31,79	17.850	38,94	21.867	Има
СЦЕНАРИО6КГ	27,39	15.381	15,39	8.640	55,61	31.228	17,00	9.550	Има

Потребно је напоменути да у табели 6.11, код сценарија 4КГ, 5КГ и 6КГ, сума свих процентуалних износа за поједине врсте третмана превазилази 100%. До овога долази из разлога што се резидуални делови количина отпада, који пролазе кроз поједине процедуре третмана, даље преусмеравају на друге опције, најчешће на спаљивање или депоновање. На тај начин, извесне количине отпада се два пута евидентирају у току целокупног процеса.

На слици 6.13 приказан је ток отпадног материјала за последњи наведени сценарио **6КГ**. Ово алтернативно решење је приказано јер, између осталог, има најсложенију дистрибуцију и токове фракција отпада од свих предложених сценарија.

Код овог сценарија, на самом почетку, од укупне количине отпада (56.158 тона) део отпада (6.840 тона) бива одвојен кроз примарну сепарацију. У постројење за секундарну сепарацију се преусмерава иста количина отпада (6.840 тона), од чега део од 2.291 тоне дефинитивно одлази на депонију. Од 8.640 тона предвиђених за одређену врсту биолошког третмана око 4.000 тона се спаљује, а нешто преко 600 тона бива депоновано. Постројење за инсинерацију прима преко 32000 тона отпада и од тога се највећи део спаљује (27.226 тона), а мањи део остатака (5.037 тона) се одвози на депонију. Део отпада (1.584 тоне) се одмах са места сакупљања транспортује до депоније.

У каснијим анализама, на основу добијених параметара и примене методе ВКО утврдиће се ранг и оцена сваког од предложених сценарија.



Слика 6.13 Ток отпада за СЦЕНАРИО6КГ



### 6.4.3 Моделирање варијантних решења применом софтверског пакета EASETECH

У циљу додатног поређења одређених изабраних технологија третмана са аспекта њиховог утицаја на животну средину, конципирана су четири сценарија управљања комуналним чврстим отпадом на територији града Крагујевца.

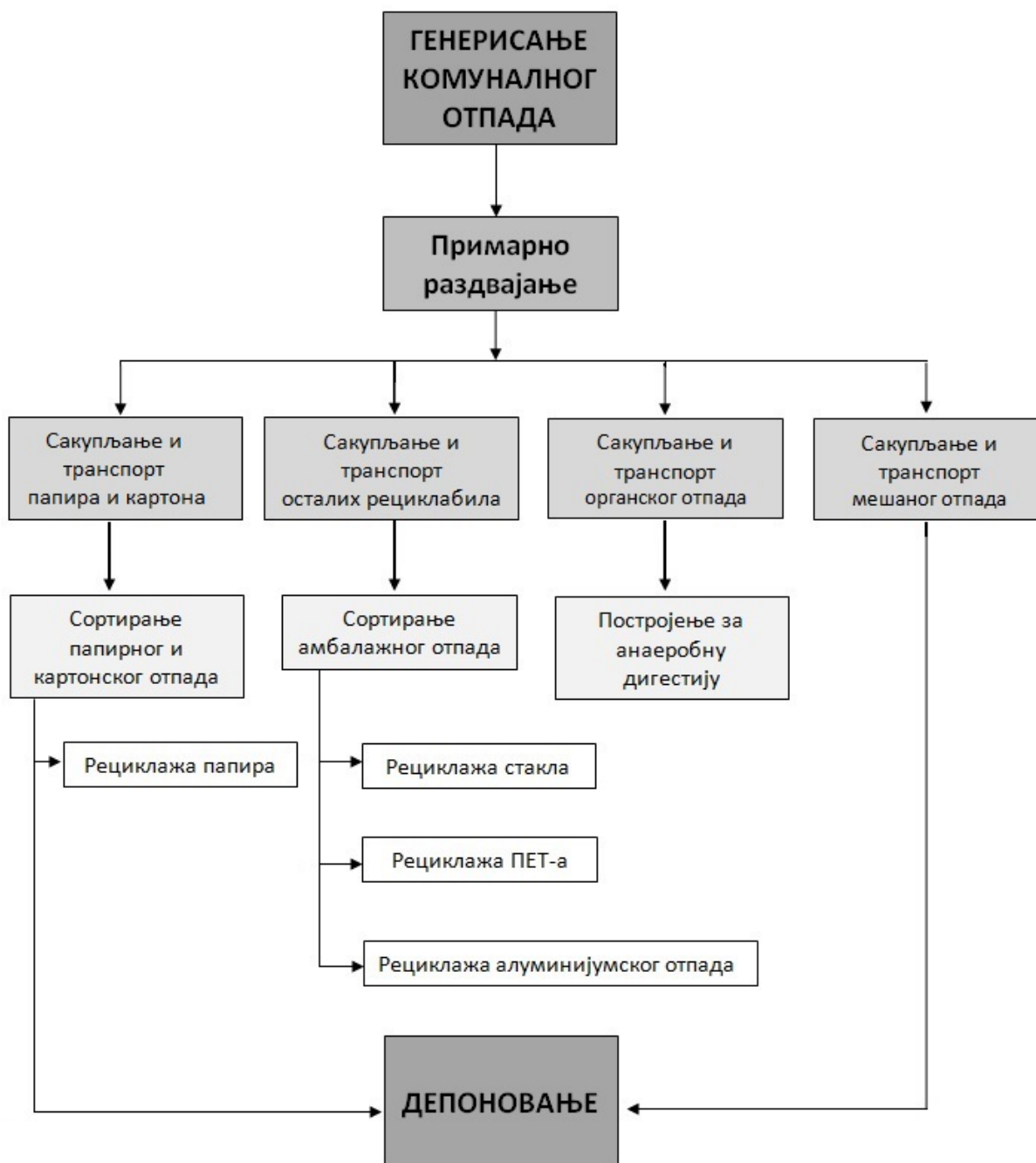
На основу еколошких показатеља добијених коришћењем софтверских пакета DSS и IWM2, као и резултата истраживања већег броја аутора представљених у поглављу 2 ове дисертације, формиран су следећи сценарији чији ће се фактори утицаја испитивати кроз употребу софтверског пакета EASETECH (Kirkeby и сар., 2006):

- 1) **Сценарио 1Е** подразумева процесе сакупљања, транспорта и коначног одлагања комплетног комуналног отпада (56 158 тона) на депонију. Депонија, предвиђена за овај сценарио, поседује инсталиран систем за сакупљање депонијских гасова и њихово искоришћење у енергетске сврхе.
- 2) **Сценарио 2Е** у коме се део, претежно амбалажног отпада (стакло, папир, Al), преусмерава у процесе рециклаже (21%, 11.707 тона), док се преостали део (77%, 44.391 тона) одлаже на депонију истих карактеристика као у сценарију 1Е.
- 3) **Сценарио 3Е** предвиђа, у односу на претходни сценарио, да се поред рециклаже амбалажног отпада (21%, 11.707 тона) и одговарајући део органског отпада усмери ка постројењу за компостирање (15%, 8.468 тона). Остатак отпада се одвози на депонију (64%, 35.983 тоне) која такође има инсталиран систем за сакупљање депонијских гасова.
- 4) У оквиру **Сценарија 4Е** планирана је рециклажа амбалажног отпада (21%, 11.707 тона), али се део органског отпада преусмерава у процес анаеробне дигестије (15%, 8.468 тона), док се преостали отпад одлаже на депонију (64%, 35.983 тоне), на којој се третман отпада одвија на истоветан начин, као и код претходна три сценарија, уз постојање система за сакупљање и искоришћење депонијских гасова.

У табели 6.12, приказане су, у процентуалном и апсолутном износу, количине отпада према врсти третмана за сваки од четири формирана сценарија.

**Табела 6.12** Количине отпада према врсти третмана

СЦЕНАРИО	Третман отпада								Систем за сакупљање депонијског гаса
	Рециклажа		Биолошки третман				Депонованье		
			Компостирање		Анаеробна дигестија				
	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	(%)	(t)	
СЦЕНАРИО1Е	0	0	0	0	0	0	100	56.158	Има
СЦЕНАРИО2Е	21	11.707	0	0	0	0	79	44.391	Има
СЦЕНАРИО3Е	21	11.707	15	8.468	0	0	64	35.983	Има
СЦЕНАРИО4Е	21	11.707	0	0	15	8.468	64	35.983	Има



Слика 6.14 Ток отпада код сценарија 4Е

На слици 6.14 приказан је ток отпада за сценарио 4Е.

Овај сценарио предвиђа да се након примарног раздвајања генерисаног отпада приступи сакупљању и транспорту четири одвојене фракције отпада:

- папира и картона,
- осталих рециклабила,
- органског отпада и

- мешаног отпада.

Папирни и картонски отпад, као и остали рециклабили, пролазе кроз процес сортирања и даљег преусмеравања у постројења за рециклажу. Неискоришћени део ових фракција отпада се одвози на депонију.

Након сакупљања и транспорта, органска компонента отпада се транспортује до постројења за анаеробну дигестију.

Компонента мешаног отпада се, по завршетку сакупљања, транспортује на депонију, јер за ову отпадну фракцију, у оквиру овог сценарија, није предвиђена посебна технологија третмана.

## 7. Симулација предвиђених сценарија и анализа добијених резултата

На основу усвојеног приступа за процену и избор технологија управљања комуналним чврстим отпадом, у претходном поглављу је представљена методологија којом је моделирано више могућих сценарија на градском и регионалном нивоу. У складу са основним квалитативним (састав отпада) и квантитативним (количина генерисаног отпада) подацима за оба система, прелиминарно је конципиран одређени број алтернативних решења која, у зависности од изабране методе за процену параметара система и дефинисаних критеријума, треба да прођу кроз фазу вредновања и рангирања. Савремена решења из сектора управљања комуналним отпадом, посебно преузета из земаља Европске Уније, уграђена су као саставни део предложених опција. У процесу креирања сценарија узете су обзир и карактеристике стања у сектору управљања комуналним отпадом у Републици Србији. Такође, поштујући првенствено законску регулативу Европске Уније у сектору управљања отпадом, дефинисани су неки од основних циљева које предложена решења треба да достигну.

Из сета могућих варијантних решења, неопходно је извршити ефикасан и поуздан избор оптималних опција управљања отпадом за оба разматрана система. Отуда, у оквиру овог поглавља спроведене су симулације квантификовања и процене моделираних сценарија помоћу одговарајућих софтверских алата. За спровођење процеса вишекритеријумског одлучивања и избора оптималног решења коришћен је софтвер DSS. Софтверски пакети IWM2 и EASETECH су употребљени у сврху процене и избора еколошко-енергетски најповољније варијанте, будући да се базирају на примени методе оцењивања животног циклуса (LCA).

### 7.1 Анализа и избор оптималних решења применом методе вишекритеријумског одлучивања

Из сета предложених варијантних решења, представљених у претходном поглављу, потребно је, на основу карактеристичних перформанси сваког од појединачних предлога, изабрати оптимални градски и регионални систем управљања комуналним чврстим отпадом. С обзиром да се приликом доношења одлуке мора водити рачуна о већем броју различитих параметара и утицаја, у овом одељку су, у циљу анализе и избора најповољнијих решења, спроведене одговарајуће мултипараметарске анализе и примењен метод вишекритеријумског одлучивања.

Фази валоризације алтернативних опција и самом избору оптималне варијанте, претходи дефинисање и избор релевантних критеријума. Избор критеријума и њихови тежински коефицијенти могу имати значајан утицај на коначне резултате анализе. Кроз варијације вредности рејтинга појединих критеријума анализиран је могући обим утицаја разних заинтересованих страна укључених у процес одлучивања. Такође, извршене су и допунске симулације за три карактеристична састава отпада различитог

географског порекла, са циљем сагледавања евентуалних утицаја на рангирање ужег круга изабраних сценарија.

### 7.1.1 Дефинисање и избор критеријума у процесу одлучивања

Дефинисање и избор критеријума у процесу избора оптималног система управљања отпадом, у највећој мери зависе од самих доносилаца одлука, као и осталих заинтересованих страна.

У сектору управљања отпадом, у поступку избора критеријума, најчешће се користи тзв. top-down приступ. Реализација најбоље могуће варијанте система управљања отпадом представља основни, односно стратешки циљ. Да би он био остварен, потребно је дефинисати, и у максимално могућем обиму реализовати, одређени број главних циљева (слика 7.1).



Слика 7.1 Избор критеријума одлучивања на основу постављених главних циљева

У контексту процеса вишекритеријумског одлучивања, спроведеног у овој дисертацији, имплементирани су следећи главни циљеви:

- заштита животне средине, смањењем свих могућих утицаја приликом примене алтернативних опција управљања отпадом,
- стање техничких капацитета и применљивост технологије,

- финансијска одрживост пројектованог система,
- користи за локалну заједницу и друштво у целини које доноси примена одређених технологија и
- усклађеност са законском регулативом из сектора отпада и заштите животне средине.

У складу са наведеним пројектованим циљевима, дефинисани су и одговарајући критеријуми у оквиру процеса симулације и вредновања алтернативних технологија управљања комуналним чврстим отпадом. Ови критеријуми се могу сврстати у следећих пет категорија:

- 1) **Еколошки критеријуми** (емисије гасова стаклене баште, емисије сумпор-диоксида, уштеда конвенционалних горива, генерисање отпадних вода, потрошња воде, продукција неопасног отпада, продукција опасног отпада, загађење буком),
- 2) **Техничко – енергетски критеријуми** (постојеће искуство – поузданост, прилагодљивост локалним условима, флексибилност, енергетска потрошња, енергетска продукција, секундарни производи, повезаност са рециклажним активностима),
- 3) **Економски критеријуми** (капитални трошкови, трошкови функционисања и одржавања, приходи од производа, потребна површина земљишта, тржишно стање производа, екстерни трошкови и добити),
- 4) **Социолошки критеријуми** (друштвена прихватљивост, визуелни утицај, прихватање ризика, квалитет запошљавања, стварање нових радних места) и
- 5) **Законско – регулативни критеријуми** (усклађивање са приоритетима домаћег и законодавства ЕУ, допринос достизању циљева Директиве о депонијама).

Да би се спровела ефикасна и поуздана симулација изабраних сценарија управљања отпадом, потребно је дефинисати рејтинге и тежинске коефицијенте за сваки од појединачних критеријума. Вредност рејтинга може да варира од 0 (потпуно неважно) до 100 (максимално важно). Тежински коефицијенти, зависно од одговарајуће вредности рејтинга и укупног броја критеријума, представљају релативну вредност утицаја појединачног критеријума. У прелиминарној фази симулација, коришћене су препоручене вредности, настале као резултат анализа и истраживања спроведених за суседне земље чланице Европске уније (Alevridou и сар, 2011). Током главне фазе процеса симулације, извршено је специфично варирање рејтинга и тежинских коефицијената, са циљем утврђивања утицаја важности појединих врста критеријума. Током поступка конципирања једног сложеног система управљања комуналним отпадом, реално је очекивати извесан сукоб интереса различитих учесника у процесу. Отуда, варијацијом вредности рејтинга и тежинских коефицијената може се упоредити величина утицаја тих промена што ће, у крајњој инстанци, свакако пружити додатне корисне информације доносиоцима коначних одлука.

## 7.1.2 Мултипараметарска анализа и вишекритеријумско одлучивање

У циљу спровођења мултипараметарске анализе и поступка вишекритеријумског одлучивања, као и коначног избора оптималних опција управљања отпадом, у оквиру овог одељка извршене су симулације предложених сценарија кроз примену софтверског пакета DSS.

Табела 7.1 Преглед критеријума, рејтинга и тежинских коефицијента

	КРИТЕРИЈУМ	РЕЈТИНГ	ТЕЖИНА (%)
Еколошки критеријуми	Емисије гасова стаклене баште (tn CO <sub>2</sub> eq/t)	60	4,55
	Емисије у ваздух (t SO <sub>2</sub> eq/t)	60	4,55
	Уштеда конвенционалних горива (toe/t)	30	2,27
	Генерисање отпадних вода (1 ÷ 100 min)	10	0,76
	Потрошња воде (m <sup>3</sup> /t)	20	1,52
	Производња неопасног отпада (% input)	60	4,55
	Производња опасног отпада (% input)	40	3,03
	Загађење буком (1÷100min)	10	0,76
Техничко – енергетски критеријуми	Постојеће искуство – поузданост (1÷100 max)	50	3,79
	Прилагодљивост локалним условима (1÷100 max)	50	3,79
	Флексибилност (1 ÷ 100 max)	40	3,03
	Енергетска потрошња (kWh/t)	50	3,79
	Енергетска производња (kWh/t)	50	3,79
	Секундарни производи (% input)	60	4,55
	Повезаност са рециклажним активностима (1÷100 max)	60	4,55
Економски критеријуми	Капитални трошкови (€/t)	80	6,06
	Трошкови функционисања и одржавања (€/t)	80	6,06
	Приходи од производа (€/t)	70	5,30
	Потребна површина земљишта (m <sup>2</sup> /t)	10	0,76
	Тржишно стање производа (1÷100 max)	50	3,79
	Екстерни трошкови и добити (€/t)	20	1,52
Социолошки критеријуми	Друштвена прихватљивост (1÷100 max)	70	5,30
	Визуелни утицај (1÷100 max)	10	0,76
	Прихватање ризика (1÷100 max)	40	3,03
	Квалитет запошљавања (1÷100 max)	20	1,52
	Стварање нових радних места (1÷100 max)	20	1,52
Законско – регулативни критеријуми	Усклађивање са приоритетима законодавства ЕУ (1÷100 max)	100	7,58
	Допринос достизању циљева депонијске директиве (1÷100 max)	100	7,58

Мултипараметарска анализа сваке од креираних алтернативних опција управљања отпадом, обухватила је израчунавање, укупно тринаест, различитих економско-еколошко-енергетских показатеља. Ради коначног оцењивања и поређења предложених алтернативних решења, на бази методе ВКО, неопходно је дефинисати одговарајуће рејтинге и тежинске коефицијенте одабраних критеријума.

Из пет критеријумских категорија, наведених у претходном одељку, издваја се осам еколошких, седам техничко-енергетских и шест економских критеријума. Поред ових, за потребе процеса ВКО, уведено је и пет критеријума из групе социолошких и два из групе правно-регулативних. Вредности тежинских коефицијената и поменутих економско-еколошко-енергетских параметара утичу на вредновање и рангирање сваке од симулираних опција. На основу рејтинга, преко вредности тежинских коефицијената, директно се утиче на коначну оцену сваке од анализираних опција. Тежински коефицијенти репрезентују релативни значај појединачног критеријума у оквиру групе свих критеријума коришћених у процесу ВКО. Са порастом вредности рејтинга, наглашава се и његов значај у процесу оцењивања алтернативних опција управљања. Сума вредности тежинских коефицијената свих критеријума износи 100. Варијацијом рејтинга појединих критеријума долази и до промена релативних вредности тежинских коефицијената. На тај начин се читав систем може испитивати у складу са евентуалним наглашеним интересима појединих учесника и заинтересованих страна у процесу доношења одлука.

У табели 7.1 дат је преглед коришћених критеријума, као и вредности одговарајућих рејтинга и тежинских коефицијената. Квантификација критеријума је у првом кораку симулација, извршена на основу искустава из сектора управљања комуналним отпадом у земљама Балкана (Alevridou и сар, 2011).

У погледу рејтинга, као високо рангирани критеријуми издвајају се, поред два правно регулативна, и два економска критеријума и то „капитални трошкови“ и „трошкови функционисања и одржавања“. Оба критеријума имају вредност рејтинга 80 и припадају категорији веома важних. Из групе економских, значајан рејтинг (70) има и критеријум „приходи од производа“. Иста вредност рејтинга, што га такође сврстава у групу веома важних, додељена је и критеријуму „друштвена прихватљивост“.

Као нешто ниже рангирани критеријуми, издвајају се три еколошка („генерисање отпадних вода“, „потрошња воде“ и „загађење буком“), затим два економска („потребна површина земљишта“ и „екстерни трошкови и добити“) и три социолошка критеријума („визуелни утицај“, „квалитет запошљавања“ и „стварање нових радних места“). Сви остали критеријуми су сврстани у групу средње рангираних и вредности њихових рејтинга се крећу између 40 и 60.

У прелиминарној фази симулација, према вредностима тежинских коефицијената из табеле 7.1, најзаступљенији су техничко-енергетски критеријуми са релативним утицајем од 27,27%. Следе економски критеријуми са укупним релативним утицајем од 23,48% и еколошки са 21,97%. Најмањи утицај на коначну оцену и рангирање алтернативних сценарија, у овој фази симулација, су имали правно регулативни (15,16%) и социолошки критеријуми (12,12%).

Свакако да на укупан збир тежинских коефицијената, односно, релативни значај појединих критеријумских категорија, утиче бројност појединачних критеријума у оквиру одговарајуће групе. Управо је кроз број предвиђених критеријума дата



предност еколошким (осам критеријума), техничко-енергетским (седам критеријума) и економским аспектима (шест критеријума) потенцијалног система управљања отпадом.

У табелама 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 и 7.7, представљени су резултати мултипараметарских анализа урађених за сваки од четрдесет осам предложених сценарија, за оба разматрана система управљања отпадом. Мултипараметарска анализа и оцењивање сценарија вршени су за већи број параметара него што је то приказано у оквиру табела 7.2 – 7.7. Ипак, ради прегледности, као и истицања значаја појединих параметара, тај број је у табеларном приказу сведен на шест величина и коначну оцену сценарија.

За сваки од сценарија су приказана два еколошка показатеља, који карактеришу "емисије гасова стаклене баште" (GHG) и "емисије сумпор-диоксида" (SO<sub>2</sub>). Од економских параметара представљени су "капитални трошкови" (CE) као и "оперативни трошкови и трошкови одржавања" (OMC). Енергетска потрошња (EC) и енергетска продукција (EP) су изабрани као репрезенти енергетских карактеристика одређеног сценарија. Релативна оцена сваког сценарија је формирана у оквиру затворене групе оцењиваних сценарија. Сценарио са највећом позитивном оценом сматра се оптималним решењем у односу на анализирану групу. Насупрот томе, опција управљања отпадом оцењена са најнижом негативном оценом, представља најлошије решење са аспекта задатих критеријума и у складу са вредностима улазних података. Сума свих оцена у оквиру једне групе разматраних сценарија једнака је нули.

У складу са резултатима спроведених прелиминарних симулација, у табелама 7.2 – 7.7, уоквирена су поља за сценарије који су одабрани у групу најповољнијих решења.

Табела 7.2 Мултипараметарска анализа за сценарије 1Г – 8Г (за шест одабраних параметара)

МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 1Г – 8Г)								
ПАРАМЕТАР	СЦЕНАРИО							
	1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6Г	7Г	8Г
GHG (t eq./a)	-110.190	-108.094	-111.065	-108.970	-19.249	-21.267	-115.896	-21.609
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	-24	-20	-28	-24	-27	-26	-17	-9
EC (MWh)	2.439	2.952	2.952	3.464	2.619	3.644	2.849	3.439
EP (MWh)	0	0	3.074	3.074	2.687	5.761	0	5.146
CE (€)	8.793.175	8.793.175	13.864.747	13.864.747	11.456.065	16.527.637	8.752.193	15.472.340
OMC (€)	2.267.860	2.267.860	3.164.350	3.164.350	2.627.710	3.524.200	2.293.474	3.370.516
РАНГ (ОЦЕНА)	2 (0,1377)	3 (0,0384)	5 (-0,0424)	8 (-0,1168)	1 (0,1482)	7 (-0,0953)	4 (-0,0086)	6 (-0,0613)

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, EC – енергетска потрошња, EP – енергетска продукција, CE – капитални трошкови, OMC – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

Напомена: Уоквирена поља односе се на сценарије који су изабрани након прелиминарне фазе симулација

**Табела 7.3** Мултипараметарска анализа за сценарије 9Г – 16Г (за шест одабраних параметара)

<b>МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 9Г – 16Г)</b>										
<b>ПАРАМЕТАР</b>	<b>СЦЕНАРИО</b>									
	<b>9Г</b>	<b>10Г</b>	<b>11Г</b>	<b>12Г</b>	<b>13Г</b>	<b>14Г</b>	<b>15Г</b>	<b>16Г</b>		
GHG (t eq./a)	-107.467	-117.168	-108.828	-23.909	-13.568	-24.683	-118.766	-21.822		
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	5	-12	-10	-4	-11	-6	-10	-17		
ЕС (MWh)	4.489	3.336	3.464	3.915	3.849	4.054	3.874	3.439		
ЕР (MWh)	0	0	0	4.193	2.687	2.687	1.844	2.687		
СЕ (€)	8.588.263	8.741.947	8.690.719	13.836.630	11.333.118	11.333.118	11.754.153	11.415.083		
ОМС (€)	2.395.930	2.299.878	2.331.895	3.132.306	2.704.552	2.704.552	2.856.982	2.653.324		
<b>РАНГ (ОЦЕНА)</b>	<b>7 (-0,0751)</b>	<b>2 (0,0742)</b>	<b>1 (0,0822)</b>	<b>3 (0,0248)</b>	<b>5 (0,0121)</b>	<b>6 (-0,0134)</b>	<b>8 (-0,1244)</b>	<b>4 (0,0194)</b>		

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, ЕС – енергетска потрошња, ЕР – енергетска продукција, СЕ – капитални трошкови, ОМС – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

Напомена: Уоквирена поља односе се на сценарије који су изабрани након прелиминарне фазе симулација

Табела 7.4 Мултипараметарска анализа за сценарије 17Г – 24Г (за шест одабраних параметара)

МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 17Г – 24Г)										
ПАРАМЕТАР	СЦЕНАРИО									
	17Г	18Г	19Г	20Г	21Г	22Г	23Г	24Г		
GHG (t eq./a)	-114.237	-115.113	-118.385	-24.226	-15.201	-20.908	-23.397	-115.380		
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	-23	-9	-7	-8	-28	-21	-11	-18		
ЕС (MWh)	2.439	2.952	3.464	3.849	2.619	3.029	3.644	2.952		
ЕР (MWh)	0	3.074	0	2.687	2.687	2.687	2.687	0		
СЕ (€)	8.793.175	13.864.747	8.690.719	11.333.118	11.456.065	11.415.083	11.353.609	8.793.175		
ОМС (€)	2.267.860	3.164.350	2.331.895	2.704.552	2.627.710	2.653.324	2.691.745	2.267.860		
РАНГ (ОЦЕНА)	1 (0,1222)	3 (0,0006)	5 (-0,0183)	8 (-0,0814)	2 (0,0944)	6 (-0,0399)	7 (-0,0716)	4 (-0,0061)		

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, ЕС – енергетска потрошња, ЕР – енергетска продукција, СЕ – капитални трошкови, ОМС – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

Напомена: Уоквирена поља односе се на сценарије који су изабрани након прелиминарне фазе симулација



Табела 7.5 Мултипараметарска анализа за сценарије 1P – 8P (за шест одабраних параметара)

<b>МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 1P – 8P)</b>									
<b>ПАРАМЕТАР</b>	<b>СЦЕНАРИО</b>								
	<b>1P</b>	<b>2P</b>	<b>3P</b>	<b>4P</b>	<b>5P</b>	<b>6P</b>	<b>7P</b>	<b>8P</b>	
GHG (t eq./a)	-327.554	-321.324	-345.584	-347.958	-57.218	-353.291	-345.199	-62.831	
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	-72	-60	-66	123	-81	187	84	73	
EC (MWh)	7.251	8.774	10.297	15.688	7.786	13.343	11.536	12.071	
EP (MWh)	0	0	9.137	35.731	7.987	41.572	27.841	35,828	
CE (€)	26.138.305	26.138.305	41.213.827	47.183.125	34.054.159	61.619.079	47.426.769	55.342.623	
OMC (€)	6.741.360	6.741.360	9.406.225	9.177.808	7.811.070	10.548.310	9.025.530	10.095.240	
<b>РАНГ (ОЦЕНА)</b>	<b>2 (0,1898)</b>	<b>3 (0,0874)</b>	<b>4 (0,0352)</b>	<b>7 (-0,1717)</b>	<b>1 (0,2274)</b>	<b>8 (-0,1943)</b>	<b>6 (-0,0904)</b>	<b>5 (-0,0835)</b>	

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, EC – енергетска потрошња, EP – енергетска потрошња, EP – енергетска продукција, CE – капитални трошкови, OMC – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

Напомена: Уоквирена поља односе се на сценарије који су изабрани након прелиминарне фазе симулација

Табела 7.6 Мултипараметарска анализа за сценарије 9P – 16P (за шест одабраних параметара)

МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 9P – 16P)										
ПАРАМЕТАР	СЦЕНАРИО									
	9P	10P	11P	12P	13P	14P	15P	16P		
GHG (t eq./a)	-319.462	-62.831	-348.297	-345.510	-323.508	-76.364	-344.469	-63.142		
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	16	73	-35	86	-28	1	90	74		
EC (MWh)	13.343	12.071	9.916	13.258	10.297	12.735	12.649	13.793		
EP (MWh)	0	35.828	0	33.814	0	10.271	30.160	41.802		
CE (€)	25.529.193	55.342.623	25.986.027	53.456.978	25.833.749	37.366.206	47.426.769	61.372.832		
OMC (€)	7.122.055	10.095.240	6.836.534	10.091.476	6.931.708	8.762.808	9.025.530	11.161.186		
<b>РАНГ (ОЦЕНА)</b>	<b>5 (-0,0153)</b>	<b>4 (0,0199)</b>	<b>3 (0,0974)</b>	<b>7 (-0,1184)</b>	<b>2 (0,1068)</b>	<b>1 (0,1078)</b>	<b>6 (-0,0629)</b>	<b>8 (-0,1352)</b>		

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, ЕС – енергетска потрошња, EP – енергетска продукција, CE – капитални трошкови, OMC – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

Напомена: Уоквирана поља односе се на сценарије који су изабрани након прелиминарне фазе симулација

Табела 7.7 Мултипараметарска анализа за сценарије 17Р – 24Р (за шест одабраних параметара)

МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 17Р – 24Р)										
ПАРАМЕТАР	СЦЕНАРИО									
	17Р	18Р	19Р	20Р	21Р	22Р	23Р	24Р		
GHG (t eq./a)	-339.585	-342.981	-45.186	-38.956	-60.613	-47.789	-59.820	-63.216		
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	-70	-55	-84	-71	-66	-96	-37	-78		
EC (MWh)	7.251	8.774	7.786	9.309	9.309	9.309	9.309	10.832		
EP (MWh)	0	0	7.987	7.987	7.987	17.124	17.124	17.124		
CE (€)	26.138.305	26.138.305	34.054.159	34.054.159	34.054.159	49.129.681	49.129.681	49.129.681		
OMC (€)	6.741.360	6.741.360	7.811.070	7.811.070	7.811.070	10.475.935	10.475.935	10.475.935		
РАНГ (ОЦЕНА)	1 (0,1070)	3 (0,0448)	2 (0,0705)	6 (-0,0224)	4 (0,0220)	7 (-0,0950)	5 (0,0170)	8 (-0,1439)		

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, ЕС – енергетска потрошња, EP – енергетска продукција, CE – капитални трошкови, OMC – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

Напомена: Уоквирена поља односе се на сценарије који су изабрани након прелиминарне фазе симулација

Треба истаћи да је, због ограниченог броја сценарија који у оквиру једне анализе могу да се упореде, у прелиминарној фази симулација увек вршена затворена анализа за највише девет алтернативних решења (разматрање релативно малог броја алтернатива је карактеристично за све методе вишеатрибутског одлучивања у које спада и PROMETHEE метода, на бази које је конципиран софтверски пакет DSS). У циљу поређења сценарија који, у прелиминарној фази нису припадали истој групи, ова алгоритамска специфичност је превазиђена накнадним, парцијалним, поређењима варијантних решења са блиским вредностима оцена. Коначно, поређењем оцена свих четрдесет осам сценарија (у оквиру две подгрупе, 24 + 24), извршен је избор од по девет најбоље оцењених сценарија за град Крагујевац и Регион.

Спровођењем прелиминарних симулација и свођењем варијантних решења на мањи број, реализована је друга фаза симулација и поређење најбоље оцењених сценарија. Са посебном пажњом су реализоване и две анализе осетљивости резултата, са варијацијама састава отпада и варијацијама вредности рејтинга и тежинских коефицијената критеријума. Ради лакшег праћења даљег текста, извршена је и промена ознака сценарија који су ушли у други круг симулација, што је и приказано у табели 7.8.

**Табела 7.8** Промене ознака одабраних сценарија из прелиминарне фазе

ГРАД		РЕГИОН	
Стара ознака	Нова ознака	Стара ознака	Нова ознака
1Г	1ФГ	1Р	1ФР
2Г	2ФГ	2Р	2ФР
5Г	3ФГ	5Р	3ФР
10Г	4ФГ	14Р	4ФР
11Г	5ФГ	17Р	5ФР
17Г	6ФГ	18Р	6ФР
18Г	7ФГ	19Р	7ФР
21Г	8ФГ	21Р	8ФР
24Г	9ФГ	23Р	9ФР

У табелама 7.9 и 7.10, приказани су резултати спроведене мултипараметарске анализе прелиминарно одабраних сценарија управљања комуналним чврстим отпадом за град Крагујевац и Регион (са новим ознакама датим у табели 7.8). Приказани су исти параметри као и у табелама 7.2 – 7.7, и то по два из група еколошких, енергетских и економских перформанси одређеног сценарија. У оба случаја, и градског и регионалног система, а на основу оцене сваке од алтернатива, извршено је рангирање прелиминарно одабраних сценарија. Оцене, за поједине сценарије у другом кругу симулација, разликују се у значајној мери од оцена које су, та иста алтернативна решења, добила приликом првог круга вредновања и прелиминарног рангирања. То објективно нема никакав значај, јер је свако оцењивање сценарија везано за групу алтернатива које се пореде и увек, у сваком кругу симулација и поређења алтернативних решења, оцене имају релативан карактер.



Табела 7.9 Резултати мултипараметарске анализе прелиминарно одобрених сценарија за град Крагујевац

МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 1ФГ – 9ФГ)									
ПАРАМЕТАР	СЦЕНАРИО								
	1ФГ (1Г)	2ФГ (2Г)	3ФГ (5Г)	4ФГ (10Г)	5ФГ (11Г)	6ФГ (17Г)	7ФГ (18Г)	8ФГ (21Г)	9ФГ (24Г)
GHG (t eq./a)	-110.190	-108.094	-19.249	-117.168	-108.828	-114.237	-115.113	-15.201	-115.380
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	-24	-20	-27	-12	-10	-23	-9	-28	-18
ЕС (MWh)	2.439	2.952	2.619	3.336	3.464	2.439	2.952	2.619	2.952
ЕР (MWh)	0	0	2.687	0	0	0	3.074	2.687	0
СЕ (€)	8.793.175	8.793.175	11.456.065	8.741.947	8.690.719	8.793.175	13.864.747	11.456.065	8.793.175
ОМС (€)	2.267.860	2.267.860	2.627.710	2.299.878	2.331.895	2.267.860	3.164.350	2.627.710	2.267.860
РАНГ (ОЦЕНА)	2 (0,0802)	7 (-0,0244)	3 (0,0592)	8 (-0,1132)	9 (-0,1178)	1 (0,0981)	6 (-0,0184)	4 (0,0369)	5 (-0,0005)

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, ЕС – енергетска потрошња, ЕР – енергетска продукција, СЕ – капитални трошкови, ОМС – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

Табела 7.10 Резултати мултипараметарске анализе прелиминарно одабраних сценарија за Регион

МУЛТИПАРАМЕТАРСКА АНАЛИЗА (ЗА СЦЕНАРИЈЕ 1ФР – 9ФР)										
ПАРАМЕТАР	СЦЕНАРИО									
	1ФР (1Р)	2ФР (2Р)	3ФР (5Р)	4ФР (10Р)	5ФР (11Р)	6ФР (17Р)	7ФР (18Р)	8ФР (21Р)	9ФР (24Р)	
GHG (t eq./a)	-327.554	-321.324	-57.218	-76.364	-339.585	-342.981	-45.186	-60.613	-59.820	
SO <sub>2</sub> (t eq./a)	-72	-60	-81	1	-70	-55	-84	-66	-37	
EC (MWh)	7.251	8.774	7.786	12.735	7.251	8.774	7.786	9.309	9.309	
EP (MWh)	0	0	7.987	10.271	0	0	7.987	7.987	17.124	
CE (€)	26.138.305	26.138.305	34.054.159	37.366.206	26.138.305	26.138.305	34.054.159	34.054.159	49.129.681	
OMC (€)	6.741.360	6.741.360	7.811.070	8.762.808	6.741.360	6.741.360	7.811.070	7.811.070	10.475.935	
РАНГ (ОЦЕНА)	2 (0,0554)	8 (-0,0397)	3 (0,0513)	9 (-0,1453)	1 (0,0831)	5 (0,0048)	4 (0,0256)	7 (-0,0289)	6 (-0,0062)	

(GHG – емисија гасова стаклене баште, SO<sub>2</sub> – емисије сумпор-диоксида, EC – енергетска потрошња, EP – енергетска потрошња, ER – енергетска продукција, SE – капитални трошкови, OMC – оперативни трошкови и трошкови одржавања)

На основу добијених резултата спроведених симулација и поређењем одговарајућих вредности параметара, прелиминарно изабраних варијантних решења, може се закључити да, у контексту управљања комуналним отпадом на територији града Крагујевац, најповољнију алтернативу представља сценарио са ознаком 6ФГ. У оквиру овог система, за третман биолошког отпада предвиђен је процес компостирања, за третман амбалажног отпада MRF постројење, док је за третман мешаног отпада планирана изградња једног постројења које укључује механичко – биолошки третман са компостирањем органске компоненте отпада, као и рециклажу рециклабилних материјала. RDF и SRF компоненте се, према овом сценарију, усмеравају у постројења за добијање енергије.

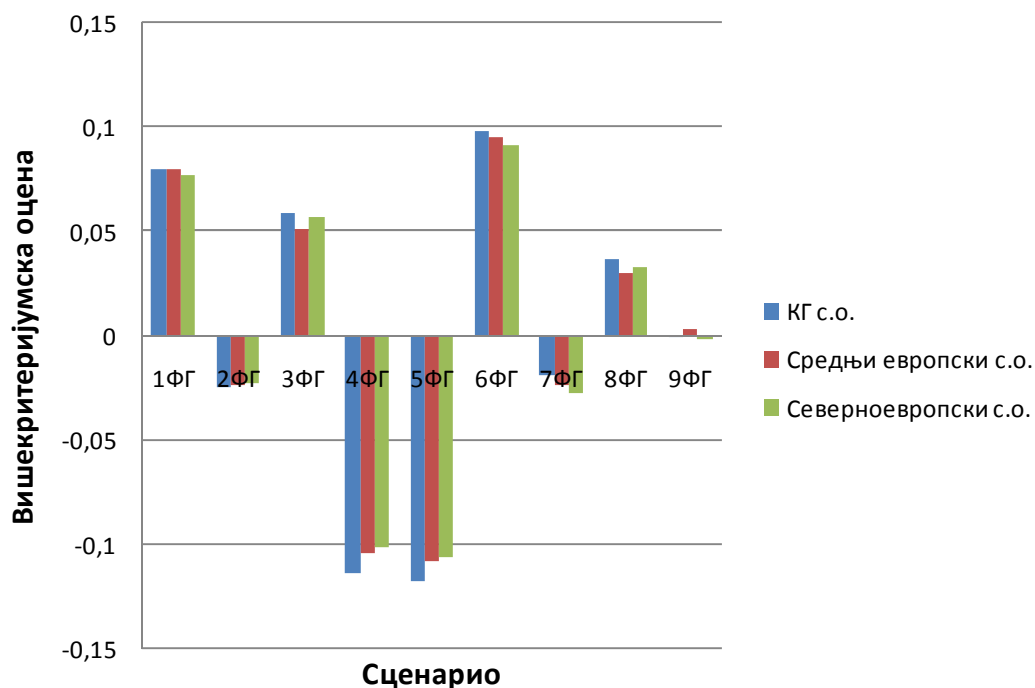
### 7.1.2.1 Анализа утицаја варијација састава отпада

У циљу потпуније верификације првобитног рангирања алтернативних решења, спроведене су допунске симулације, прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац, са варијацијама састава отпада. Треба истаћи да су у овој анализи коришћени састави отпада из три карактеристична европска региона, како је то образложено у одељку 6.1 (слика 6.2 и табела 6.3). Резултати, у виду рангирања и оцене сценарија дати су у табели 7.11, и на дијаграму на слици 7.2.

**Табела 7.11** Рангирање сценарија са променом градског састава отпада

Ранг	САСТАВ ОТПАДА		
	КГ	Средњи европски	Северно-европски
1.	6ФГ(0,0981)	6ФГ(0,0958)	6ФГ(0,0912)
2.	1ФГ(0,0802)	1ФГ(0,0796)	1ФГ(0,0775)
3.	3ФГ(0,0592)	3ФГ(0,0516)	3ФГ(0,0568)
4.	8ФГ(0,0369)	8ФГ(0,0299)	8ФГ(0,0333)
5.	9ФГ(-0,0005)	9ФГ(0,0032)	9ФГ(-0,0018)
6.	7ФГ(-0,0184)	2ФГ(-0,0236)	2ФГ(-0,0224)
7.	2ФГ(-0,0244)	7ФГ(-0,0239)	7ФГ(-0,0274)
8.	4ФГ(-0,1132)	4ФГ(-0,1043)	4ФГ(-0,1010)
9.	5ФГ(-0,1178)	5ФГ(-0,1083)	5ФГ(-0,1063)

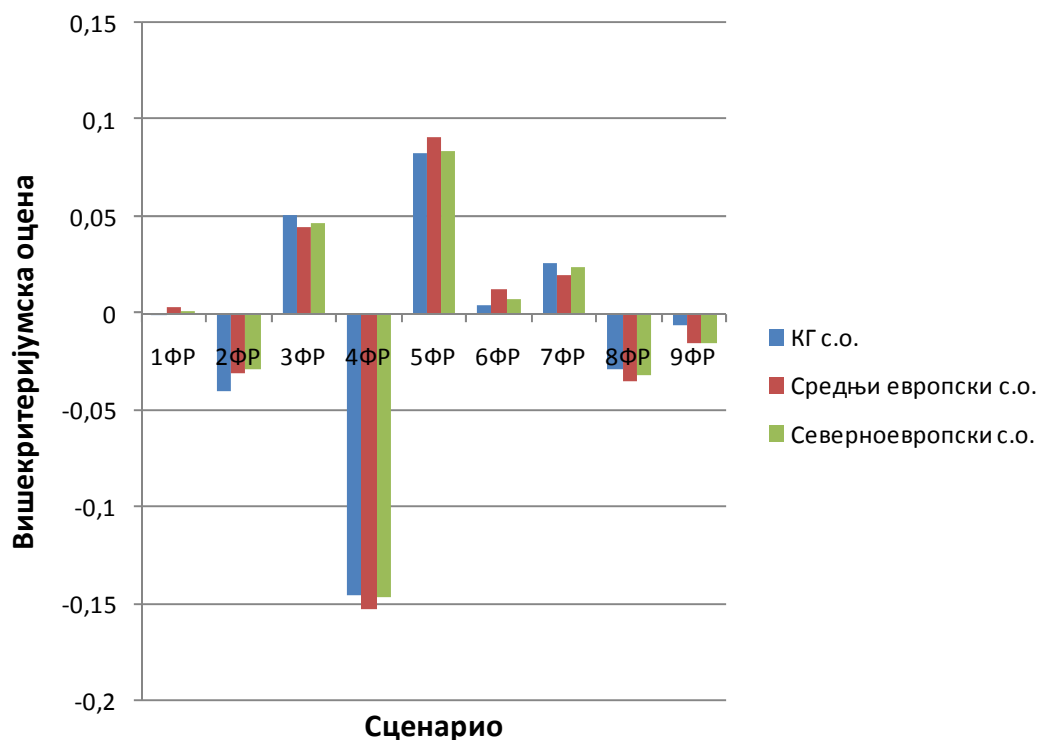
Из података, приказаних у табели 7.11, може се уочити да нема битних поремећаја у рангирању сценарија. Благи тренд смањења оцене се јавља у случају процеса компостирања, када се састав (КГ) отпада замени северно-европским типом. До тога долази услед промена удела органске компоненте, која се упућује на компостирање. Рециклажни процес, у смислу утицаја на раст коначне оцене сценарија, добија на значају са повећањем удела папирног, односно амбалажног отпада. Процес биолошког сушења, као саставног дела неког сценарија, такође, показује позитивнији утицај при третману северноевропског типа отпада.



Слика 7.2 Оцене прелиминарно изабраних сценарија за град Крагујевац уз варијације састава отпада

Табела 7.12 Рангирање сценарија са променом састава отпада на нивоу Региона

Ранг	САСТАВ ОТПАДА		
	КГ	Средњи европски	Северно-европски
1.	5ФР(0,0831)	5ФР(0,0907)	5ФР(0,0838)
2.	1ФР(0,0554)	1ФР(0,0639)	1ФР(0,0578)
3.	3ФР(0,0513)	3ФР(0,0448)	3ФР(0,0467)
4.	7ФР(0,0256)	7ФР(0,0203)	7ФР(0,0239)
5.	6ФР(0,0048)	6ФР(0,0129)	6ФР(0,0080)
6.	9ФР(-0,0062)	9ФР(-0,0147)	9ФР(-0,0147)
7.	8ФР(-0,0289)	2ФР(-0,0306)	2ФР(-0,0281)
8.	2ФР(-0,0397)	8ФР(-0,0350)	8ФР(-0,0315)
9.	4ФР(-0,1453)	4ФР(-0,1523)	4ФР(-0,1458)



**Слика 7.3** Оцене прелиминарно изабраних сценарија за Регион уз варијације састава отпада

### 7.1.2.2 Варијације рејтинга и тежинских коефицијената критеријума

Поред приступа вишекритеријумског одлучивања, поступак конципирања једног оваквог сложеног система може се назвати и мултиинтересним процесом. Неизбежно је да ће, приликом креирања и избора најбоље опције управљања комуналним отпадом на нивоу града, а посебно на нивоу региона, велики број заинтересованих чинилаца бити укључен у тај процес. Инвеститори, и одговорни за управљање локалним буџетима, водиће рачуна о потребним инвестицијама ради реализације једног таквог пројекта. Поред тога, њихов предмет интересовања биће и краткорочна и дугорочна исплативост предвиђеног система и евентуалних енергетских потенцијала. Са друге стране, може се претпоставити њихово релативно мало интересовање за еколошке аспекте и штетне утицаје на животну средину. Насупрот њима, у целокупном процесу, реално је очекивати да ће се појавити чиниоци којима су ти фактори веома важни. Одговорне службе локалне самоуправе, поред осталог, првенствено морају водити рачуна о законској регулативи која се мора испоштовати приликом реализације читавог пројекта. Утицај грађана, посебно оних чије је место становања близу потенцијалних постројења, свакако ће представљати веома значајан фактор приликом доношења коначних одлука. Енергетски аспекти система имају одређен значај за сваку од интересних група, па и овај сегмент треба пажљиво уклопити у општу концепцију оптималног решења.

У смислу унапређења целокупне анализе, у оквиру овог одељка, извршена је симулација функционисања најбољих сценарија, уз варијације тежинских коефицијената критеријума.

Табела 7.13 Варијације рејтинга (P) и тежинских коефицијената (T) одабраних критеријума

КРИТЕРИЈУМ	ТЕЖИНСКИ КОЕФИЦИЈЕНТИ ПО ВАРИЈАНТАМА											
	I		II		III		IV		V			
	P	T	P	T	P	T	P	T	P	T		
ЕКОЛОШКИ КРИТЕРИЈУМИ	Емисије гасова стаклене баште (t CO <sub>2</sub> eq/t)	60	4,55	100	6,67	50	3,42	50	3,21	100	6,37	
	Емисије у ваздух (t SO <sub>2</sub> eq/t)	60	4,55	100	6,67	50	3,42	50	3,21	100	6,37	
	Уштеда конвенционалних горива (toe/t)	30	2,27	80	5,33	50	3,42	50	3,21	50	3,18	
	Генерисање отпадних вода (1 ÷ 100 min)	10	0,76	80	5,33	50	3,42	50	3,21	50	3,18	
	Потрошња воде (m <sup>3</sup> /t)	20	1,52	80	5,33	30	2,05	30	1,92	30	1,91	
	Продукција неопасног отпада (% input)	60	4,55	60	4,00	30	2,05	30	1,92	30	1,91	
	Продукција опасног отпада (% input)	40	3,03	60	4,00	30	2,05	30	1,92	30	1,91	
	Загађење буком (1÷100 min)	10	0,76	50	3,33	30	2,05	30	1,92	30	1,91	
	Постојеће искуство – поузданост (1÷100 max)	50	3,79	10	0,67	50	3,42	30	1,92	30	1,91	
	Прилагодљивост локалним условима (1÷100 max)	50	3,79	30	2,00	50	3,42	50	3,21	50	3,18	
ТЕХНИЧКО – ЕНЕРГЕТСКИ КРИТЕРИЈУМИ	Флексибилност (1 ÷ 100 max)	40	3,03	20	1,33	50	3,42	30	1,92	30	1,91	
	Енергетска потрошња (kW/h/t)	50	3,79	50	3,33	100	6,85	50	3,21	100	6,37	
	Енергетска продукција (kW/h/t)	50	3,79	50	3,33	100	6,85	50	3,21	100	6,37	
	Секундарни производи (% input)	60	4,55	20	1,33	50	3,42	30	1,92	30	1,91	
	Повезаност са рециклажним активностима (1÷100 max)	60	4,55	20	1,33	50	3,42	30	1,92	30	1,91	
	Повезаност са рециклажним активностима (1÷100 max)	60	4,55	20	1,33	50	3,42	30	1,92	30	1,91	

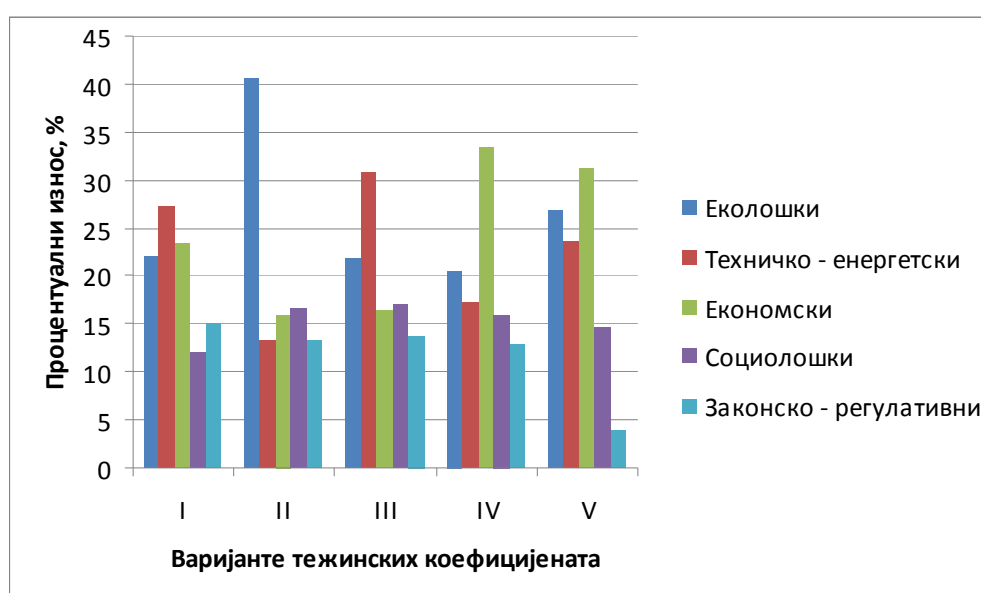


Табела 7.13а Варијације рејтинга (Р) и тежинских коефицијената (Т) одабраних критеријума

КРИТЕРИЈУМ		ТЕЖИНСКИ КОЕФИЦИЈЕНТИ ПО ВАРИЈАНТАМА											
		I		II		III		IV		V			
		P	T	P	T	P	T	P	T	P	T		
ЕКОНОМСКИ КРИТЕРИЈУМИ	Капитални трошкови (€/t)	80	6,06	50	3,33	50	3,42	100	6,41	100	6,37	100	6,37
	Трошкови функционисања и одржавања (€/t)	80	6,06	50	3,33	50	3,42	100	6,41	100	6,37	100	6,37
	Приходи од производа (€/t)	70	5,30	50	3,33	50	3,42	100	6,41	100	6,37	100	6,37
	Потребна површина земљишта (m <sup>2</sup> /t)	10	0,76	50	3,33	50	3,42	100	6,41	100	6,37	100	6,37
	Тржишно стање производа (1÷100 max)	50	3,79	20	1,33	20	1,37	60	3,85	30	1,91	60	3,82
	Екстерни трошкови и добити (€/t)	20	1,52	20	1,33	20	1,37	60	3,85	60	3,82	50	3,18
СОЦИОЛОШКИ КРИТЕРИЈУМИ	Друштвена прихватљивост (1÷100 max)	70	5,30	50	3,33	50	3,42	50	3,21	50	3,18	50	3,18
	Визуелни утицај (1÷100 max)	10	0,76	50	3,33	50	3,42	50	3,21	50	3,18	50	3,18
	Прихватање ризика (1÷100 max)	40	3,03	50	3,33	50	3,42	50	3,21	50	3,18	50	3,18
	Квалитет запошљавања (1÷100 max)	20	1,52	50	3,33	50	3,42	50	3,21	30	1,91	50	3,18
ЗАКОНСКО – РЕГУЛАТИВНИ КРИТЕРИЈУМИ	Стварање нових радних места (1÷100 max)	20	1,52	50	3,33	50	3,42	50	3,21	50	3,18	50	3,18
	Усклађивање са приоритетима законодавства ЕУ (1÷100 max)	100	7,58	100	6,67	100	6,85	100	6,41	30	1,91	100	6,41
	Допринос достизању циљева депонијске директиве(1÷100 max)	100	7,58	100	6,67	100	6,85	100	6,41	30	1,91	100	6,41

За потребе овог дела анализе, формирано је укупно пет варијанти са различитим вредностима рејтинга и тежинских коефицијената критеријума. Поред вредности из прелиминарних симулација (I варијанта), у другој варијанти приоритет је дат еколошким критеријумима, у трећој појединим енергетско-техничким, а у четвртој, економским карактеристикама потенцијалног система. У последњој, петој варијанти скупа вредности коефицијената, смањени су утицаји законске регулативе, која свакако носи одређен степен неизвесности, са аспекта могућих и сталних промена нашег статуса у оквиру ЕУ.

Дијаграмски приказ процентуалне заступљености појединих група критеријума, за свих пет варијанти промене вредности рејтинга и тежинских коефицијената, дат је на слици 7.4.

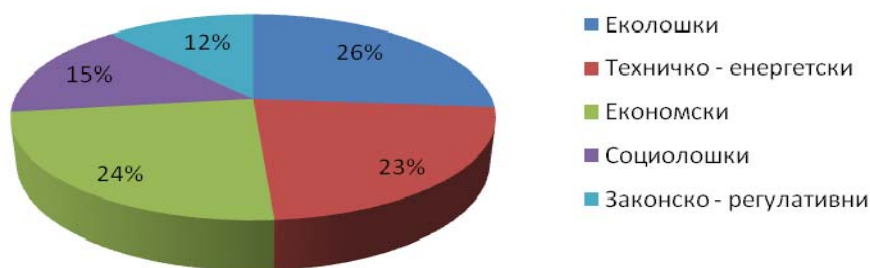


Слика 7.4 Процентуална заступљеност група критеријума по варијантама

Еколошки критеријуми су, у свих пет различитих варијанти вредности тежинских коефицијената критеријума, просечно заступљени са 26,36%. Са друге стране, економски критеријуми чине 24,01%, а техничко-енергетски 22,48%, од укупне критеријумске заступљености у свим варијантама. Просечно најмањи релативни утицај је предвиђен за социолошке (15,31%) и законско-регулативне (11,79%) критеријуме.

Ове осредњене вредности представљају само статистичку категорију, јер су процеси симулације за сваку од пет варијанти, међусобно, потпуно независни. Ипак, може се уочити да су разлике у процентуалној заступљености три доминантне групе критеријума (еколошки, техничко-енергетски и економски) релативно мале. Тиме је достигнута одговарајућа критеријумска избалансираност у току процеса симулација.





Слика 7.5 Просечна процентуална заступљеност група критеријума

На основу формираних варијанти скупова вредности рејтинга и тежинских коефицијената, извршена је симулација по девет најбољих, прелиминарно изабраних сценарија, и за град Крагујевац и за Регион.

Табела 7.14 Рангирање одабраних сценарија (Град) – варијације критеријума

ВАРИЈАНТА КРИТЕРИЈУМА	ГРАД								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
II (ЕКОЛОШКИ)	1ФГ	6ФГ	5ФГ	2ФГ	7ФГ	9ФГ	4ФГ	8ФГ	3ФГ
III (ЕНЕРГЕТСКИ)	1ФГ	6ФГ	8ФГ	3ФГ	2ФГ	7ФГ	9ФГ	5ФГ	4ФГ
IV (ЕКОНОМСКИ)	1ФГ	6ФГ	2ФГ	5ФГ	7ФГ	8ФГ	3ФГ	9ФГ	4ФГ
V (ЕКОЛОШКО – ЕНЕРГЕТСКО - ЕКОНОМСКИ)	1ФГ	6ФГ	2ФГ	7ФГ	5ФГ	8ФГ	3ФГ	9ФГ	4ФГ

Табела 7.15 Рангирање одабраних сценарија (Регион) – варијације критеријума

ВАРИЈАНТА КРИТЕРИЈУМА	РЕГИОН								
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
II (ЕКОЛОШКИ)	5ФР	1ФР	2ФР	6ФР	9ФР	3ФР	7ФР	4ФР	8ФР
III (ЕНЕРГЕТСКИ)	1ФР	5ФР	7ФР	3ФР	2ФР	9ФР	6ФР	8ФР	4ФР
IV (ЕКОНОМСКИ)	1ФР	5ФР	2ФР	7ФР	3ФР	6ФР	9ФР	8ФР	4ФР
V (ЕКОЛОШКО – ЕНЕРГЕТСКО - ЕКОНОМСКИ)	1ФР	5ФР	2ФР	7ФР	3ФР	9ФР	6ФР	4ФР	8ФР

Ова анализа је спроведена са циљем додатне процене утицаја промене тежинских фактора појединих критеријума, на вредности релативних оцена сценарија. На овај начин може се предвидети и могући интензитет утицаја различитих интересних група у оквиру целокупног процеса. Редоследи рангирања најбољих сценарија, у зависности од варијанте тежинских коефицијената, представљени су у табелама 7.14 и 7.15. На основу приказаног, могу се регистровати одређене промене у редоследу најбољих сценарија, приликом примене тежинских коефицијената, за варијанте II, III, IV и V, посматрано у односу на рангирање добијено за варијанту I. Најбољи сценарио за систем управљања комуналним отпадом за град Крагујевац је са ознаком 1ФГ, у свакој од четири додатне варијанте. У случају регионалног система, као најбоље оцењен, издваја се сценарио 1ФР.

Ова два сценарија се, у односу на сценарије 6ФГ и 5ФР, разликују само по опцији третмана RDF и SRF компоненти. Доста значајно померање, на скали најбољих опција управљања, примећено је и за сценарије 2ФГ и 2ФР, такође са опцијом депоновања RDF-а и SRF-а. Своју позицију из варијанте I, ова два сценарија задржавају само у „енергетској“ (III) варијанти критеријума.

**Табела 7.16** Технологије и количине третираног отпада за најбоље рангиране сценарије

Сценарио (прелиминарна и коначна ознака)	Врста отпада				
	Биолошки отпад	Амбалажни отпад	Преостали мешани отпад	Мешани отпад Постројење 1	RDF/SRF
<b>17Г (6ФГ)</b>	Компостирање (11.995 t)	MRF постројење (16.912 t)	МБТ (компостирање и рециклажа) (25.614 t)	100 %	Отпад у енергију
<b>17Р (5ФР)</b>	Компостирање (35.657 t)	MRF постројење (50.271 t)	МБТ (компостирање и рециклажа) (76.139 t)	100 %	Отпад у енергију
<b>1Г (1ФГ)</b>	Компостирање (11.995 t)	MRF постројење (16.912 t)	МБТ (компостирање и рециклажа) (25.614 t)	100 %	Депоновање
<b>1Р (1ФР)</b>	Компостирање (35.657 t)	MRF постројење (50.271 t)	МБТ (компостирање и рециклажа) (76.139 t)	100 %	Депоновање

Ипак, прелиминарно најбоље оцењени сценарији у првој критеријумској варијанти, 6ФГ и 5ФР, задржали су своју високу позицију и у свим другим варијантама,. На основу тога се може закључити да ова два сценарија управљања отпадом (концепцијски идентична, уз значајну разлику у количини третираног отпада) представљају, између свих анализираних, оптимална решења у условима избалансираности тежинских

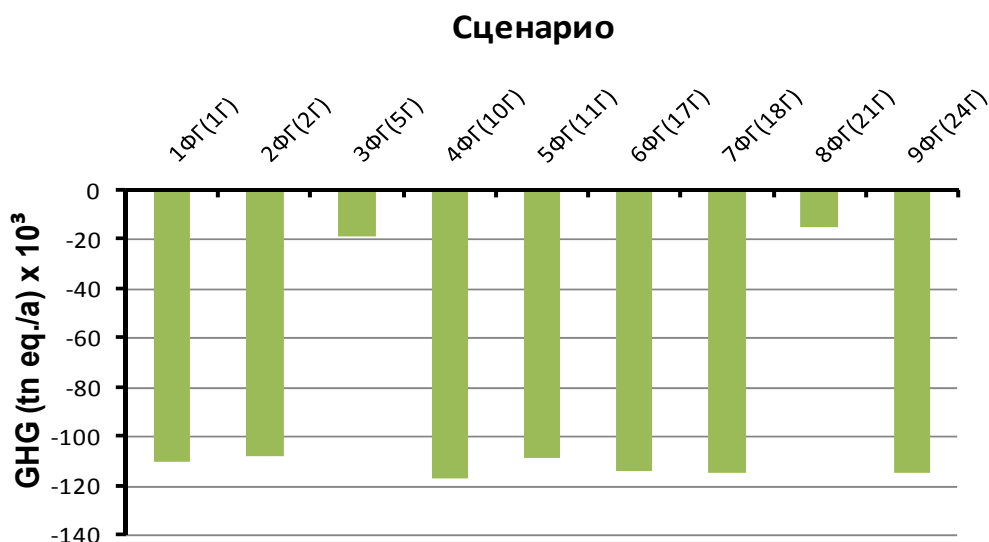
кофицијената критеријума. На овај начин, достиже се и максимална могућа усклађеност интереса различитих чинилаца у целокупном процесу одлучивања.

Технологије третмана и количине отпада за поједине врсте отпада, за четири најбоље оцењена сценарија, представљене су у табели 7.16.

### 7.1.2.3 Вредности еколошких, енергетских и економских параметара најбољих сценарија управљања отпадом за град Крагујевац

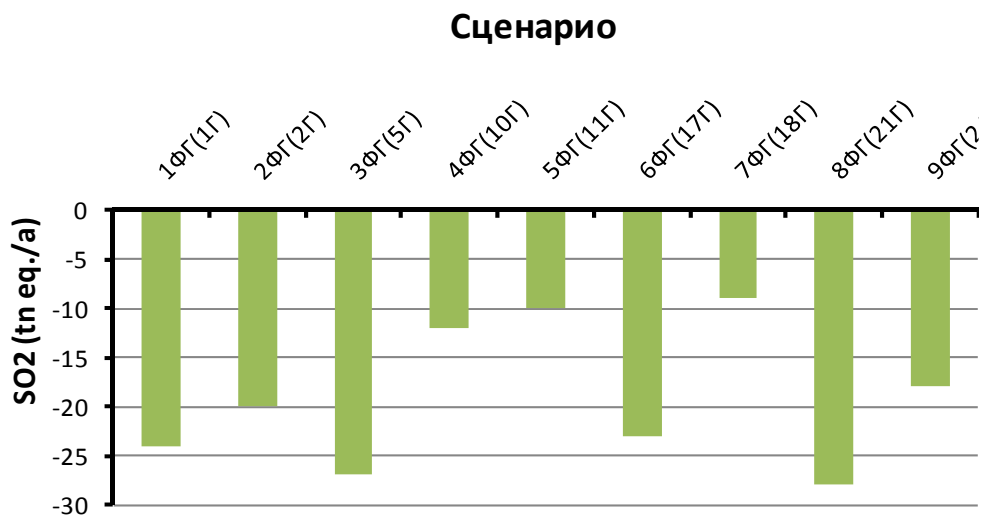
У оквиру овог одељка приказане су и анализирани вредности одабраних еколошких, енергетских и економских перформанси за девет прелиминарно одабраних сценарија, предвиђених за систем управљања комуналним отпадом за град Крагујевац.

На дијаграму са слике 7.6, представљене су емисије гасова стаклене баште за све најбоље „градске“ сценарије. Уочљиво је да су значајно мање уштеде емисија присутне код два сценарија 3ФГ и 8ФГ, којима је заједничко то да је компонента отпада биолошког порекла третирана кроз АД поступак. Код осталих седам сценарија, као опција третмана за ту врсту отпада, предвиђен је процес компостирања. На основу ових очигледних разлика у вредности разматраног фактора, закључује се да је врста третмана биолошке компоненте комуналног отпада од пресудног значаја у погледу количине емисија гасова стаклене баште. Са друге стране, с обзиром на релативно уједначене вредности овог фактора, код сценарија са истом врстом третмана највећег дела органског отпада, постаје очигледно да избор опција третмана осталих врста отпада нема битнији значај.



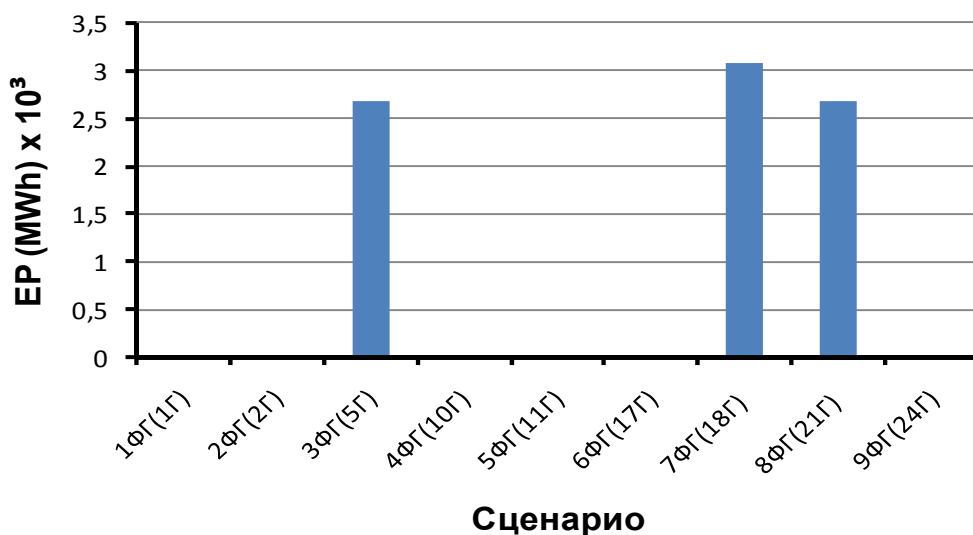
Слика 7.6 Емисије гасова стаклене баште (GHG) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац

Емисије сумпор-диоксида за прелиминарно одабране сценарије за градски систем управљања отпадом приказане су на слици 7.7. Анализом опција третмана код свих сценарија и поређењем вредности емисија  $\text{SO}_2$ , не може се уочити тако јасан тренд као у случају емисија гасова стаклене баште. Ипак, и овде се могу издвојити два од три сценарија са биолошким сушењем, као опцијом третмана мешаног отпада (4ФГ и 5ФГ), код којих је евидентиран мали ниво уштеде емисија  $\text{SO}_2$ .



**Слика 7.7** Емисије сумпор-диоксида ( $\text{SO}_2$ ) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац

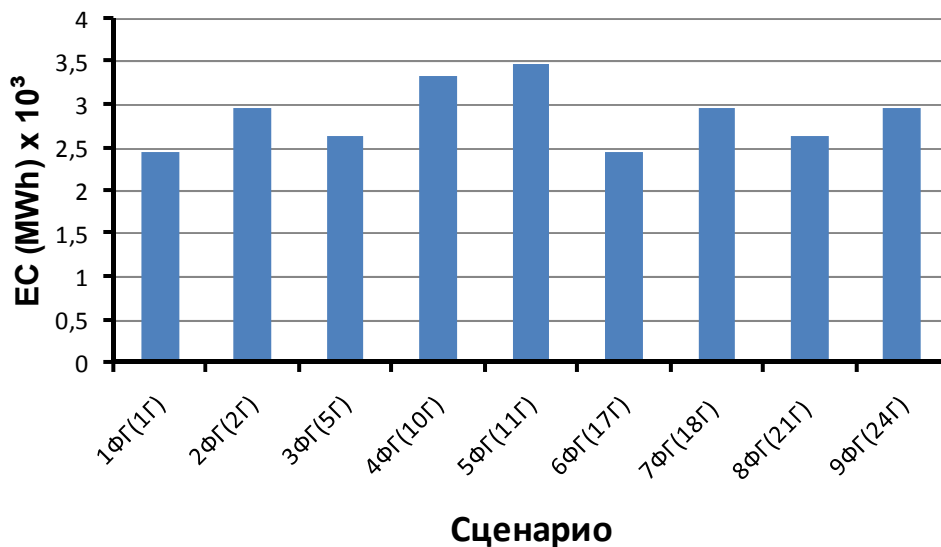
На основу вредности параметра (EP), приказаних на слици 7.8, јасно се уочава од којих опција третмана отпада се може очекивати висок ниво енергетске продукције.



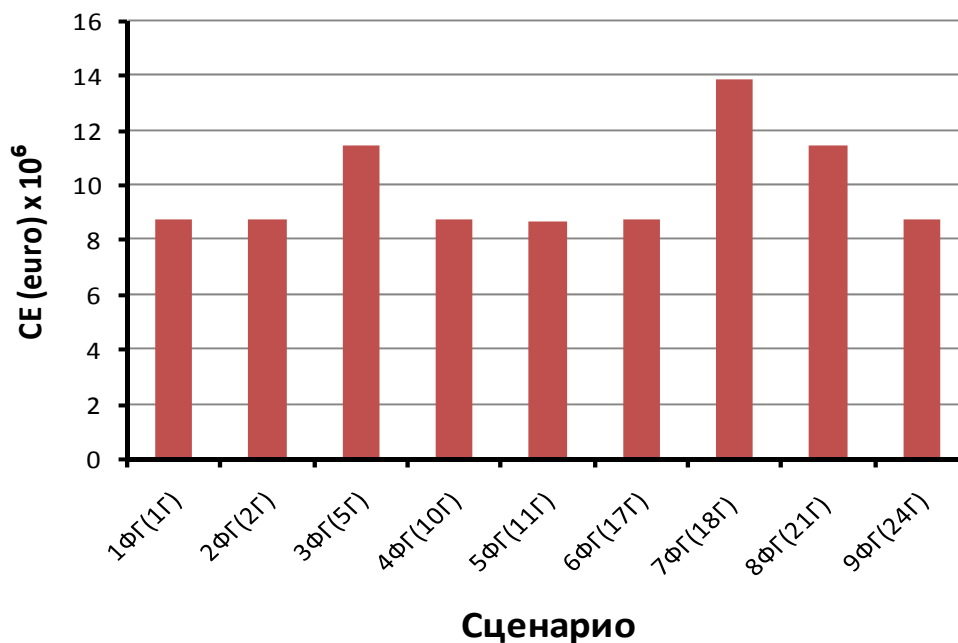
**Слика 7.8** Производња енергије (EP) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац

Уколико се инсистира на значајнијој продукцији енергије, било да је у питању третман издвојеног отпада биолошког порекла или третман мешаног отпада, поступак

анаеробне дигестије мора бити заступљен. Истовремено, посматрајући вредности енергетске потрошње по појединим сценаријима (слика 7.9), може се уочити да се највеће вредности параметра ЕС односе на сценарије код којих се третман биолошког отпада обавља кроз процес компостирања. Код ових опција, примарни третман мешаног отпада се реализује кроз МБТ поступак.

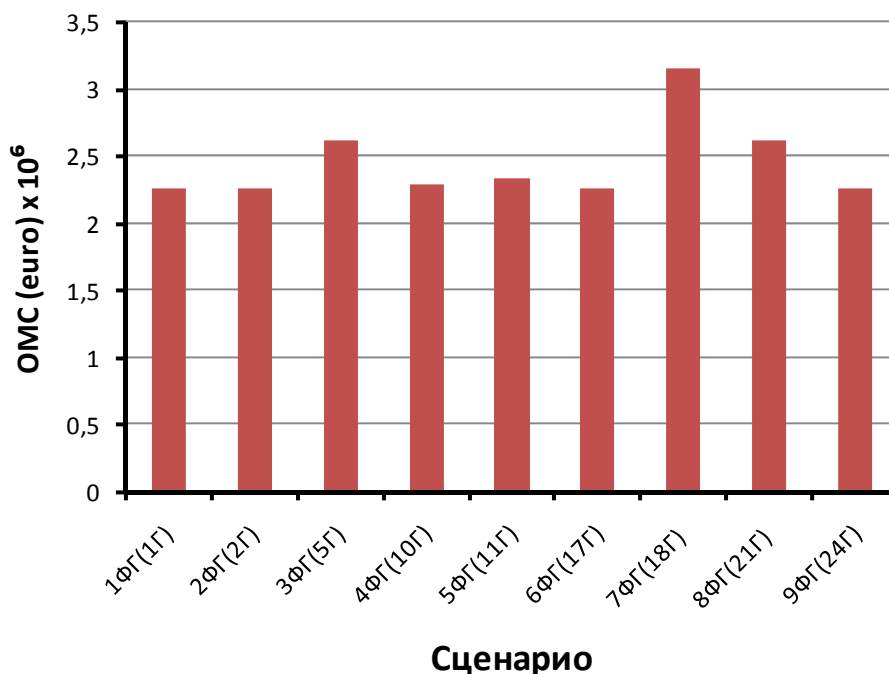


Слика 7.9 Потрошња енергије (ЕС) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац



Слика 7.10 Капитални трошкови (СЕ) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац

У контексту економских показатеља перформанси система управљања комуналним отпадом, нешто више вредности капиталних трошкова (слика 7.10) и трошкова функционисања и одржавања (слика 7.11) бележе се код сценарија 7ФГ.



**Слика 7.11** Оперативни трошкови и трошкови одржавања (ОМС) прелиминарно одабраних сценарија за град Крагујевац

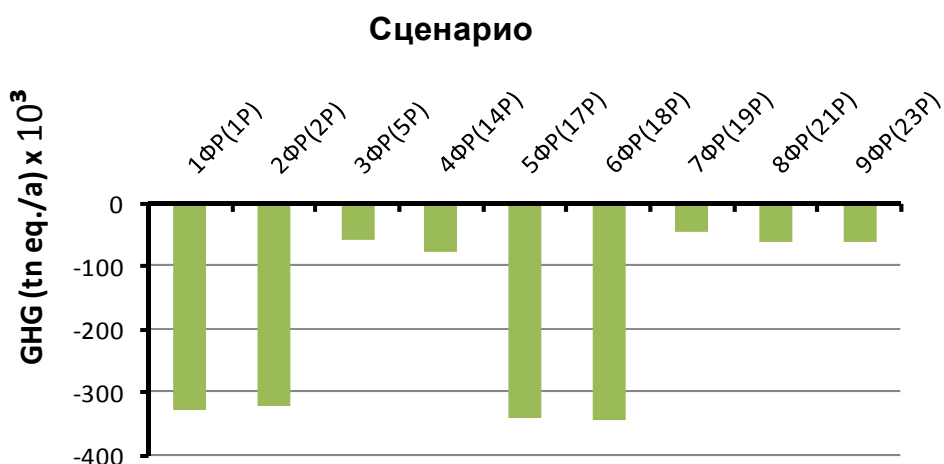
#### 7.1.2.4 Вредности еколошких, енергетских и економских параметара најбољих сценарија управљања отпадом за Регион

На основу вредности приказаних на слици 7.12, може се уочити одређена сличност са дијаграмом емисија GHG за градски систем управљања отпадом. Наиме, и овде се, у случају сценарија код којих се биолошки отпад третира кроз процес анаеробне дигестије, евидентирају значајно мање уштеде ових гасова.

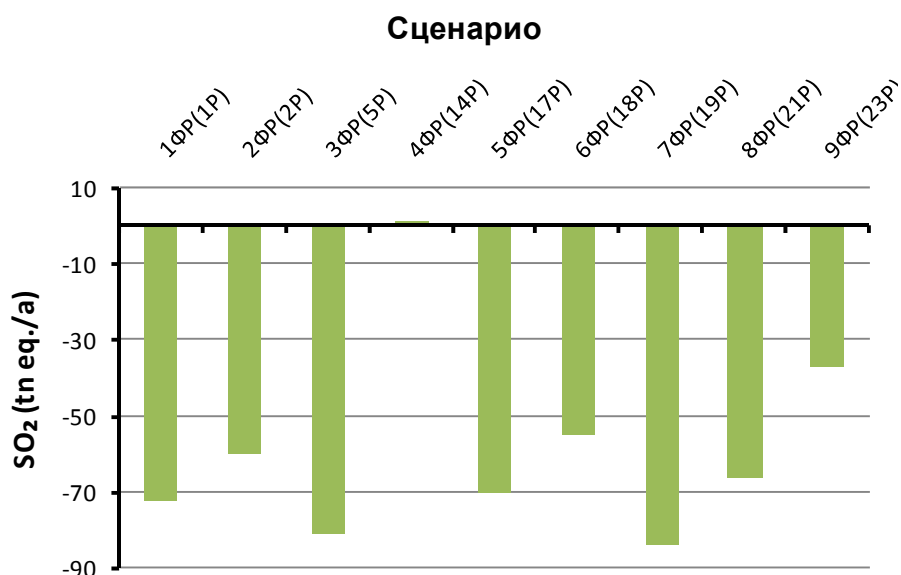
Вредност емисија сумпор-диоксида за сценарио 4ФР (слика 7.13), потврђује запажање из претходног одељка о утицају поступка биолошког сушења мешане компоненте комуналног отпада. Несумњиво је да овај процес, у зависности од обима третираног отпада, доводи до повећања емисија SO<sub>2</sub>.

Енергетска продукција, која се на примеру сценарија формираних за градски систем показала већом у случају анаеробне дигестије биолошког отпада, има истоветан тренд вредности и када су у питању сценарији управљања комуналним отпадом за регионални систем. Посебно висок ниво производње енергије је регистрован код сценарија 9ФР, где је АД поступак примењен и за третман биолошког отпада, као и за органску компоненту мешаног отпада.

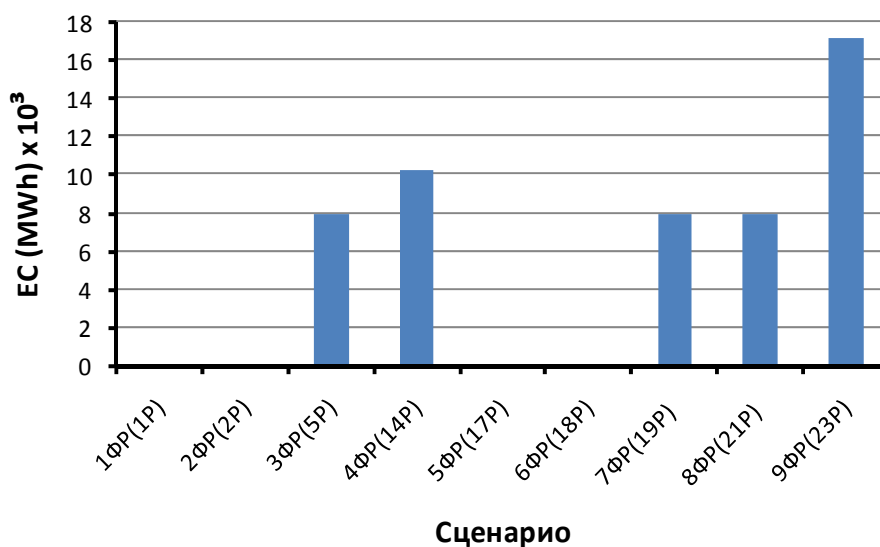
На основу вредности параметра ЕС (слика 7.14), може се закључити да поступак биолошког сушења мешаног отпада, у варијанти примарног (доминантног у погледу количине третираног отпада) поступка третмана те врсте отпада (сценарио 4ФР), захтева виши ниво потрошње енергије система, у односу на остале сценарије. МБТ поступак третмана преосталог дела мешаног отпада, у том смислу, даје несумњиви допринос. Интересантно је напоменути да процес инсинерације мешаног отпада резултира изразито највећим енергетским бенефитима (уз релативно висок ниво потрошње енергије). Ипак, на основу других негативних карактеристика овог поступка, ниједан од сценарија за регионални систем, који је у себи укључивао инсинерацију, није ушао у круг прелиминарно најбоље оцењених сценарија.



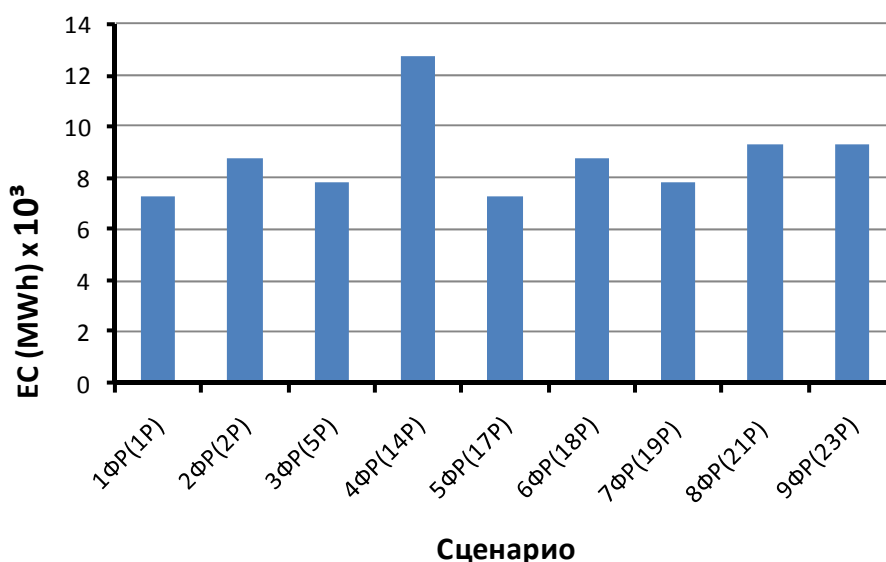
Слика 7.12 Емисије гасова стаклене баште (GHG) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион



Слика 7.13 Емисије сумпор-диоксида (SO<sub>2</sub>) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион



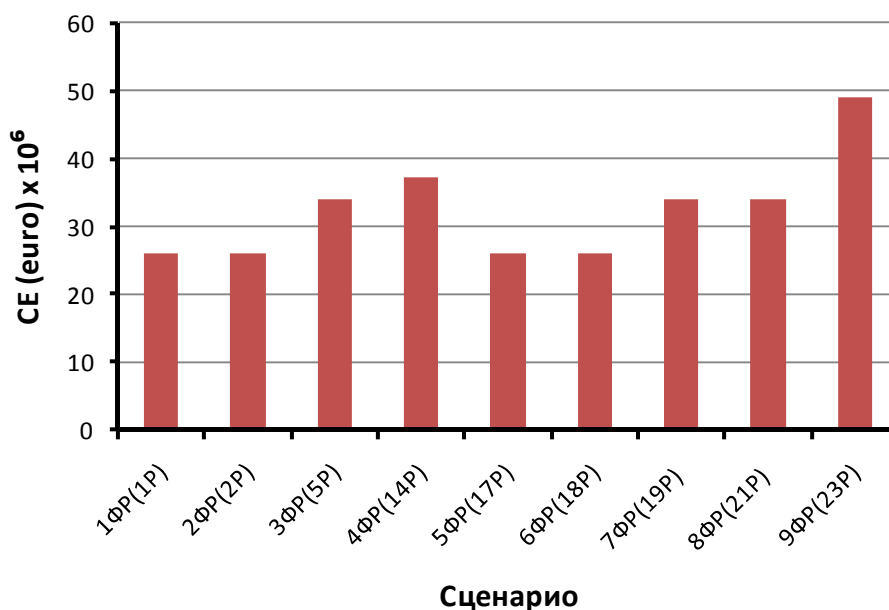
Слика 7.14 Производња енергије (EP) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион



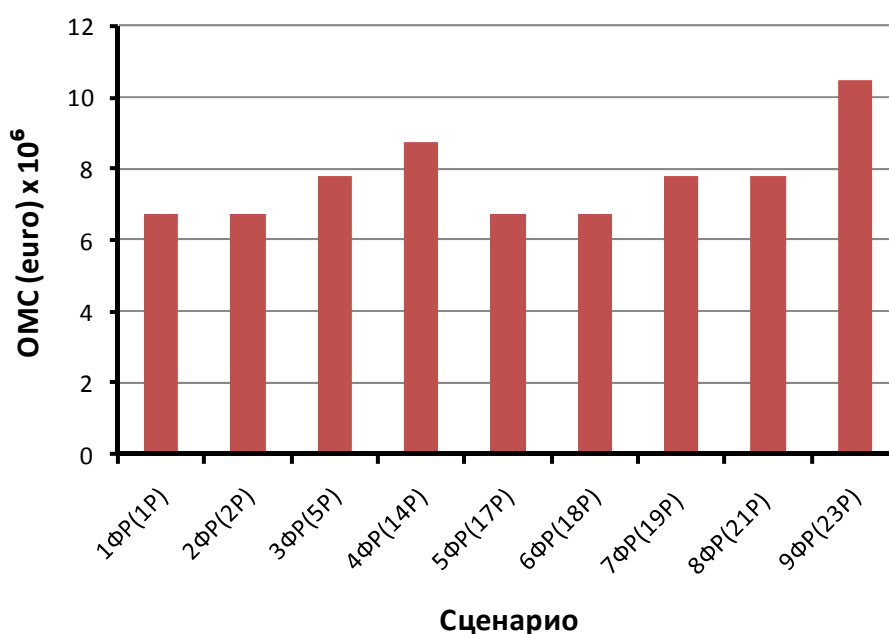
Слика 7.15 Потрошња енергије (EC) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион

Сценарији 4ФР, а посебно 9ФР, достижу највиши ниво код обе врсте представљених финансијских трошкова (слике 7.16 и 7.17). Уз те додатне податке, као и на основу резултата који се односе на градски систем, постаје очигледно да примена процеса анаеробне дигестије биолошког и дела мешаног отпада, као и механичко-биолошки третман преосталог дела мешаног отпада, значајно утичу на пораст трошкова реализације поменутих сценарија. И у погледу вредности економских параметара, поступак инсинерације има екстремне карактеристике, али због напред наведених разлога сценарији, са овом врстом третмана мешаног отпада, нису ни разматрани након прелиминарне фазе симулација.





Слика 7.16 Капитални трошкови (CE) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион

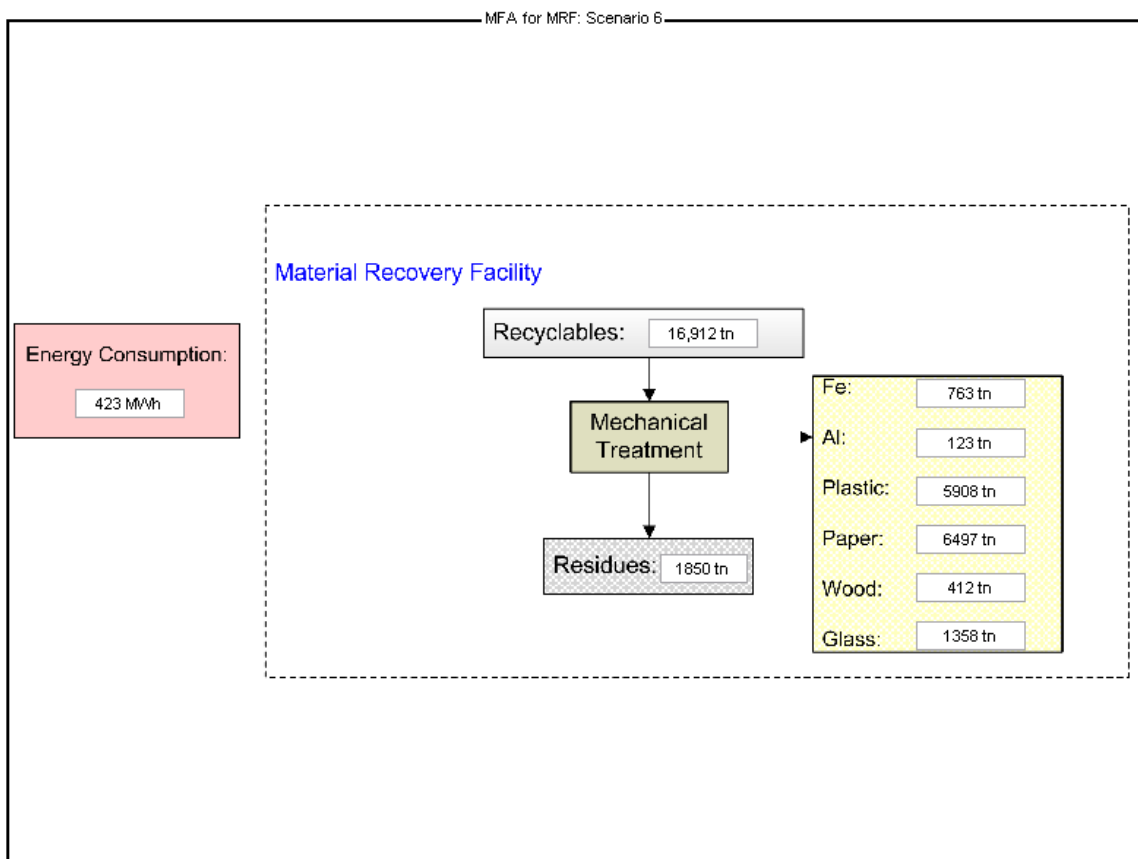


Слика 7.17 Оперативни трошкови и трошкови одржавања (OMC) прелиминарно најбоље оцењених сценарија за Регион

### 7.1.3 Токови материјала и масени биланс отпада

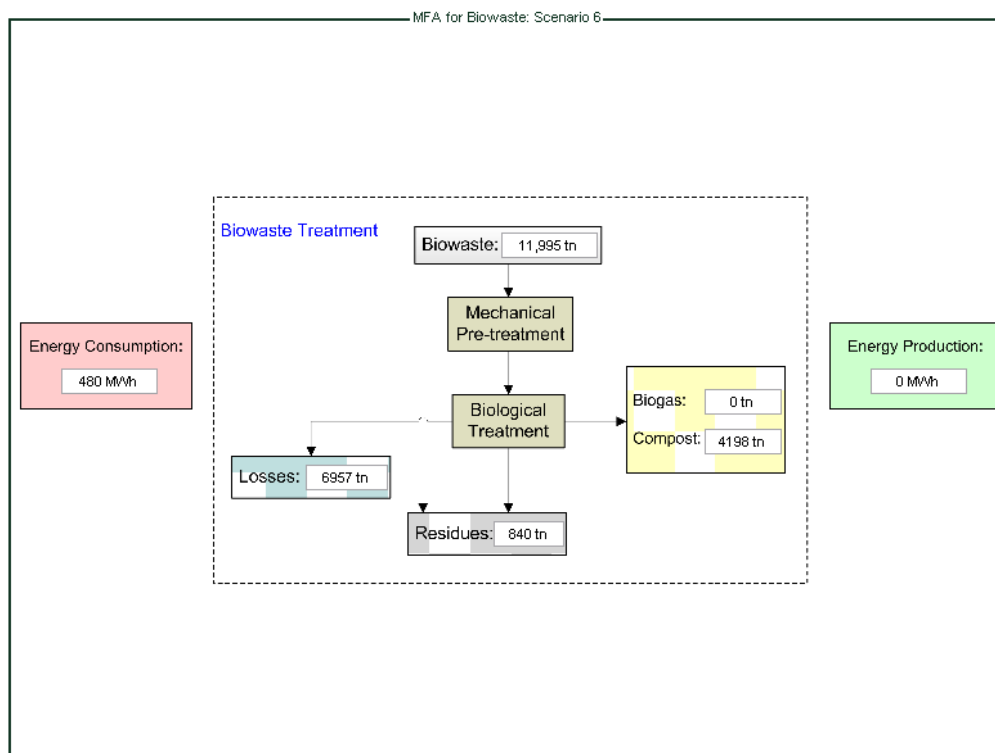
Токови материјала и масени биланси отпада израчунати су за све предложене сценарије. На основу усвојених улазних података о саставу отпада, броју становника, количини генерисаног отпада по становнику, стопи раста продукције отпада, као и рециклажним стопама одређених фракција, сваки од сценарија има различит ток

материјала и масени биланс. На сликама 7.18, 7.19 и 7.20, представљена су три парцијална тока материјала (посебно за све три врсте отпада) за сценарио бФГ, који је, на нивоу градског система управљања комуналним чврстим отпадом, добио највишу оцену. На слици 7.18, дат је ток материјала у оквиру постројења за сепарацију отпада, као и одговарајућа енергетска потрошња у процесу. Шема представљена на слици 7.19, приказује ток материјала приликом третмана одговарајуће количине отпада биолошког порекла у објекту за компостирање. Овакав вид третмана карактерише енергетска потрошња без продукције. Ток материјала приликом третмана мешаног, резидуалног отпада, у оквиру МБТ постројења, за сценарио бФГ, приказан је на слици 7.20. За функционисање једног оваквог процеса, неопходна је релативно велика количина енергије. Са друге стране, осим извесне количине RDF-а, који се може искористити као енергент, нема значајнијег енергетског излаза.

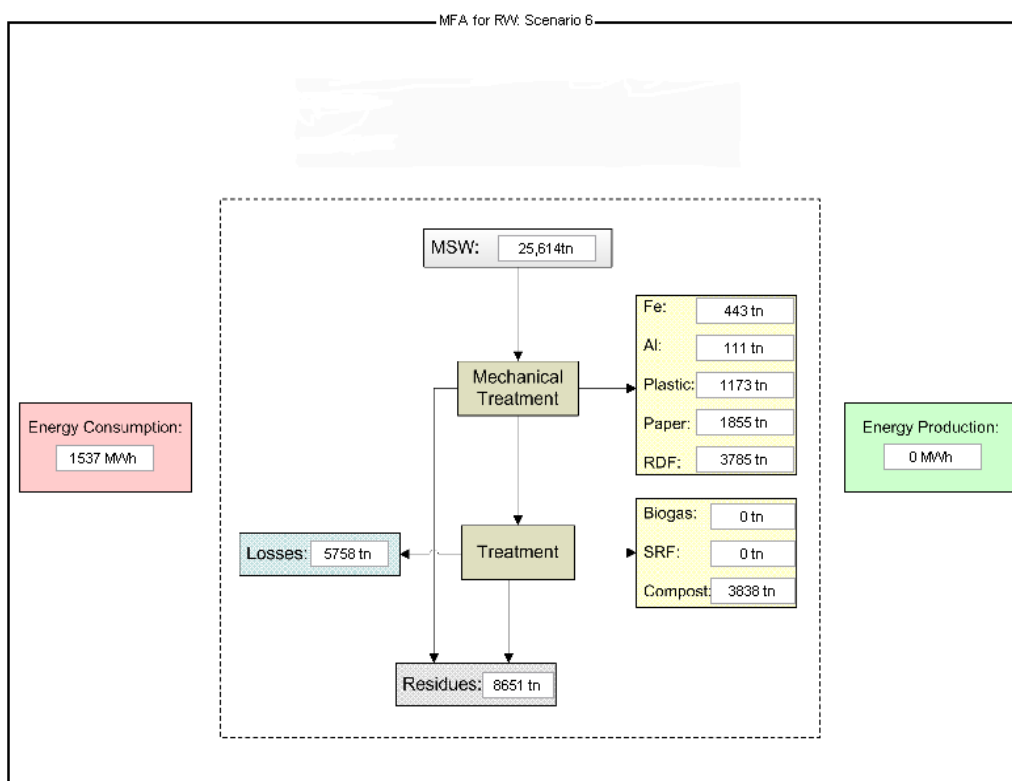


**Слика 7.18** Ток материјала за рециклабилну компоненту отпада у оквиру постројења за сепарацију отпада

Масени биланси излазних компоненти прелиминарно одабраних сценарија, за град Крагујевац и Регион, представљени су у табелама 7.17 и 7.18.



Слика 7.19 Ток материјала за отпад биолошког порекла у оквиру постројења за компостирање



Слика 7.20 Ток материјала за мешани, резидуални отпад приликом третмана у МБТ постројењу

Табела 7.17 Масени биланси прелиминарно одабраних сценарија за градски систем управљања отпадом

Материјал (t)	МАСЕНИ БИЛАНСИ (КГ састав отпада)								
	Сценарио 1ФГ	Сценарио 2ФГ	Сценарио 3ФГ	Сценарио 4ФГ	Сценарио 5ФГ	Сценарио 6ФГ	Сценарио 7ФГ	Сценарио 8ФГ	Сценарио 9ФГ
Укупно рециклирано	18.643	15.616	18.643	15.616	17.129	18.643	18.643	18.643	15.616
Fe	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207	1.207
Al	234	234	234	234	234	234	234	234	234
Пластика	7.081	5.908	7.081	5.908	6.494	7.081	7.081	7.081	5.908
Папир	8.351	6.497	8.351	6.497	7.424	8.351	8.351	8.351	6.497
Стакло	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358	1.358
Дрво	412	412	412	412	412	412	412	412	412
RDF	3.785	6.813	3.785	5.109	1.892	3.785	3.785	3.785	6.813
SRF	0	0	0	3.522	7.044	0	0	0	0
Компост (низак квалитет)	3.838	3.838	3.838	2.879	1.919	3.838	3.838	3.838	3.838
Компост (висок квалитет)	4.198	4.198	3.599	4.198	4.198	4.198	4.198	3.599	4.198
Биогас	0	0	1.799	0	0	0	2.159	1.799	0
Губици	12.715	12.715	11.515	12.876	13.038	12.715	10.556	11.515	12.715
Резид. Остаци	11.341	11.341	11.341	10.321	9.300	11.341	11.341	11.341	11.341

Табела 7.18 Масени биланси прелиминарно одабраних сценарија за регионални систем управљања отпадом

Материјал (t)	МАСЕНИ БИЛАНС (КГ састав отпада)									
	Сценарио 1ФР	Сценарио 2ФР	Сценарио 3ФР	Сценарио 4ФР	Сценарио 5ФР	Сценарио 6ФР	Сценарио 7ФР	Сценарио 8ФР	Сценарио 9ФР	Сценарио 9ФР
Укупно рециклирано	55.417	46.417	55.417	48.667	55.417	46.417	55.417	46.417	55.417	55.417
Fe	3.587	3.587	3.587	3.587	3.587	3.587	3.587	3.587	3.587	3.587
Al	696	696	696	696	696	696	696	696	696	696
Пластика	21.048	17.561	21.048	18.433	21.048	17.561	21.048	17.561	21.048	21.048
Папир	24.825	19.311	24.825	20.690	24.825	19.311	24.825	19.311	24.825	24.825
Стакло	4.036	4.036	4.036	4.036	4.036	4.036	4.036	4.036	4.036	4.036
Дрво	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226	1.226
RDF	11.250	20.251	11.250	2.813	11.250	20.251	11.250	20.251	11.250	11.250
SRF	0	0	0	31.407	0	0	0	0	0	0
Компост (низак квалитет)	11.410	11.410	11.410	2.853	11.410	11.410	11.410	11.410	11.410	11.410
Компост (висок квалитет)	12.480	12.480	10.697	10.697	12.480	12.480	10.697	10.697	10.697	10.697
Биогас	0	0	5.349	6.953	0	0	5.349	5.349	5.349	11.767
Губици	37.796	37.796	34.230	34.066	37.796	37.796	34.230	34.230	34.230	27.812
Резид. Остаци	33.713	33.713	33.713	24.611	33.713	33.713	33.713	33.713	33.713	33.713

За свих 18 сценарија (табеле 7.17 и 7.18), наведени су подаци о укупно рециклираној количини отпада, затим Fe и Al материјала, пластике, папира, стакла, дрвних компоненти, као и RDF-а и SRF-а. Одвојено су дате вредности за количине произведеног компоста високог квалитета, који настаје као продукт процеса компостирања издвојеног органског отпада, а посебно за онај нижег квалитета, настао из третмана мешаног отпада. Код свих анализираних сценарија регистрована је приближна количина произведеног компоста, а нешто више вредности, за случај квалитетније опције овог производа, показују сценарији код којих је, за поступак третмана отпада биолошког порекла предвиђено компостирање.

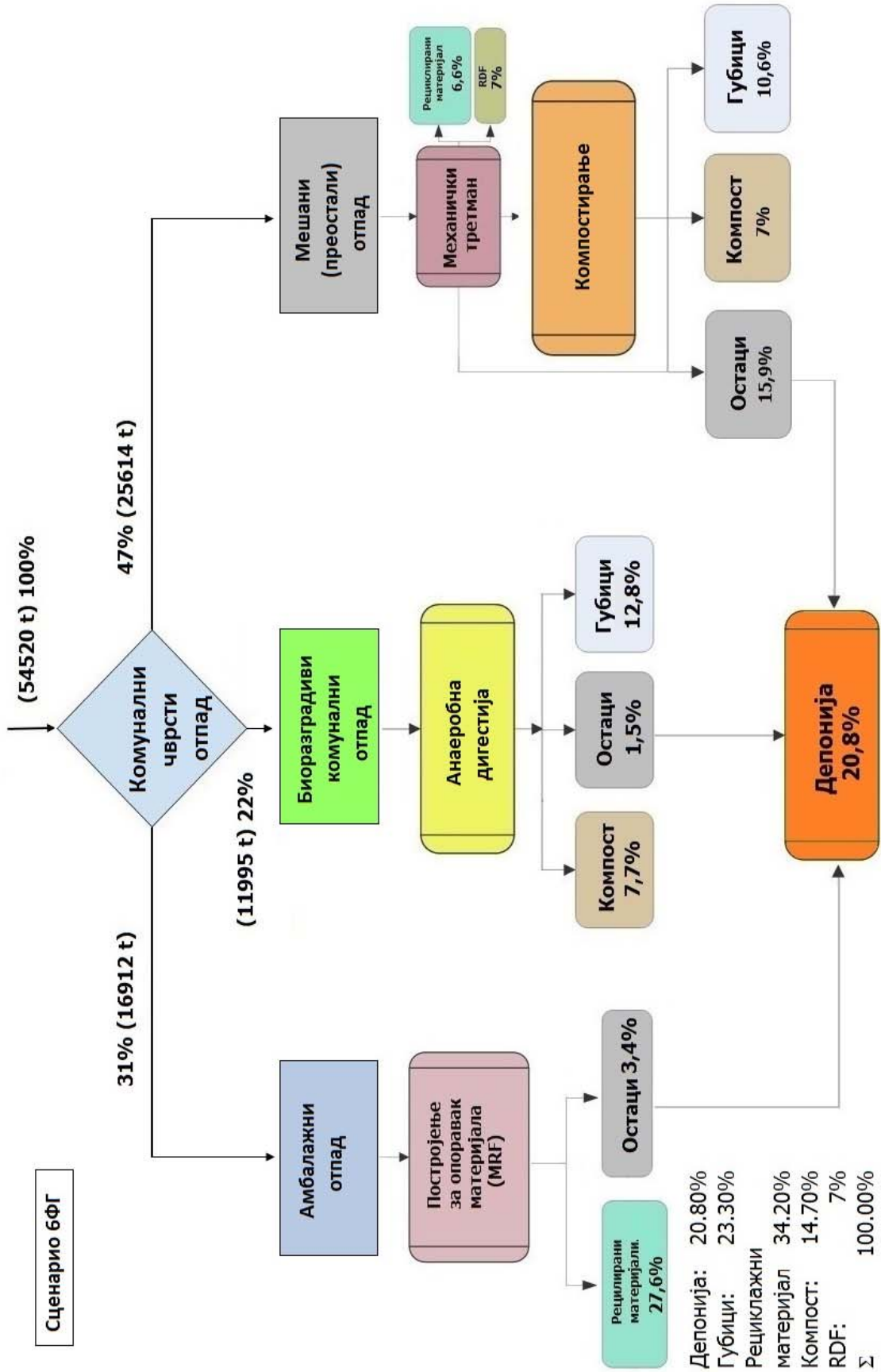
Производња биогаса се бележи код сценарија (3ФГ, 7ФГ, 8ФГ, 3ФР, 4ФР, 7ФР, 8ФР и 9ФР) који, за процес третмана издвојеног органског отпада, укључују анаеробну дигестију.

Што се тиче укупних губитака у материјалу, нешто веће вредности се региструју код сценарија 5ФГ, 1ФР, 2ФР, 5ФР и 6ФР. Када су у питању резидуе (остаци) из процеса, такође се може уочити прилична уједначеност резултата, осим што се код сценарија 4ФГ, 5ФГ и 4ФР бележе мало ниже вредности.

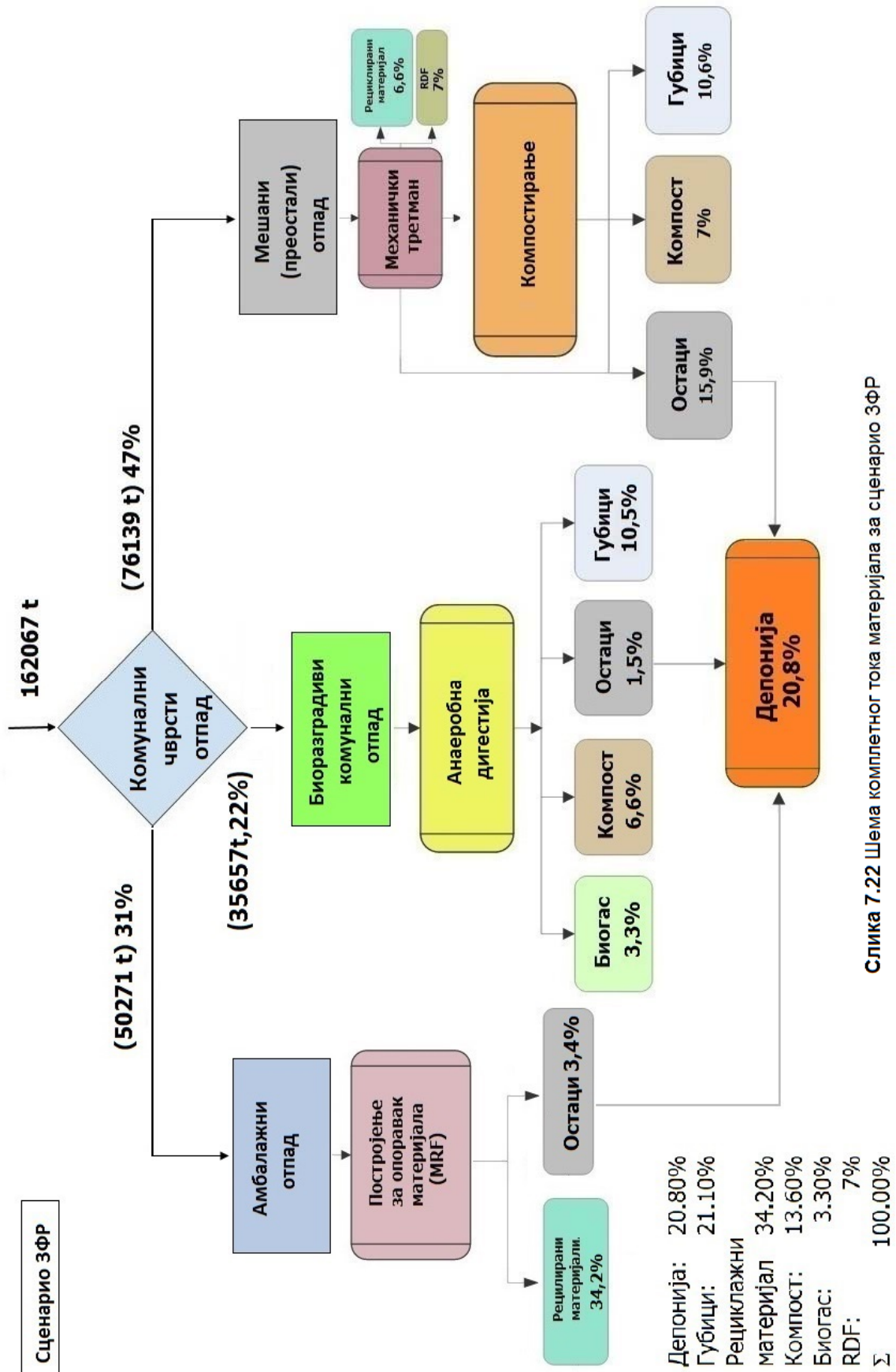
### 7.1.3.1 Токови материјала карактеристичних сценарија

На сликама 7.21, 7.22 и 7.23 приказане су шеме укупних токова материјала за неколико карактеристичних сценарија (6ФГ, односно њему одговарајући "регионални" сценарио 5ФР, затим пар 3ФГ – 3ФР и сценарио 5ФГ). Сценарио 6ФГ, изабран као укупно најбоље оцењени сценарио за систем управљања комуналним отпадом на градском нивоу, приказан је на слици 7.21. Практично истоветан сценарио, само пројектован за регионалне услове, представља варијантно решење 5ФР. Ова опција управљања комуналним чврстим отпадом, има потпуно исту шему тока материјала, али уз различите квантитативне износе. Прорачун вредности и корекције процентуалних износа, извршени су на основу представљених и усвојених токова материјала за појединачне изабране технологије третмана из одељка 6.3, а у складу са одабраном концепцијом датог сценарија. Неколико обрађених, међу свих четрдесет осам сценарија, има релативно сличну структуру, али се разлика јавља у евентуалном преусмеравању RDF и SRF компоненти на депонију, или у неки од процеса за добијање енергије. И у случају таквих сценарија, могуће је формирати, практично истоветне шеме, уз незнатне разлике у токовима RDF-а и SRF-а.

Процес компостирања биолошког отпада показао се као релативно супериоран у погледу утицаја на опште перформансе система. Под одговарајућим околностима и у складу са одређеним интересима, и поступак анаеробне дигестије даје високо рангиране резултате. Из разлога специфичног тока материјала и свеобухватности приказа истраживања, на слици 7.22 представљена је шема тока материјала за сценарио 3ФР, односно 3ФГ, који су, и у случају градског и у случају регионалног система за управљање комуналним отпадом, заузели треће место приликом рангирања. Оба сценарија користе АД поступак за третман биолошког отпада. На слици 7.23, приказана је шема тока материјала сценарија 5ФГ. Ово варијантно решење не карактерише изразито висока оцена у другом кругу симулација, али и овде постоји одређена репрезентативност, будући да, поред најчешће коришћених поступака третмана амбалажног и мешаног отпада, у оквиру своје структуре садржи и поступак биолошког сушења, који свакако има извесних предности и перспективу примене.

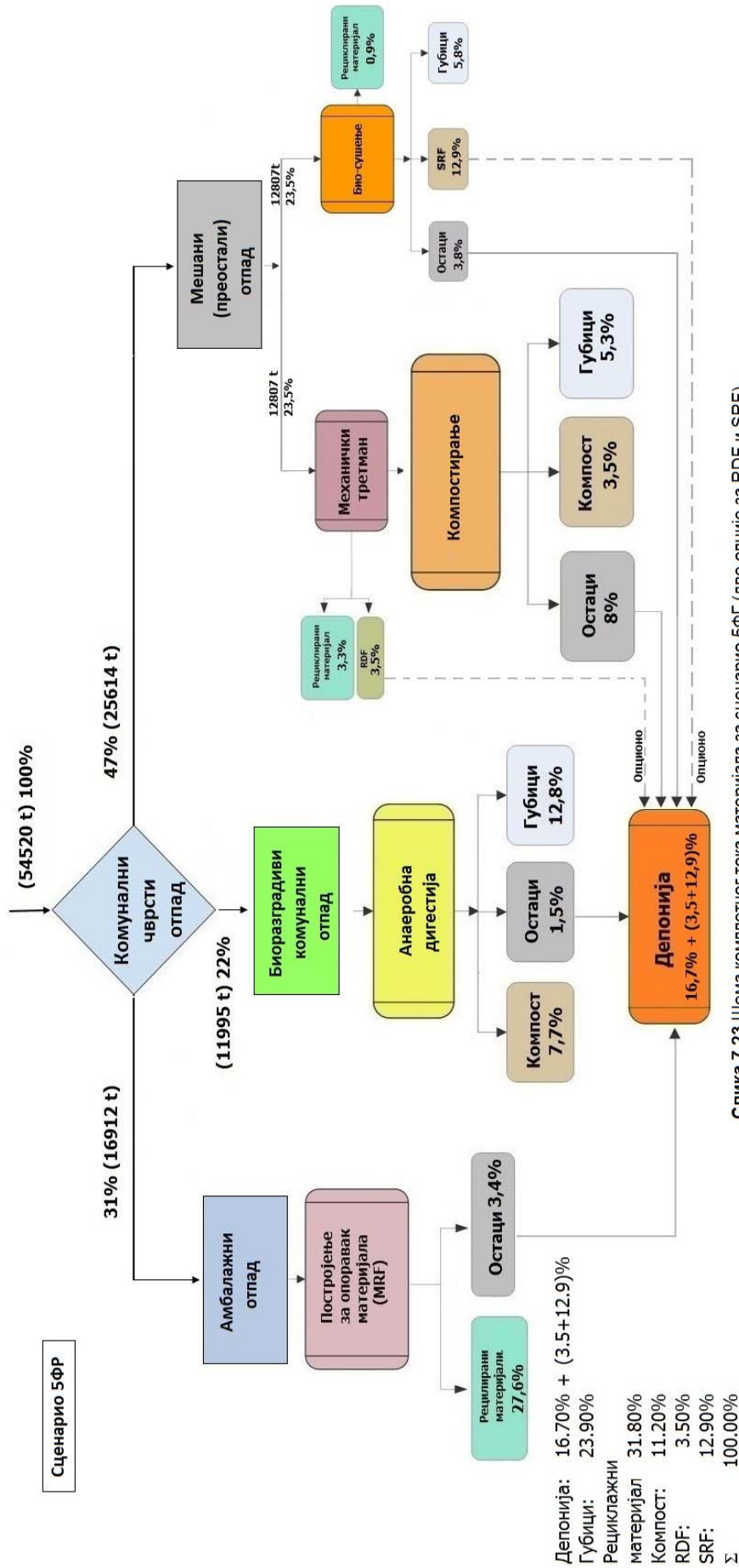


Слика 7.21 Шема комплетног тока материјала за сценарио 6ФГ



Слика 7.22 Шема комплетног тока материјала за сценарио ЗФР





Слика 7.23 Шема комплетног тока материјала за сценарио 5ФР (две опције за RDF и SRF)

## 7.2 Анализа и избор оптималних решења применом методе оцењивања животног циклуса

Са циљем што квалитетније процене утицаја предложених система управљања комуналним отпадом на животну средину, у овом поглављу, извршене су додатне анализе кроз употребу софтверских алата чија је алгоритамска структура развијена на бази методе оцењивања животног циклуса (LCA). У сврху валоризације одговарајућих еколошких и енергетских перформанси моделираних варијантних решења (поглавље б), спроведене су симулације сценарија управљања комуналним чврстим отпадом са два различита софтверска алата.

Употребом програмског пакета IWM2, извршена је упоредна анализа неколико предложених опција, у погледу емисија гасова стаклене баште и ситних честица у атмосферу, као и потрошње горива и укупних трошкова потребних за функционисање система. Посебно је анализиран фактор глобалног загревања (GWP), који експлицитно карактерише допринос климатским променама сваког од разматраних решења.

Софтверски алат EASETECH је искоришћен за одређивање вредности девет стандардних еколошких категорија утицаја на животну средину.

У циљу квалитативног рангирања обе групе предложених сценарија, примењене су и две методе вишекритеријумске анализе (SAW и TOPSIS) и извршено поређење одговарајућих резултата.

### 7.2.1 Симулација сценарија управљања комуналним чврстим отпадом применом софтверског пакета IWM 2

У оквиру одељка 6.4.1, представљене су основне карактеристике шест моделираних сценарија за систем управљања комуналним отпадом на нивоу града Крагујевца, а у овом делу приказани су резултати симулације ових сценарија. За сваки од изабраних сценарија урађена је упоредна анализа вредности за укупно осам различитих параметара. Од ове анализе се, свакако, може очекивати значајан допринос у погледу доношења одговарајућих закључака и препорука, које ће бити корисне, пре свега, за доносиоце одлука у процесу конципирања поменутог система.

За упоредну анализу предложених сценарија, одабрани су следећи параметри:

- Емисије CH<sub>4</sub>,
- Емисије CO<sub>2</sub>,
- Фактор GWP,
- Емисије N<sub>2</sub>O,
- Емисије ситних честица,
- Потрошња горива за функционисање система,
- Укупни трошкови функционисања система,
- Запремина преосталог – депонованог чврстог отпада.

Потребно је још истаћи да предвиђени сценарио 1КГ, готово у потпуности одговара актуелном систему управљања комуналним отпадом на територији града Крагујевца. У складу са том чињеницом, у оквиру овог одељка се могу уочити одређени, како

позитивни, тако и негативни ефекти, који се могу очекивати кроз примену осталих предложених сценарија управљања отпадом.

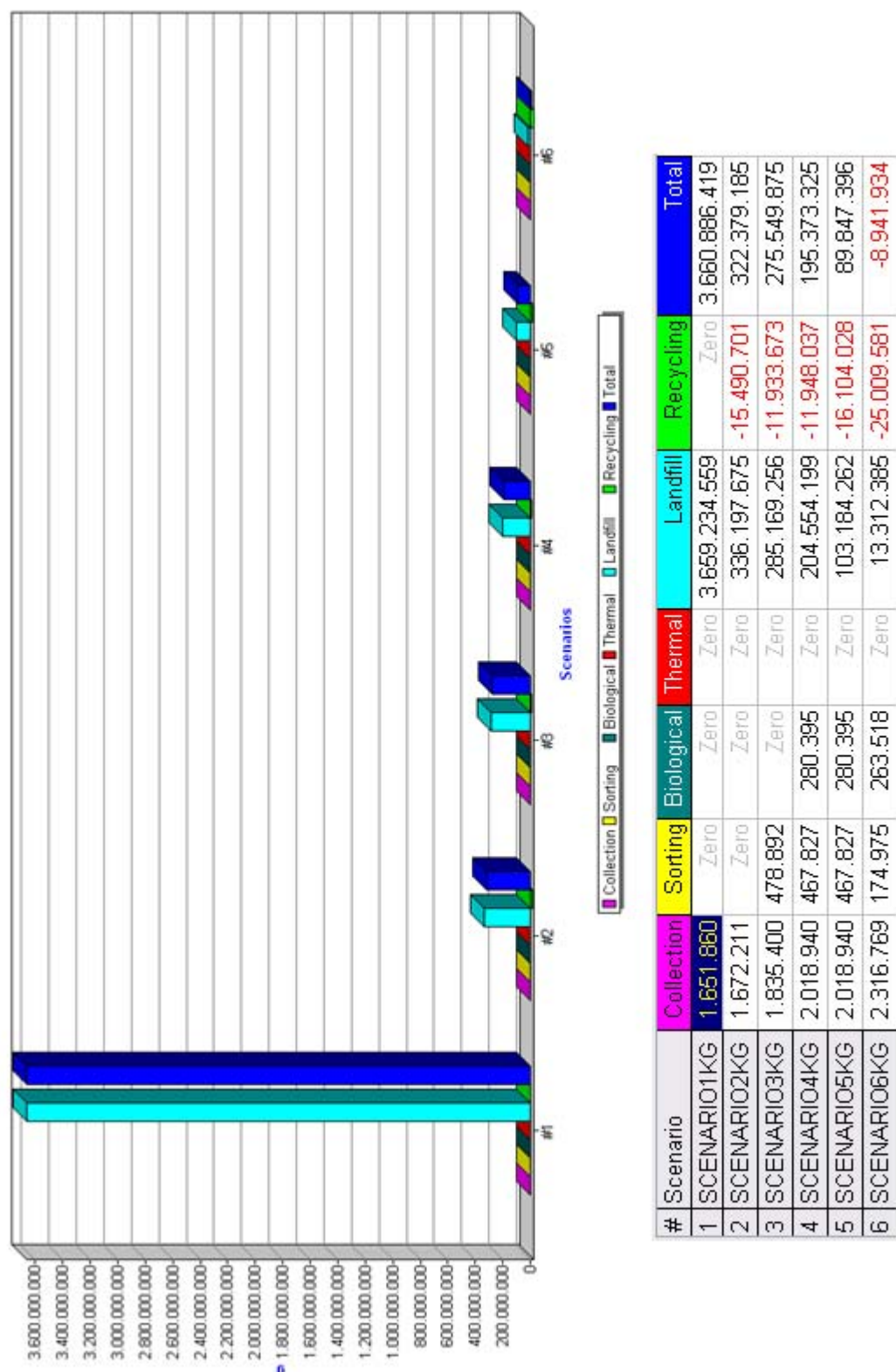
### 7.2.1.1 Емисије гасова стаклене баште и ситних честица у атмосферу

На дијаграму приказаном на слици 7.24, уочава се изразито висока емисија метана ( $\text{CH}_4$ ) за сценарио 1КГ, на нивоу од преко 3.600 тона годишње. Већ у случају сценарија 2КГ, иако се количина депонованог отпада смањила за свега 9%, инсталирани систем сакупљања депонијског гаса смањује количине емисија овог гаса стаклене баште више од десет пута. Код оба сценарија, емисије депонијског метана су доминантне, али одређени емисиони допринос даје и процес сакупљања отпада. Процес рециклаже, већ код сценарија 2КГ, као и за све остале у којима је предвиђен, даје очигледне еколошки позитивне резултате. Укупне емисије метана се, редом од првог ка последњем сценарију, смањују, да би код сценарија 6КГ (са доминантним процесом инсинерације, а знатно смањеним обимом депоновања отпада) достигле негативне вредности и ушле у зону уштеде – избегавања штетних утицаја на животну средину. Процеси везани за раздвајање отпада (примарно и секундарно) и биолошки третман, дају релативно мале доприносе укупној вредности овог параметра. Допринос процеса раздвајања расте са повећањем обима рециклираног отпада. Сам процес спаљивања карактерише потпуно одсуство емисије овог гаса.

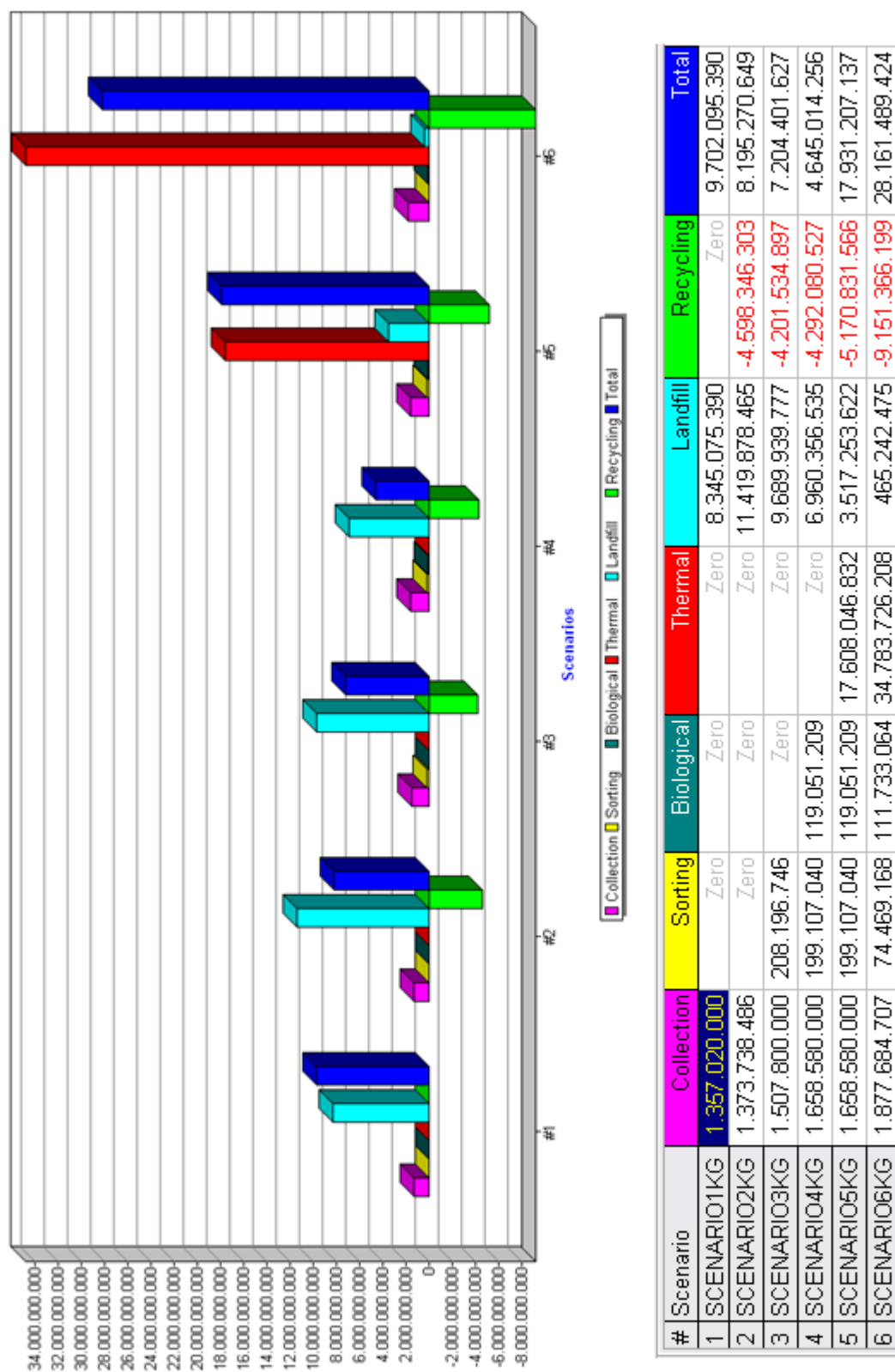
У погледу емисија угљен-диоксида, које потичу од појединих врста третмана, уочава се нешто другачији тренд него што је то случај са метаном (слика 7.25). Највеће количине емисија  $\text{CO}_2$  региструју се код сценарија 6КГ и то, првенствено, захваљујући доприносу процеса инсинерације. Обим емисија угљен-диоксида за овај сценарио достиже, на годишњем нивоу, више од 28.000 тона. Сценарио 5КГ је, када се посматра овај параметар, са близу 18.000 тона годишње, други по рангу у негативном контексту. Најмање укупне емисије, овог значајног гаса стаклене баште, забележене су код сценарија 4КГ.

У свим сценаријима, а посебно код прва три, где је обим депонованог отпада и највећи, бележе се високе емисије овог гаса. Процес рециклаже даје врло значајне уштеде у погледу штетних емисија  $\text{CO}_2$  за сваки од сценарија, где је ова опција третмана отпада предвиђена. Ово је посебно наглашено код сценарија са значајним обимом рециклираног материјала. Процес сакупљања отпада резултира релативно уједначеним емисијама угљен-диоксида за свако од варијантних решења, док сортирање и биолошки третман отпада имају практично занемарљиве доприносе.

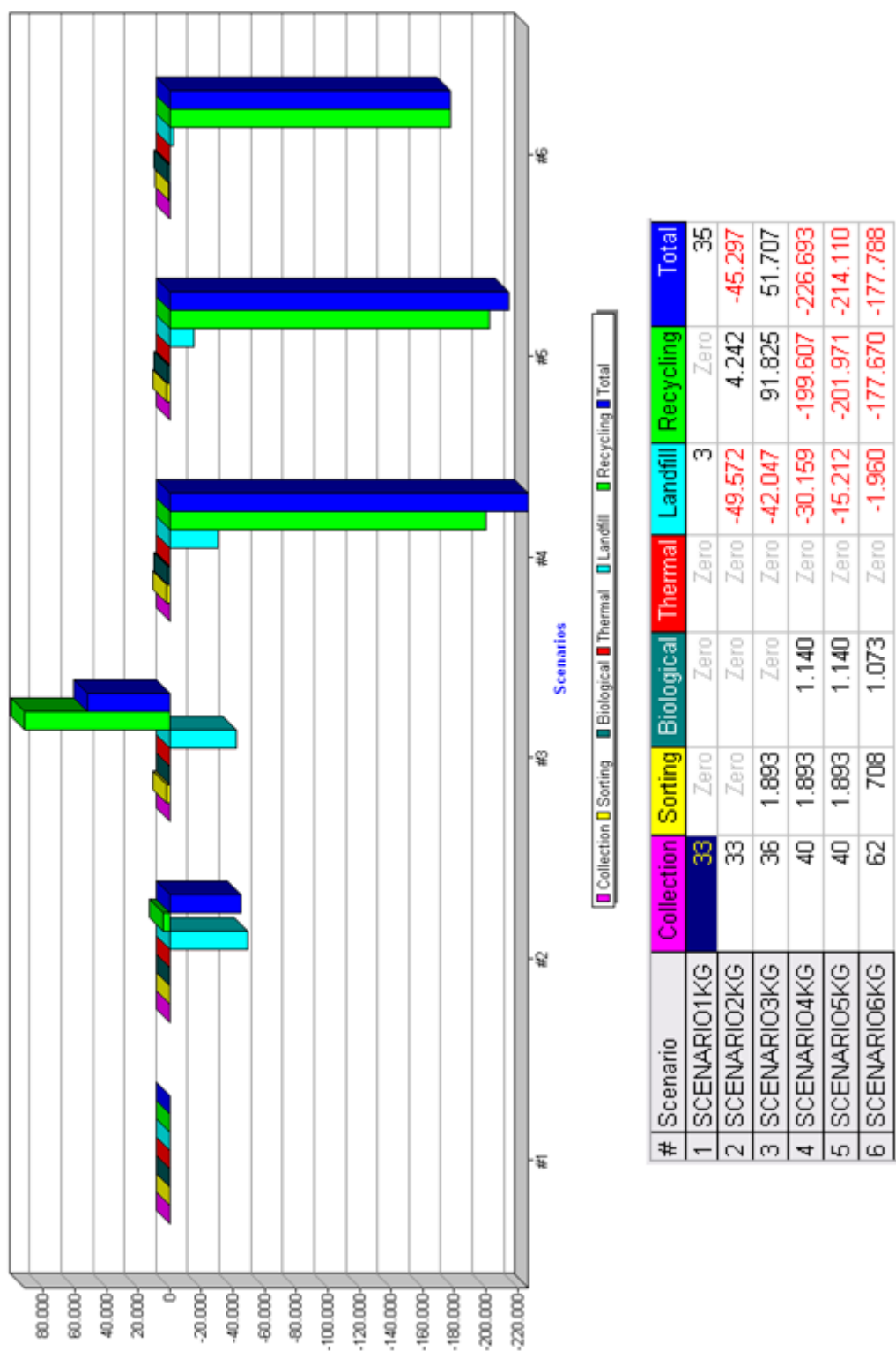
Емисије азот-субоксида углавном, за предвиђене сценарије, не бележе неке високе вредности (слика 7.26). Највеће укупне емисије овог гаса регистроване су за сценарио 3КГ и њихово порекло је, у највећој мери, везано за опцију рециклаже материјала. Остали сценарији имају, углавном, негативне емисије (сценарији 2КГ, 4КГ, 5КГ и 6КГ) или су оне на занемарљивом позитивном нивоу (сценарио 1КГ). На основу вредности приказаних на слици 7.27, може се уочити да процес термичког третмана отпада – инсинерације (спаљивања), даје најзначајнији допринос укупној количини емитованих ситних честица (PM). Што је обим спаљивања отпада већи, расте и емисија ситних честица. Остале опције третмана и фазе у целокупном процесу управљања комуналним отпадом немају, када је овај параметар у питању, значајнији утицај.



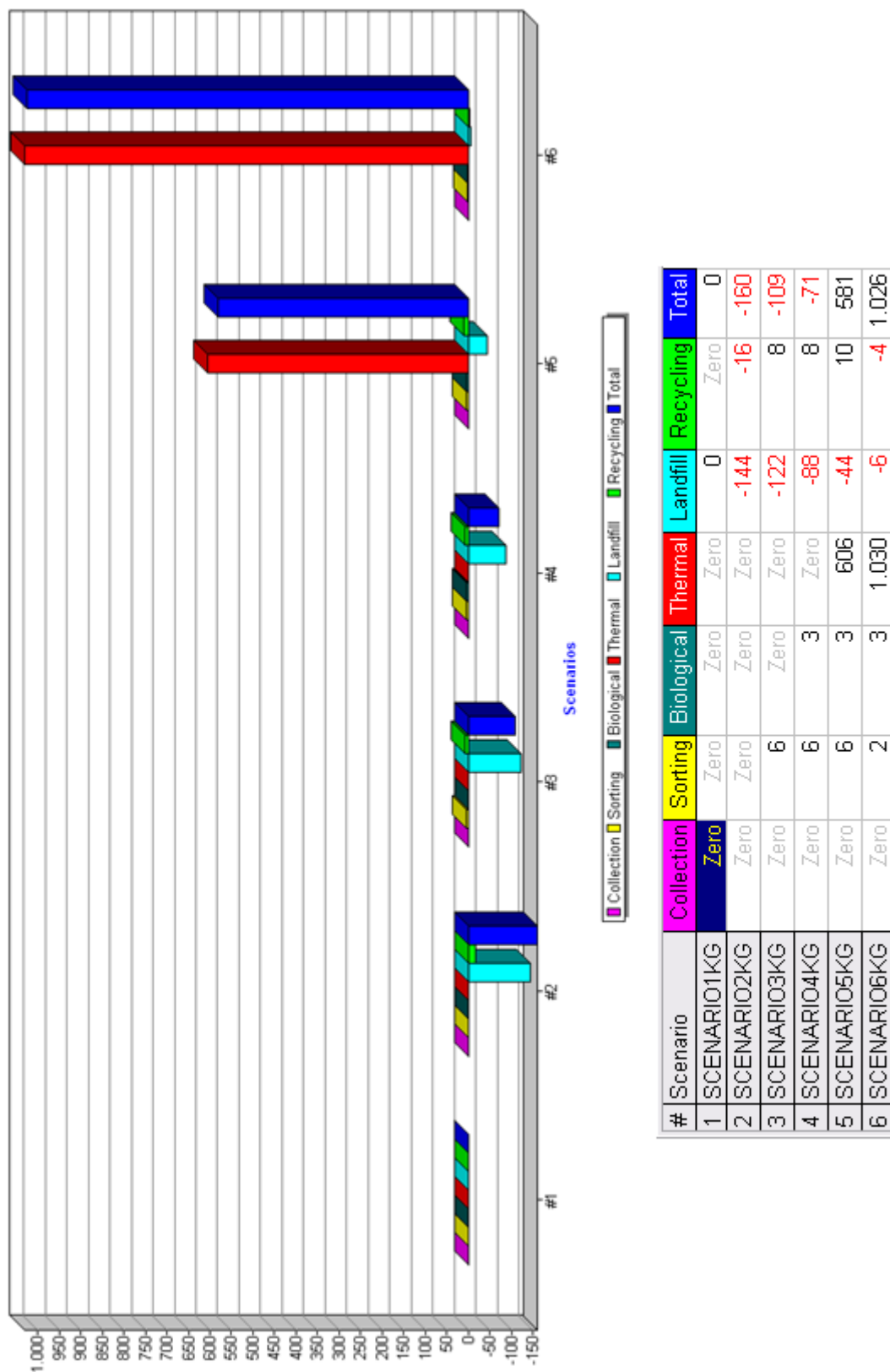
Слика 7.24 Емисије CH<sub>4</sub> код предложених сценарија (г), CH<sub>4</sub>



Слика 7.25 Емисије CO<sub>2</sub> код предложених сценарија (g), CO<sub>2</sub>



Слика 7.26 Емисије N<sub>2</sub>O код предложених сценарија (g), N<sub>2</sub>O



Слика 7.27 Емисије ситних честица код предложених сценарија (g), PM

### 7.2.1.2 Фактор GWP (Global Warming Potential, потенцијал глобалног загревања)

Иако нису једини, свакако да су метан ( $\text{CH}_4$ ), угљен-диоксид ( $\text{CO}_2$ ) и азот-субоксид ( $\text{N}_2\text{O}$ ), најзначајнији гасови стаклене баште који потичу из сектора отпада. Управо из тог разлога, након прегледа емисија ових гасова по сценаријима, у овом одељку биће представљена краћа анализа фактора GWP (слика 7.28) који карактерише утицај појединих сценарија на допринос глобалном загревању и свеукупним климатским променама.

Због своје високе потентности, у смислу утицаја на глобално загревање, депонијски метан се сматра најзначајнијим гасом стаклене баште из сектора отпада. Упоредивањем вредности емисија појединих гасова (дијаграми на сликама 7.24, 7.25 и 7.26), уочава се значајна подударност расподеле емисија метана по сценаријима и вредности GWP-а. Сценарио 1КГ има највишу вредност потенцијала глобалног загревања, која достиже 85.000 тона годишње. Код тог сценарија, допринос депонијског фактора је апсолутно доминантан, у поређењу са делом који се односи на сакупљање и транспорт отпада. Иако је у сценаријима 2КГ, 3КГ и 4КГ присутан још увек релативно велики удео отпада који се одлаже на депонију, систем за сакупљање депонијских гасова и процедурних вода има изузетно позитиван утицај на смањење емисија штетних гасова. Захваљујући инсталацији и функционисању таквог сакупљачког система, код ових варијантних решења се евидентира уочљиво смањење потенцијала глобалног загревања. Код сценарија 5КГ и 6КГ, долази до постепеног повећања овог фактора, јер се приликом процеса инсинерације емитује значајна количина угљен-диоксида. Ипак 25 пута мањи потенцијал глобалног загревања угљен-диоксида у односу на метан, утиче да GWP за ова два сценарија нема превисоке вредности, без обзира на релативно велике емисије  $\text{CO}_2$ . Процес рециклаже (у свим сценаријима осим 1КГ) има позитиван еколошки допринос у смислу значајног смањења GWP. Слично као и у вези емисија поменутих гасова, процес сакупљања и транспорта има одговарајући штетан утицај који, ипак, нема доминантни карактер. Процеси сепарације и биолошког третмана, и у овом случају, дају занемарљив допринос укупној вредности разматраног фактора.

### 7.2.1.3 Потрошња горива (FC) и трошкови функционисања система (ТОС)

Процеси сакупљања и транспорта имају највећи удео у погледу потрошње горива потребног за функционисање сваког од предложених система. Сепарација и биолошки третман отпада, у сценаријима где су предвиђени, такође доводе до одређене потрошње горива (слика 7.29). Ипак, потрошња горива, која је потребна за функционисање разматраних система, далеко је мања у односу на енергетске користи (изражене кроз параметар FC) које се постижу кроз енергетско искоришћење депонијског гаса, термички третман отпада и рециклажу отпадних материјала. Депонијски третман отпада кроз процес сакупљања депонијског гаса даје позитивне ефекте, у складу са примењеном технологијом и количинама сакупљеног гаса. Дакле, када је у питању депонијски третман, највеће енергетске уштеде бележе се за сценарије 2КГ и 3КГ, у којима је количина депонованог отпада још релативно велика.



Треба нагласити да је, у случају оба поменута сценарија, предвиђена примена напредне технологије сакупљања и енергетског искоришћења депонијског гаса.

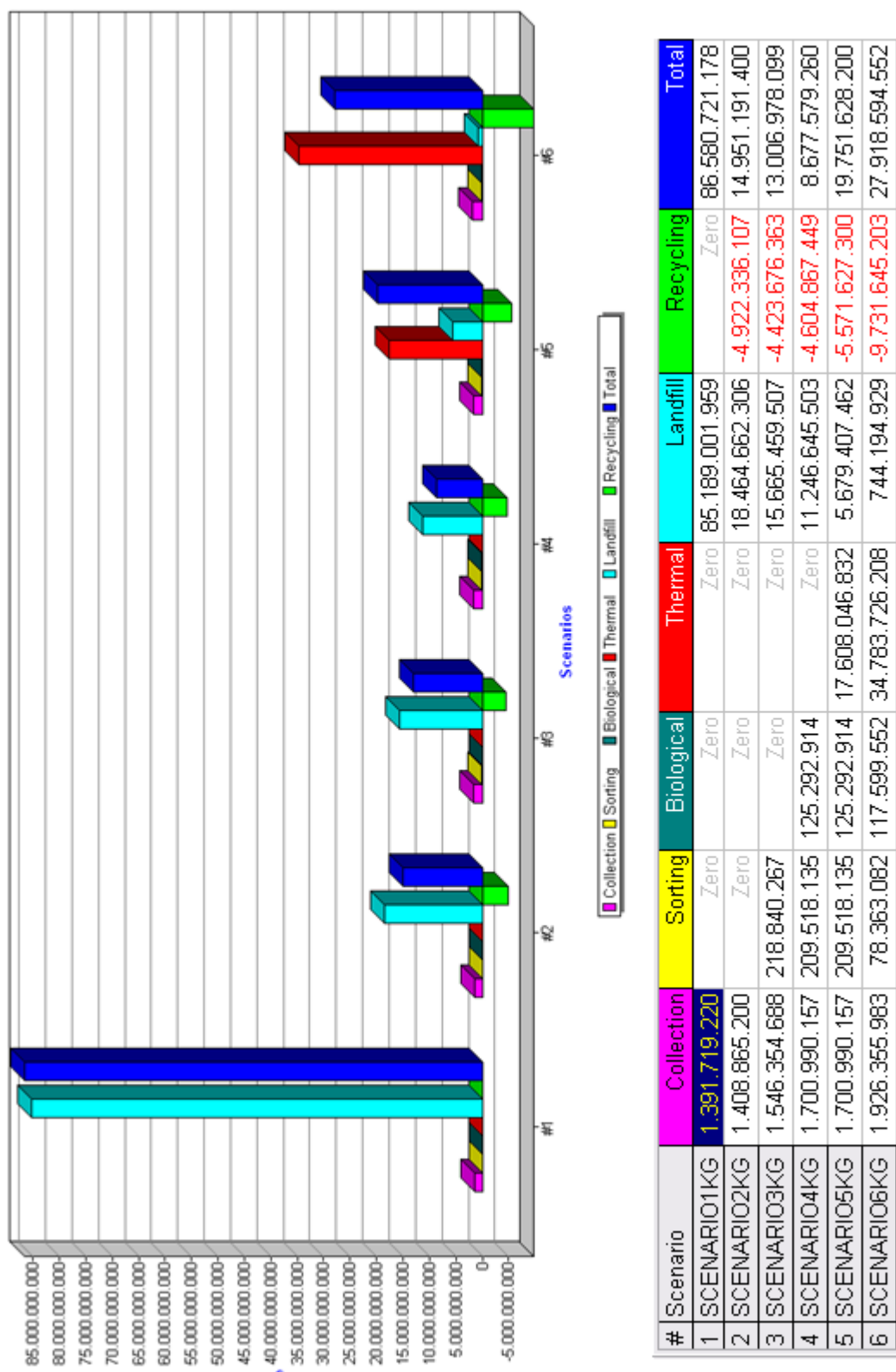
Од разматраних алтернативних решења једино сценарио 1КГ има негативан биланс у смислу потрошње горива. Потрошња горива, код овог сценарија, региструје се за процес сакупљања и транспорта отпада, као и за одговарајући депонијски третман. Услед одсуства система за сакупљање депонијских гасова и непримењивања осталих опција третмана отпада, код овог сценарија се не бележе енергетски бенефити.

За разлику од претходно приказаних перформанси, код којих су, забележене значајније разлике између појединих сценарија, у погледу трошкова функционисања система постоји релативна уједначеност израчунатих вредности за сва варијантна решења (слика 7.30).

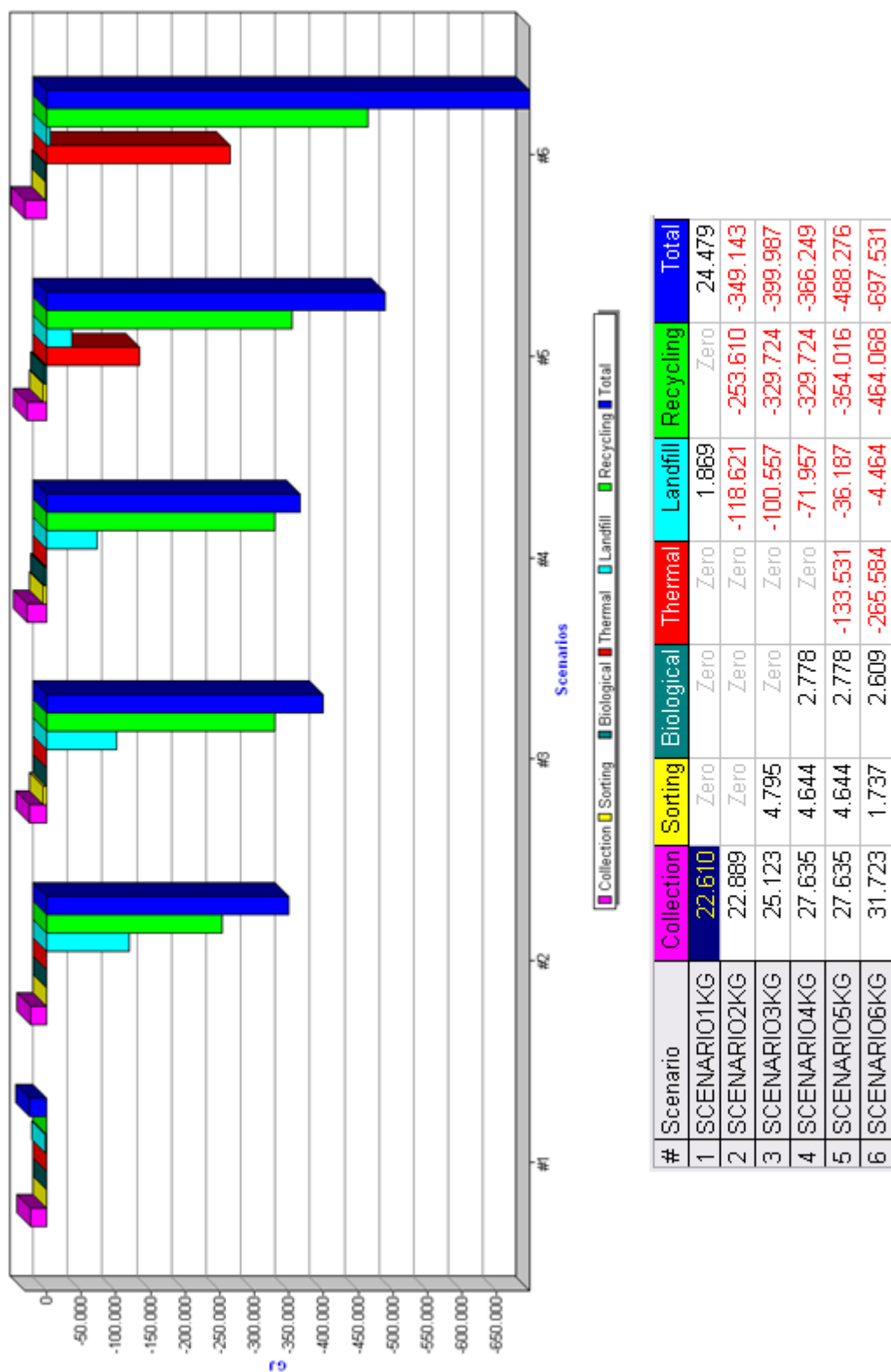
Нешто виши трошкови функционисања система (у границама од 20 – 35% у односу на остале сценарије) бележе се код сценарија 6КГ. Код свих разматраних варијантних решења, највећи удео у укупним трошковима потиче од активности на сакупљању и транспорту отпада. Код већине сценарија, удео ове врсте трошкова налази се на нивоу од око 80% вредности укупних новчаних издатака. Трошкови сакупљања и транспорта расту са бројем опција третмана које су укључене у оквиру појединих сценарија, а највећу вредност имају за сценарије са инсинерацијом веће количине отпада. Трошкови сепарације и биолошког третмана, генерално, нису велики и не представљају значајнији део у оквиру укупних трошкова функционисања система (у сваком од сценарија, код којих су регистровани, су мањи од 1% укупних трошкова). Код сценарија 6КГ, сепарација и биолошки третман чак доводе до финансијских бенефита. Допринос трошкова депонијског третмана је значајан код свих сценарија, а посебно у случају сценарија 1КГ (због рада механизације са великом количином отпада). Термички третман у сценарију 6КГ захтева, такође, висок ниво финансијских средстава за реализацију процеса.

Очигледно, за остваривање високих еколошких-енергетских, као и просторних перформанси (слика 7.31) система за управљање комуналним чврстим отпадом, неопходне су технологије и постројења које захтевају висок ниво финансијских улагања. Поред тога, више пута је наглашено да су трошкови сакупљања и транспорта отпада највеће ставке у укупним трошковима сваког од предвиђених система,. Ту се појављује релативно велики простор за потенцијалне уштеде и смањење укупних улагања.

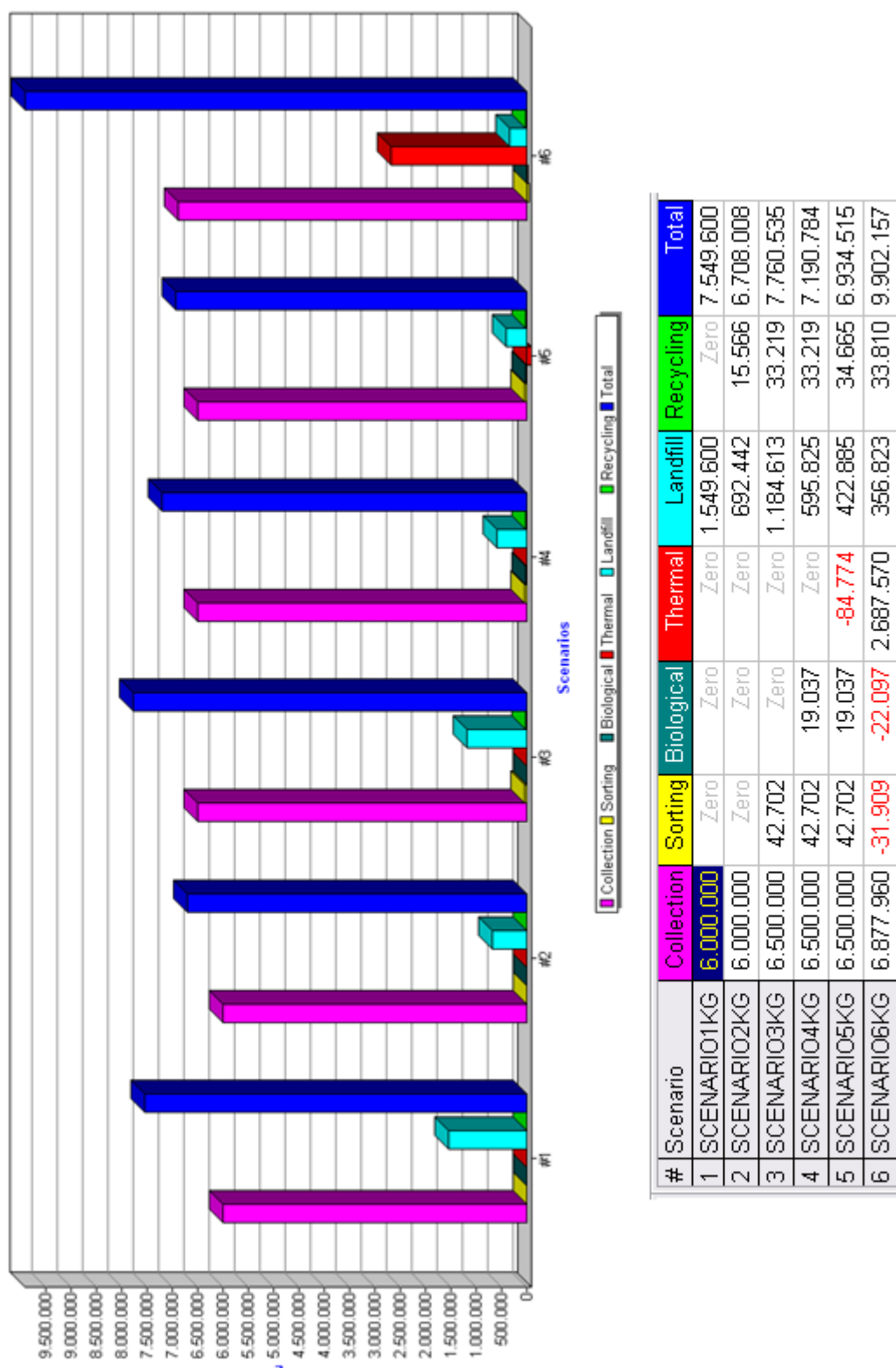
Запремина преосталог чврстог отпада (VW), који завршава на депонији, зависи од примењених технологија третмана и очекивано је највећи код сценарија 1КГ (слика 7.31). Та количина се смањује редом по сценаријима, управо са повећањем количине отпада која се третира на неки други начин. Термички третман отпада, и у још већој мери рециклажа материјала, доприносе значајном смањењу количина преосталог отпада. Овај отпад се, у крајњем, мора депоновати и његова количина условљава неопходну површину и дубину земљишта (или запремину) коју депонија треба да заузима. Очигледно је, да процес минимизације запремине преосталог отпада, у свакој од фаза, представља један од најзначајнијих пројектованих циљева опште концепције одрживог управљања отпадом.



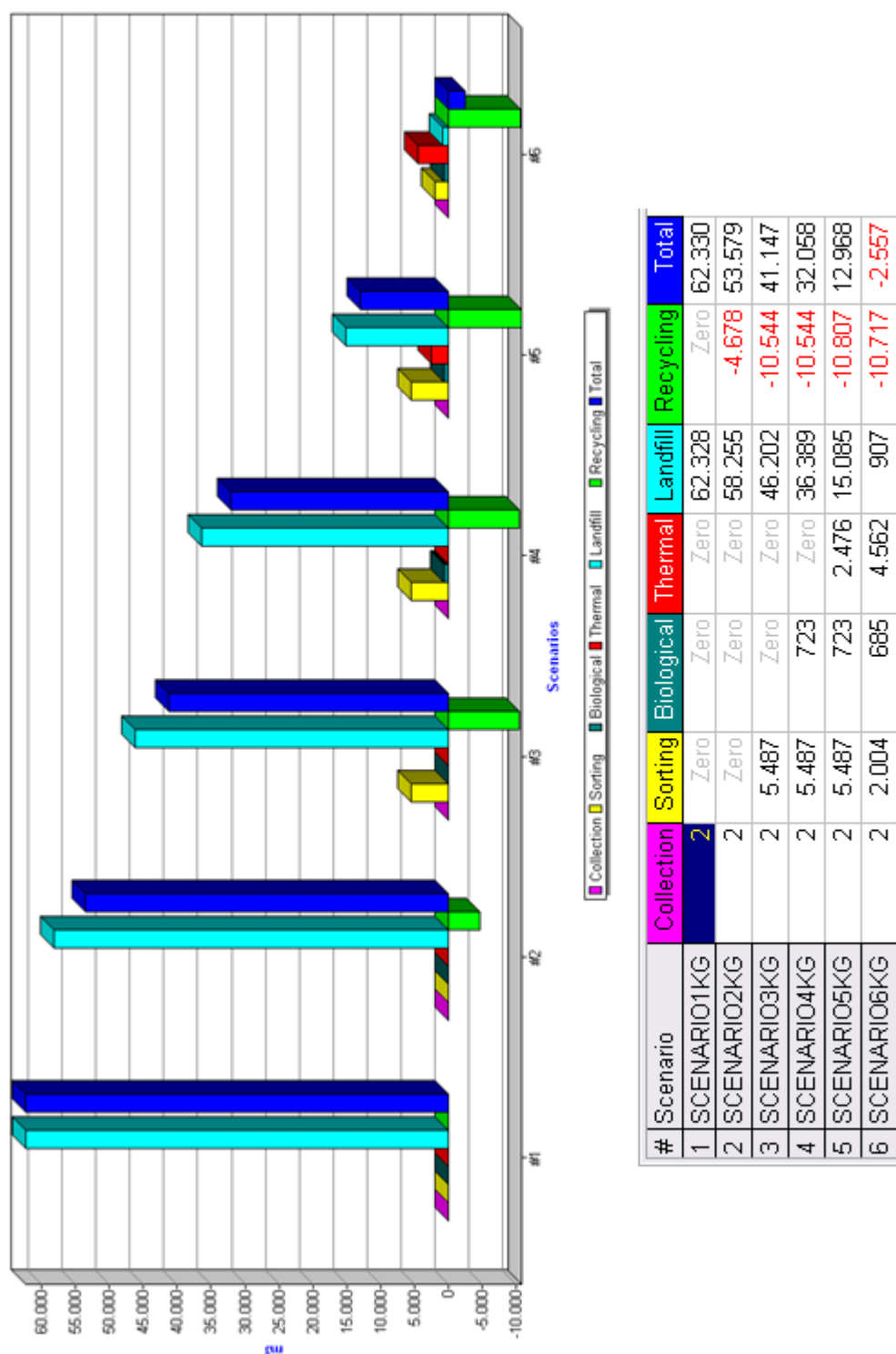
Слика 7.28 Фактор GWP код предложених сценарија (g), GWP



Слика 7.29 Упоредна потрошња горива код предложених сценарија (GJ), FC



Слика 7.30 Поређење укупних трошкова функционисања система код предложених сценарија (£), ТОС

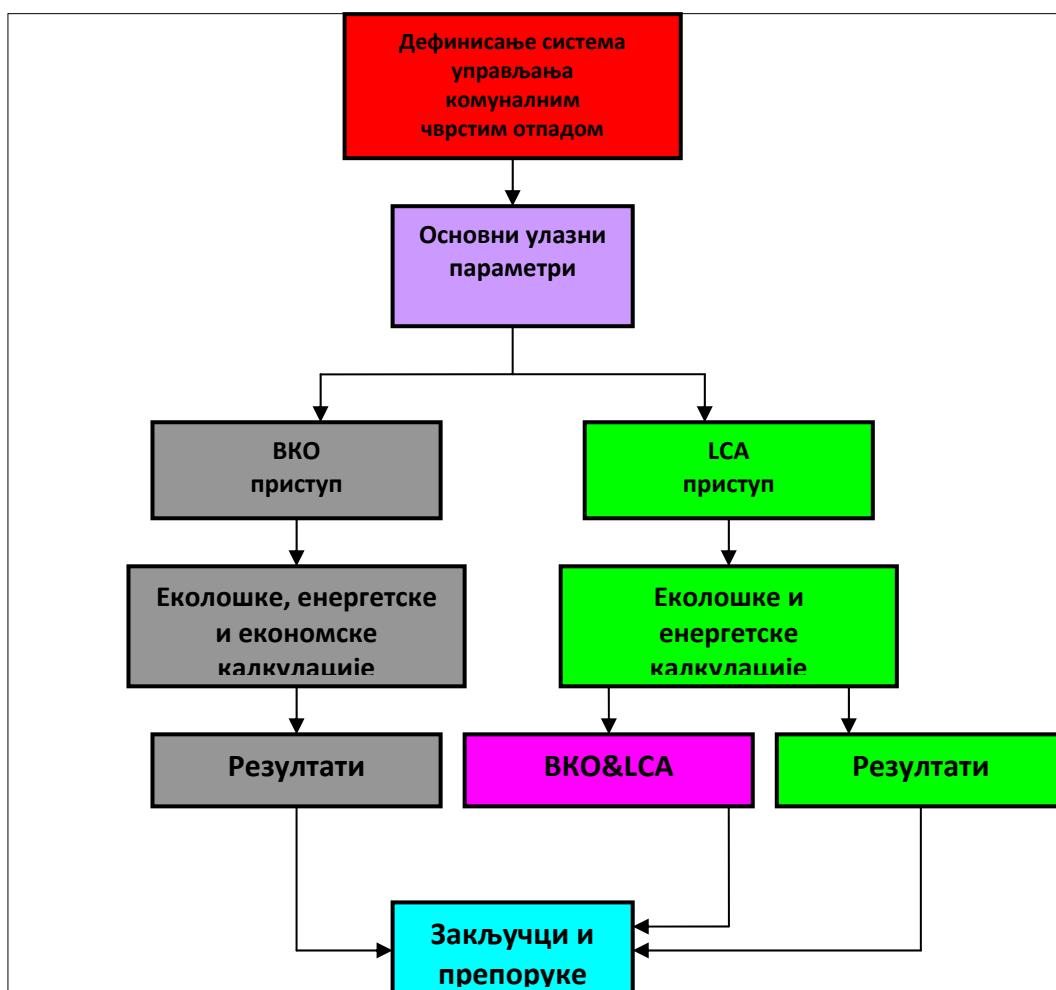


Слика 7.31 Запремина преосталог чврстог отпада код предложених сценарија (m<sup>3</sup>), VW

#### 7.2.1.4 Примена вишекритеријумског одлучивања у оцењивању животног циклуса

Комбинована примена вишекритеријумског одлучивања и методе Оцењивања животног циклуса представља максимално флексибилну стратегију за доносиоце одлука (Linkov и сар., 2011). У оквиру овог одељка дисертације, приказана је развијена методологија интеграције ова два алата. Спровођењем поступка вишекритеријумског одлучивања, на бази резултата који су добијени кроз LCA (LCIA) калкулације изабраних параметара (примена IWM2 софтверског пакета), за предложена алтернативна решења, извршено је рангирање сценарија.

Упростићена шема обједињене употребе ВКО и LCA модела, примењене у оквиру ове дисертације, представљена је на слици 7.32. Одговарајући параметри су преведени у атрибуте (критеријуме), а на основу примене две различите методе ВКО, извршено је рангирање алтернатива.



Слика 7.32 Обједињена примена ВКО и LCA методе у процесу избора најповољније опције управљања отпадом

У циљу квалитативног рангирања шест предложених сценарија, примењене су и две методе вишекритеријумског одлучивања (SAW и TOPSIS) и извршено поређење одговарајућих резултата. На основу вредности осам различитих параметара за анализирани сценарије, представљених на дијаграмима на сликама 7.24 до 7.31, није једноставно издвојити најквалитетнију опцију управљања отпадом и извршити свеукупно рангирање. У оквиру овог одељка, реализовано је ВКО са две напред поменуте методе. На самом почетку, дефинисана је (поглавље 5, табела 5.1) основна матрична табела у оквиру које алтернативе представљају предложени сценарији ( $A_i$ ,  $i = \overline{1,6}$ ), а критеријуме анализирани параметри ( $C_j$ ,  $j = \overline{1,8}$ ). За обе методе развијен је нумерички модел који се може флексибилно применити за различит број сценарија и критеријума.

Табела 7.19 Табеларни приказ матрице за 6 сценарија и 8 критеријума

		Критеријуми							
		$C_1$ (CH <sub>4</sub> )	$C_2$ (CO <sub>2</sub> )	$C_3$ (GWP)	$C_4$ (N <sub>2</sub> O)	$C_5$ (PM)	$C_6$ (FC)	$C_7$ (TOC)	$C_8$ (VW)
Алтернативе (сценарија)	$A_1(1КГ)$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$	$X_{18}$
	$A_2(2КГ)$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{23}$	$X_{24}$	$X_{25}$	$X_{26}$	$X_{27}$	$X_{28}$
	$A_3(3КГ)$	$X_{31}$	$X_{32}$	$X_{33}$	$X_{34}$	$X_{35}$	$X_{36}$	$X_{37}$	$X_{38}$
	$A_4(4КГ)$	$X_{41}$	$X_{42}$	$X_{43}$	$X_{44}$	$X_{45}$	$X_{46}$	$X_{47}$	$X_{48}$
	$A_5(5КГ)$	$X_{51}$	$X_{52}$	$X_{53}$	$X_{54}$	$X_{55}$	$X_{56}$	$X_{57}$	$X_{58}$
	$A_6(6КГ)$	$X_{61}$	$X_{62}$	$X_{63}$	$X_{64}$	$X_{65}$	$X_{66}$	$X_{67}$	$X_{68}$
	max/min	min	min	min	min	min	min	min	min
	$W_j$	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	$W_8$

У табели 7.20 представљене су вредности параметара  $X_{ij}$  за сваки од шест предложених сценарија. Након избора максималних и минималних вредности у свакој колони (за сваки  $j$ -ти критеријум), врши се израчунавање нормализованих вредности (табела 7.21), на основу израза (5.5), која важи за критеријуме типа *min*.

#### 7.2.1.4.1 Вишекритеријумско одлучивање - SAW метода

Даљи поступак у оквиру оцењивања и рангирања сценарија кроз примену SAW методе ВКО (одељак 5.3.1), захтева одређивање отежаних нормализованих вредности по свим критеријумима ( $j$ -на 7.1):

$$W'_j = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^8 W_j} \quad (7.1)$$

Овако израчунате вредности се, према SAW методи користе за рангирање алтернатива упоређивањем производа добијених заменом одговарајућих вредности у следећем изразу:

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max_i \sum_{j=1}^8 W_j' r_{ij} \right\} \quad (7.2)$$

У оквиру овог дела SAW анализе, извршено је укупно пет варијација тежинских коефицијената критеријума и сходно томе, и пет рангирања предложених сценарија. Вариране су вредности за осам предвиђених критеријума и те вредности су приказане у табели 7.22. На основу предлога тежинских коефицијената  $W_j$ , према изразу (7.1), израчунате су и приказане у табели 7.22, нормализоване тежине  $W_j'$  за пет различитих варијанти.

Табела 7.20 Вредности параметара ( $x_{ij}$ ) по сценаријима

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	GWP	N <sub>2</sub> O	PM	FC	TOC	VW
1КГ	3660886419	9702095390	86580721178	35	0	24479	7549600	62330
2КГ	322379185	8195270649	14951191400	-45297	-160	-349143	6708008	53579
3КГ	275549875	7204401627	13006978099	51707	-109	-399987	7760535	41147
4КГ	195373325	4645014256	8677579260	-226693	-71	-366249	7190784	32058
5КГ	89847396	17931207137	19751628200	-214110	581	-488276	6934515	12968
6КГ	-8941934	28161489424	27918594552	-177788	1026	-697531	9902157	-2557

Табела 7.21 Нормализоване вредности параметара ( $r_{ij}$ ) по сценаријима (SAW)

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	GWP	N <sub>2</sub> O	PM	FC	TOC	VW
1КГ	0	0,784955819	0	0,185603	0,865093	0	0,736521	0
2КГ	0,90971754	0,8490311	0,919469074	0,348434	1	0,517475	1	0,13486523
3КГ	0,92247817	0,891166199	0,944425876	0	0,956998	0,587895	0,670483	0,32645985
4КГ	0,94432566	1	1	1	0,924958	0,541167	0,848856	0,46653413
5КГ	0,97308067	0,435026177	0,857848494	0,954802	0,375211	0,710177	0,929087	0,7607379
6КГ	1	0	0,753013616	0,824335	0	1	0	1

Поређењем сума производа вредности нормализованих параметара  $r_{ij}$  и нормализованих тежинских коефицијената  $W_j'$  (израз 7.2), извршено је рангирање сценарија, и то, за сваку од пет варијанти додељених тежина одређеним критеријумима (табела 7.23).



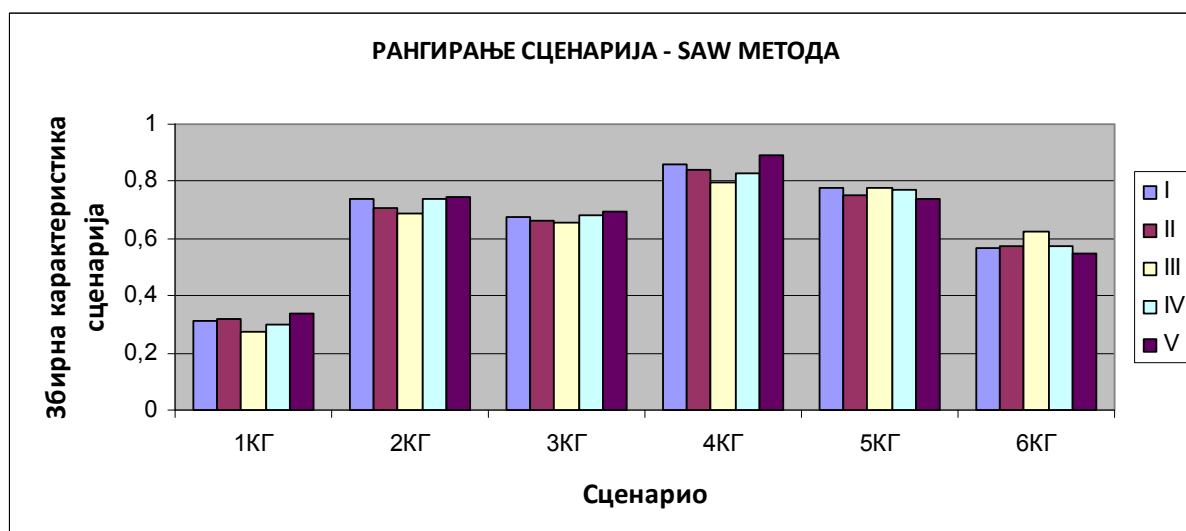
**Табела 7.22** Тежински и нормализовани тежински коефицијенти (пет варијација)

		CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	GWP	N <sub>2</sub> O	PM	FC	TOC	VW
<b>I</b>	$W_j$	80	80	100	80	50	80	100	50
	$W_j'$	0,1290322	0,129032258	0,161290323	0,129032	0,080645	0,129032	0,16129	0,0806451
<b>II</b>	$W_j$	100	100	100	100	100	100	100	100
	$W_j'$	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
<b>III</b>	$W_j$	80	50	80	50	50	100	100	100
	$W_j'$	0,1311475	0,081967213	0,131147541	0,081967	0,081967	0,163934	0,163934	0,1639344
<b>IV</b>	$W_j$	50	50	100	50	50	100	100	50
	$W_j'$	0,0909090	0,090909091	0,181818182	0,090909	0,090909	0,181818	0,181818	0,09090909
<b>V</b>	$W_j$	100	100	100	100	100	50	50	50
	$W_j'$	0,1538461	0,153846154	0,153846154	0,153846	0,153846	0,076923	0,076923	0,0769230

**Табела 7.23** Збирне карактеристике сценарија за различите вредности тежинских коефицијената

Сценарио	Варијанте тежинских коефицијената				
	I	II	III	IV	V
<b>1КГ</b>	0,313793	0,321522	0,271204	0,30079	0,339063
<b>2КГ</b>	0,739779	0,709874	0,690889	0,737812	0,746588
<b>3КГ</b>	0,67385	0,662488	0,656138	0,682065	0,69346
<b>4КГ</b>	0,860161	0,84073	0,799098	0,828715	0,891933
<b>5КГ</b>	0,776351	0,749496	0,77824	0,772098	0,737841
<b>6КГ</b>	0,566529	0,572169	0,625341	0,575488	0,550361

На слици 7.33, на основу података из табеле 7.23, представљене су збирне карактеристике сценарија израчунатих кроз примену SAW методе вишекритеријумске анализе. Очигледно је да сценарио 4КГ, у свакој од пет варијанти расподеле тежинских коефицијената, има најбољу збирну карактеристику, па самим тим, из овог сета предложених опција, представља оптимално решење. Са друге стране, опција управљања отпадом означена са 1КГ има, у свим случајевима, најлошије збирне карактеристике. Уочава се и релативно добра стабилност резултата и укупног рангирања свих шест сценарија. Није регистрована битна осетљивост збирне карактеристике понуђених алтернатива ( $A_i$ ) на промене вредности нормализованих тежинских коефицијената. У табели 7.24 представљене су просечне (средње) вредности збирних карактеристика свих предложених сценарија из пет варијантних симулација.



Слика 7.33 Рангирање сценарија (SAW метода) при различитим варијантама тежинских коефицијената

Табела 7. 24 Средња збирна карактеристика и ранг сценарија (SAW метода)

	1КГ	2КГ	3КГ	4КГ	5КГ	6КГ
<b>A<sub>i</sub></b>	0,309274	0,724988	0,6736	0,844127	0,762805	0,577978
<b>Ранг</b>	6	3	4	1	2	5

#### 7.2.1.4.1 Вишекритеријумско одлучивање - TOPSIS метода

У овом одељку, у складу са уобичајеним алгоритмом TOPSIS методе, приказано је вишекритеријумско рангирање предложених сценарија, где су одговарајући параметри одређени употребом IWM2 софтвера. Ова метода, као што је већ речено у поглављу 5, предложене алтернативе (сценарије) вреднује на основу њихове удаљености (еуклидског растојања) од "идеалног" и "анти-идеалног" решења. У првом кораку, врши се нормализација вредности  $x_{ij}$  из полазне матрице (табела 7.20), на основу следеће једначине:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^6 x_{ij}^2}} \quad (7.3)$$

У табели 7.25 су приказане нормализоване вредности  $r_{ij}$  које чине нормализовану матрицу  $R$ , а у табели 7.26, приказани су тежински коефицијенти критеријума (параметара) и њихове нормализоване вредности.

Табела 7.25 Нормализоване вредности параметара ( $r_{ij}$ ) по сценаријима (TOPSIS)

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	GWP	N <sub>2</sub> O	PM	FC	TOC	VW
1КГ	0,991667114	0,264119191	0,905930893	9,58E-05	0	0,022911	0,397862	0,634462
2КГ	0,08732662	0,223099049	0,156440672	-0,12394	-0,13367	-0,32677	0,35351	0,545385
3КГ	0,074641417	0,196124719	0,136097541	0,141482	-0,09106	-0,37436	0,408978	0,418839
4КГ	0,052923057	0,126450767	0,090797201	-0,62028	-0,05932	-0,34278	0,378952	0,326321
5КГ	0,024338015	0,488139493	0,206669683	-0,58585	0,485389	-0,45699	0,365447	0,132002
6КГ	-0,002422206	0,766637464	0,292124124	-0,48647	0,857158	-0,65284	0,521841	-0,02603

Табела 7.26 Тежински коефицијенти критеријума и нормализоване вредности

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	GWP	N <sub>2</sub> O	PM	FC	TOC	VW
$W_j$	80	80	100	80	50	80	100	50
$W_j'$	0,129032258	0,129032258	0,161290323	0,129032	0,080645	0,129032	0,16129	0,080645

Елементи, тзв., отежане нормализоване матрице  $V$  (израз 5.14)  $v_{ij}$ , чије су вредности приказане у табели 7.27, добијају се на основу следећих израза:

$$W_j' = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^8 W_j} \quad \text{и} \quad v_{ij} = W_j' \cdot r_{ij} \quad (7.4)$$

Табела 7.27 Отежане нормализоване вредности параметара ( $v_{ij}$ ) по сценаријима (TOPSIS)

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	GWP	N <sub>2</sub> O	PM	FC	TOC	VW
1КГ	0,127957047	0,034079896	0,146117886	1,24E-05	0	0,002956	0,064171	0,051166
2КГ	0,011267951	0,028786974	0,025232366	-0,01599	-0,01078	-0,04216	0,057018	0,043983
3КГ	0,009631151	0,025306415	0,021951216	0,018256	-0,00734	-0,0483	0,065964	0,033777
4КГ	0,006828782	0,016316228	0,01464471	-0,08004	-0,00478	-0,04423	0,061121	0,026316
5КГ	0,003140389	0,062985741	0,03333382	-0,07559	0,039144	-0,05897	0,058943	0,010645
6КГ	-0,000312543	0,098920963	0,047116794	-0,06277	0,069126	-0,08424	0,084168	-0,0021

У трећем кораку вишекритеријумске анализе применом TOPSIS методе, приступа се формирању такозваног "идеалног" и "анти-идеалног" решења. Идеално решење ( $A^+$ ) има све најбоље карактеристике по свим критеријумима (параметрима), од којих сви припадају типу  $min$ , и одређује се на основу израза:

$$A^+ = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in C^+ \right) \cup \left( \min_i v_{ij} \mid j \in C^- \right) \right\} = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_8^+\}, i = \overline{1,6} \quad (7.5)$$

Са друге стране, анти-идеално решење ( $A^-$ ) се састоји од свих најлошијих карактеристика по свим критеријумима (параметрима) и одређује се према једначини:

$$A^- = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \mid j \in C^+ \right) \cup \left( \max_i v_{ij} \mid j \in C^- \right) \right\} = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_8^-\}, i = \overline{1,6} \quad (7.6)$$

Ова два решења, приказана су у табели 7.28:

**Табела 7.28** Идеално ( $A^+$ ) и анти идеално ( $A^-$ ) решење

	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	GWP	N <sub>2</sub> O	PM	FC	TOC	VW
$A^+$	-0,00031254	0,016316228	0,01464471	-0,08004	-0,01078	-0,08424	0,057018	-0,0021
$A^-$	0,127957047	0,098920963	0,146117886	0,018256	0,069126	0,002956	0,084168	0,051166

Четврти корак приказане методологије предвиђа одређивање удаљености, (еуклидског растојања) сваке од алтернатива ( $A_i$ ), од идеалног и анти-идеалног решења. Растојање од идеалног решења, добија се уз помоћ израза:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (7.7)$$

а од анти-идеалног:

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7.8)$$

Величине тражених растојања  $D_i^+$  и  $D_i^-$  за шест испитиваних алтернатива, приказане су у табели 7.29.

**Табела 7.29** Растојања алтернатива од идеалног и антиидеалног решења

	1КГ	2КГ	3КГ	4КГ	5КГ	6КГ
$D_i^+$	0,225984	0,091635	0,112092	0,050118	0,076525	0,123686
$D_i^-$	0,098567	0,208641	0,209634	0,239332	0,213096	0,207989

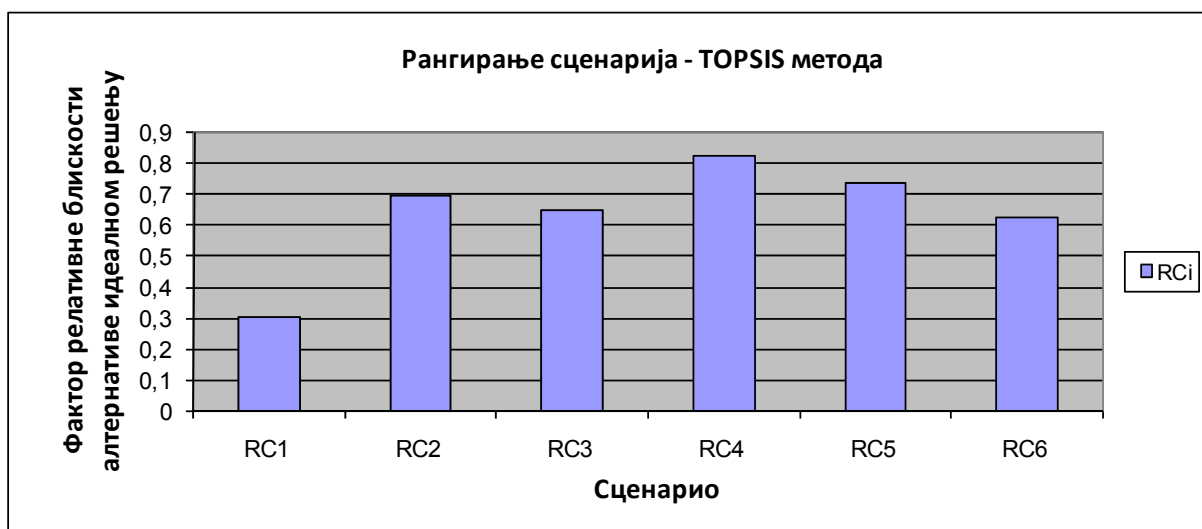
У претпоследњем, петом кораку анализе врши се израчунавање релативне блискости сваке од алтернатива идеалном решењу:

$$RC_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (7.9)$$

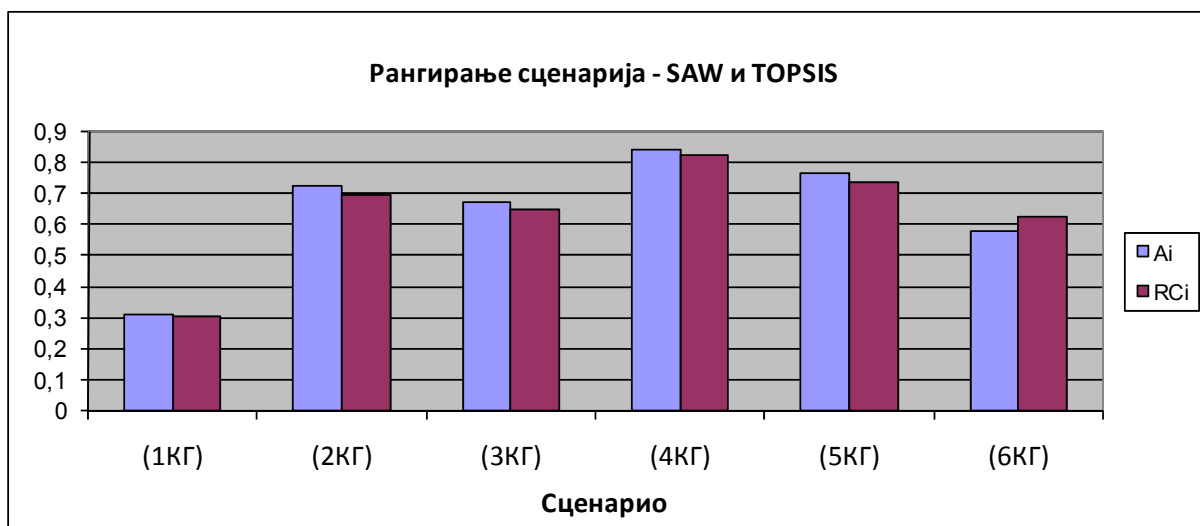
У шестом кораку, на основу добијених вредности фактора релативне блискости алтернативе идеалном решењу  $RC_i$  ( $i=1,6$ ), врши се рангирање предложених сценарија. У табели 7.30 представљене су вредности овог фактора, а на слици 7.34 је дат одговарајући дијаграмски приказ.

**Табела 7.30** Фактор релативне блискости алтернативе идеалном решењу и ранг сценарија (TOPSIS метода)

	1КГ	2КГ	3КГ	4КГ	5КГ	6КГ
$RC_i$	0,303702	0,69483	0,651593	0,826851	0,735775	0,627088
Ранг	6	3	4	1	2	5



**Слика 7.34** Вредности фактора релативне блискости алтернативе идеалном решењу за предложене сценарије



**Слика 7.35** Упоредни приказ рангирања сценарија применом SAW и TOPSIS методе

Упоређивањем вредности средње збирне карактеристике (SAW метода), датих у табели 7.23, и вредности фактора релативне блискости идеалном решењу (TOPSIS метода, табела 7.30), уочава се слагање у погледу рангирања алтернативних сценарија, као и у величинама наведених фактора. На слици 7.35, дат је упоредни дијаграмски приказ вредности ова два фактора, по предложеним опционим решењима система управљања комуналним чврстим отпадом у Крагујевцу. Поред осталог, може се приметити да сем сценарија 6КГ, све остале предложене алтернативе имају нешто нижу оцену по TOPSIS методи, у односу на одговарајући упоредни фактор добијен на основу примене SAW методе ВКО.

## 7.2.2 Симулација сценарија управљања комуналним чврстим отпадом кроз примену софтверског пакета EASETECH

У оквиру овог одељка, представљени су резултати симулације функционисања система управљања отпадом за четири формирана сценарија (1Е, 2Е, 3Е и 4Е), приказана у одељку (6.4.3). За свако од предложених варијантних решења извршена је симулација за три карактеристична састава комуналног отпада. У табелама 7.31 и 7.32 приказане су вредности за укупно осам стандардних категорија утицаја (потенцијал токсичности по људе НТР, представљен је са две подкатегије НТР-С и НТР-НС). Карактеризовани фактори утицаја, где сваки фактор утицаја има своју карактеристичну јединицу, приказани су у табели 7.31. Нормализоване вредности категорија утицаја приказане су у табели 7.32 кроз заједничку јединицу за све факторе, која представља утицај по појединцу PE – Personal Equivalent.

### 7.2.2.1 Анализа вредности стандардних еколошких категорија утицаја

У овом одељку представљени су резултати анализе инвентара животног циклуса (LCIA), за четири конципирана сценарија. Анализом је обухваћено следећих девет параметара – категорија утицаја:

- Потенцијал глобалног загревања, GWP,
- Потрошња абиотичких ресурса, обновљивих и необновљивих, ADP,
- Потенцијал потрошње озона, ODP,
- Потенцијал ацидификације (закишељавања), AP,
- Потенцијал еутрофикације, обогаћивање водених ресурса нутритијентима (Азотом и Фосфором), EP,
- Потенцијал формирања фотохемијских оксиданата (SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>), POCP,
- Потенцијал токсичности за људе, HTP и
- Емисије ситних честица у ваздуху, PM.

Када су у питању израчунате вредности фактора утицаја, осим делимично код сценарија 4E, нису забележена већа одступања приликом промене састава отпада. Сценарио 4E се, очигледно, показао као еколошки најповољнији, при чему је у чак шест категорија утицаја (GWP, ADP, ODP, HTP-C, HTP-NC и PM) имао најбоље вредности фактора. Остала три сценарија су показала релативно блиске вредности код већине фактора утицаја, али се, као потенцијално еколошки најнеповољнији, делимично издваја сценарио 3E. Сценарио 1E, који представља једноставан систем управљања отпадом (депоновање комплетног комуналног отпада, уз постојање система за сакупљање и енергетско искоришћење депонијског гаса), остварио је релативно добре еколошке показатеље, при чему је у три категорије имао најбоље вредности утицајних фактора. У оквиру одељка 7.2.2.2, ради што квалитетнијег и меродавног рангирања, примениће се поступак вишекритеријумског одлучивања на бази резултата добијених кроз примену методе оцењивања животног циклуса (LCA, фаза LCIA).

Свака од анализа одабраних категорија утицаја, обухватила је испитивање промене вредности ових индикатора, у складу са варијацијом састава отпада. Слично претходним анализама, рађеним у оквиру ове дисертације, вршена је валоризација перформанси предложених сценарија за следећа три карактеристична састава отпада:

- Састав 1 - локални "КГ" састав који има врло сличну морфолошку структуру као и "јужноевропски" тип отпада,
- Састав 2 - "средњи европски" састав отпада и
- Састав 3 - "северноевропски" састав отпада

Табела 7.31 Карактеризоване вредности стандардних категорија (фактора) утицаја

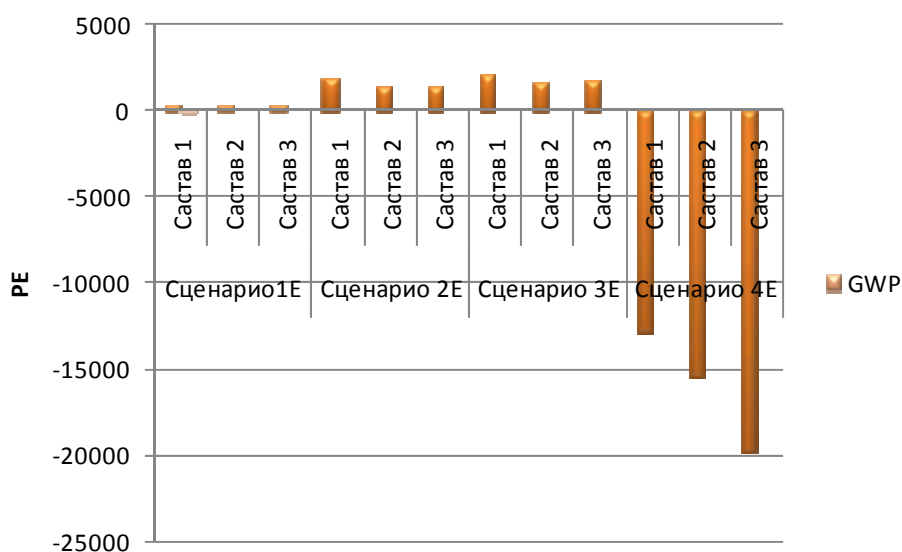
Сценарио	Састав отпада	ФАКТОР УТИЦАЈА (карактеризовани фактори)									
		GWP (kg CO <sub>2</sub> -eq)	ADP (MJ)	ODP (kg CFC-11-eq)	AP (kg SO <sub>2</sub> -eq)	EP (kg NO <sub>x</sub> - eq)	POCP (Kg NMVOC)	HTP* (CTU)	PM (kg PM 2,5 - eq)		
СЦЕНАРИО 1E	Састав 1	2,836·10 <sup>6</sup>	1,512·10 <sup>8</sup>	0,001472	6533	1,112·10 <sup>4</sup>	1,032·10 <sup>4</sup>	0,0003408 0,03324	148,7		
	Састав 2	2,756·10 <sup>6</sup>	1,513·10 <sup>8</sup>	0,001475	6542	1,112·10 <sup>4</sup>	1,029·10 <sup>4</sup>	0,0003426 0,03343	149,4		
	Састав 3	2,744·10 <sup>6</sup>	1,511·10 <sup>8</sup>	0,001470	6526	1,111·10 <sup>4</sup>	1,028·10 <sup>4</sup>	0,0003395 0,03309	148,1		
СЦЕНАРИО 2E	Састав 1	1,395·10 <sup>7</sup>	1,049·10 <sup>8</sup>	0,0003864	1,428·10 <sup>5</sup>	2,997·10 <sup>5</sup>	2,506·10 <sup>5</sup>	0,000265 0,02434	707,8		
	Састав 2	1,047·10 <sup>7</sup>	1,018·10 <sup>8</sup>	0,0005955	1,014·10 <sup>5</sup>	2,101·10 <sup>5</sup>	1,76·10 <sup>5</sup>	0,0002741 0,0261	550		
	Састав 3	1,05·10 <sup>7</sup>	1,018·10 <sup>8</sup>	0,0005978	1,011·10 <sup>5</sup>	2,07·10 <sup>5</sup>	1,735·10 <sup>5</sup>	0,0002673 0,02544	562,9		
СЦЕНАРИО 3E	Састав 1	1,568·10 <sup>7</sup>	1,124·10 <sup>8</sup>	0,0004031	1,43·10 <sup>5</sup>	3,002·10 <sup>5</sup>	2,518·10 <sup>5</sup>	0,000247 0,0221	702,3		
	Састав 2	1,239·10 <sup>7</sup>	1,102·10 <sup>8</sup>	0,0006142	1,016·10 <sup>5</sup>	2,107·10 <sup>5</sup>	1,733·10 <sup>5</sup>	0,0002538 0,02357	543,8		
	Састав 3	1,301·10 <sup>7</sup>	1,125·10 <sup>8</sup>	0,0006216	1,014·10 <sup>5</sup>	2,077·10 <sup>5</sup>	1,752·10 <sup>5</sup>	0,0002412 0,0222	554,9		
СЦЕНАРИО 4E	Састав 1	-1,001·10 <sup>8</sup>	-1,264·10 <sup>9</sup>	-0,03766	1,428·10 <sup>5</sup>	2,997·10 <sup>5</sup>	2,453·10 <sup>5</sup>	-0,008763 -1,066	-6815		
	Састав 2	-1,195·10 <sup>8</sup>	-1,457·10 <sup>9</sup>	-0,04275	1,014·10 <sup>5</sup>	2,101·10 <sup>5</sup>	1,699·10 <sup>5</sup>	-0,01001 -1,217	-8020		
	Састав 3	-1,526·10 <sup>8</sup>	-1,855·10 <sup>9</sup>	-0,0538	1,012·10 <sup>5</sup>	2,069·10 <sup>5</sup>	1,659·10 <sup>5</sup>	-0,01264 -1,534	-10190		



Табела 7.32 Нормализоване вредности стандардних категорија (фактора) утицаја

Сценарио	Састав отпада	ФАКТОР УТИЦАЈА (нормализовани фактори)									
		GWP (PE)	ADP (PE)	ODP (PE)	AP (PE)	EP (PE)	POCP (PE)	HTR* (PE)	PM (PE)		
СЦЕНАРИО 1E	Састав 1	366,8	1876	0,0718	131	31,22	195,1	10,49 40,83	31,57		
	Састав 2	356,5	1878	0,07196	131,1	31,25	194,5	10,54 41,07	31,73		
	Састав 3	355	1875	0,07163	130,8	31,21	194,3	10,45 40,65	31,45		
СЦЕНАРИО 2E	Састав 1	1804	1302	0,01885	2863	841,8	4738	8,153 29,9	150,3		
	Састав 2	1355	1263	0,02905	2033	590,1	3326	8,435 32,07	116,8		
	Састав 3	1359	1263	0,02916	2028	581,4	3279	8,223 31,25	119,5		
СЦЕНАРИО 3E	Састав 1	2028	1394	0,01966	2867	843,4	4761	7,599 27,15	149,1		
	Састав 2	1603	1368	0,02966	2038	591,9	3352	7,809 28,96	115,5		
	Састав 3	1683	1396	0,03032	2034	583,6	3312	7,421 27,27	117,8		
СЦЕНАРИО 4E	Састав 1	-12950	-15680	-1,837	2863	841,8	4637	-269,6 -1310	-1477		
	Састав 2	-15460	-18080	-2,085	2033	590,1	3212	-308 -1494	-1703		
	Састав 3	-19740	-23010	-2,624	2028	581,3	3135	-389 -1885	-2164		

На слици 7.36 приказан је дијаграм упоредних вредности потенцијала глобалног загревања за све четири анализиране варијанте. Интересантно је запазити да је сценарио 4Е једини систем код кога су регистроване уштеде емисија гасова стаклене баште (негативне вредности GWP-a). Разлог овоме лежи у продукцији и енергетском искоришћењу биогаса. Ова опција управљања отпадом подразумева анаеробну дигестију органске компоненте и показује боље вредности са смањењем удела органског – прехранбеног отпада. Највећи ниво избегавања штетних емисија се региструје при симулацији овог сценарија за, тзв., „северноевропски“ састав отпада. Овај састав карактерише мањи удео органске, првенствено прехранбене компоненте отпада, која у себи носи највећи потенцијал емисије гасова стаклене баште .

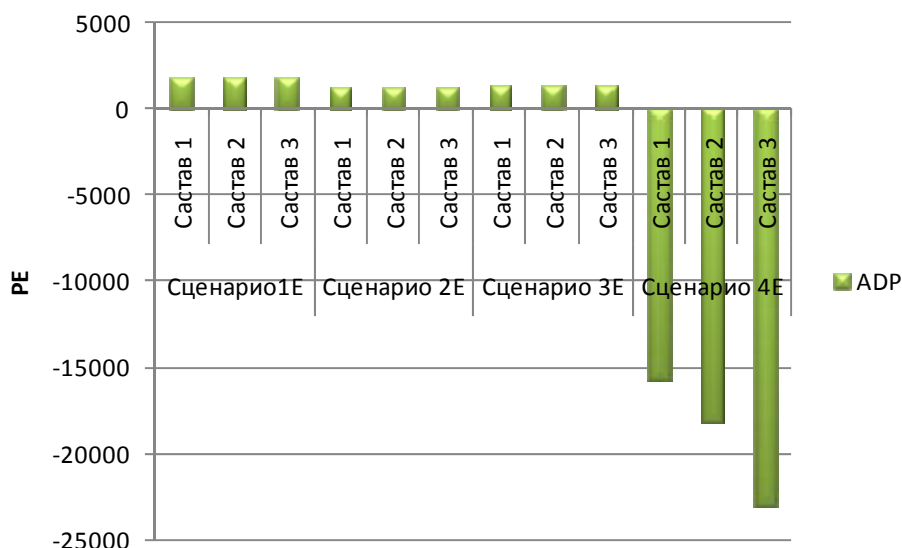


Слика 7.36 Потенцијал глобалног загревања за четири изабрана сценарија

За сценарио 4Е, разлика у вредностима GWP-a између „КГ - јужноевропског“ и „северноевропског“ састава отпада износи преко 30 %. Од преостала три сценарија, као следећи најповољнији, у погледу најмањих утицаја на климатске промене, показао се сценарио 1Е. Значајне уштеде у емисијама, код сценарија 1Е, потичу услед изостанка процеса разврставања и обимнијег транспорта отпада у овом сценарију.

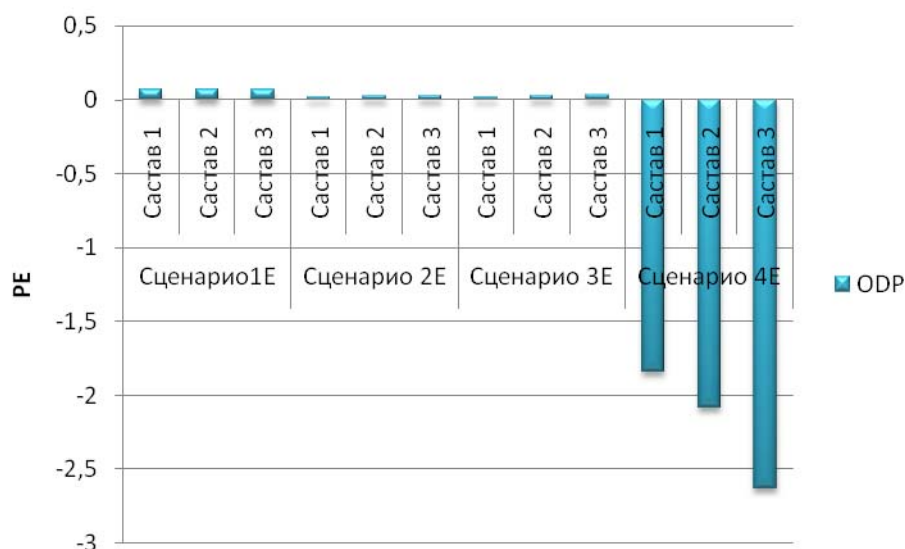
Упоредна потрошња обновљивих и необновљивих абиотичких ресурса представљена је на слици 7.37. Посматрајући вредности овог параметра, уочава се да је сценарио 4Е показао највеће уштеде у погледу потрошње наведених категорија ресурса. Уштеде се повећавају у складу са смањењем удела прехранбене компоненте органског отпада, зависно од типа отпада. Сценарио 1Е има најлошији ADP фактор утицаја управо због потпуног одсуства процеса рециклаже амбалажног отпада и третмана органског отпада, а чијом би се применом створила могућност супституције одређених природних ресурса.

Вредности потенцијала потрошње озона (ODP), упоредно за све сценарије, приказане су на слици 7.38. Сценарио 4Е поново карактерише највећи ниво уштеде у потрошњи овог атмосферског гаса. Остала три сценарија имају релативно уједначене вредности потрошње озона.

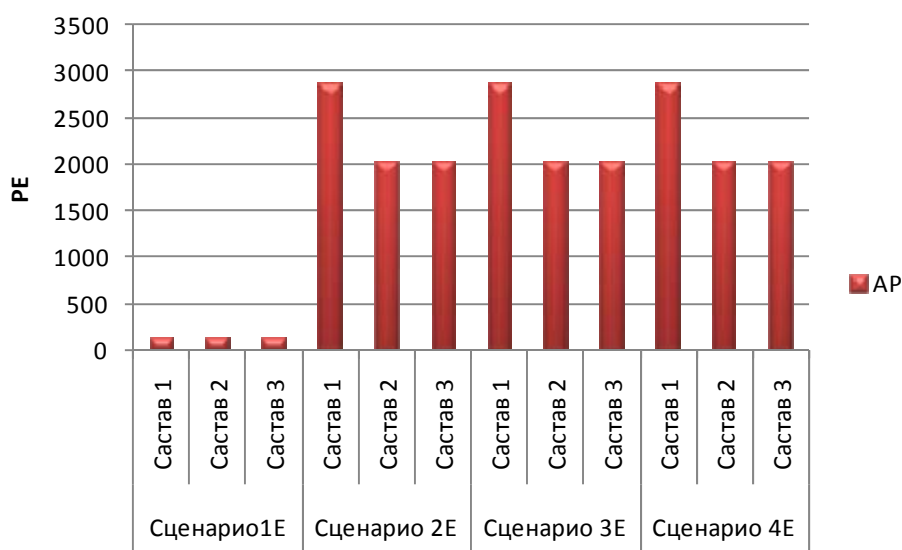


**Слика 7.37** Потрошња абиотичких ресурса (обновљивих и необновљивих) за четири изабрана сценарија

Вредности потенцијала ацидификације земљишта и водених ресурса (AP), приказане су на слици 7.39. Када је у питању овај фактор утицаја, као најповољнији се показао сценарио 1E, док се код остала три сценарија бележе прилично уједначене вредности, нешто веће за „КГ - јужноевропски“ састав отпада. Сценарио 1E предвиђа депоновање комплетно сакупљеног комуналног отпада на санитарну депонију, која има инсталиране системе за сакупљање депонијских гасова и процедурних вода. Овакав вид управљања комуналним отпадом треба да обезбеди локализован и релативно мали утицај на околне земљишне и водне ресурсе.

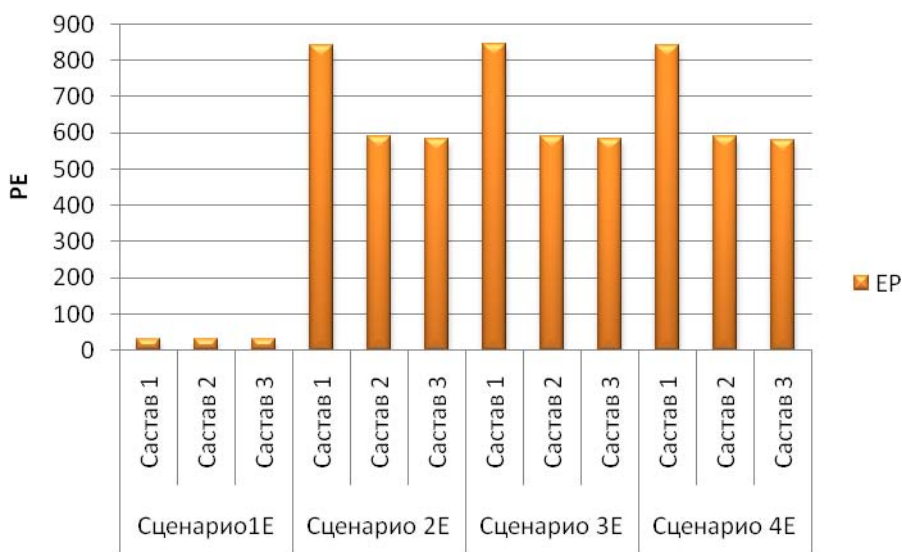


**Слика 7.38** Потенцијал потрошње озона за четири изабрана сценарија



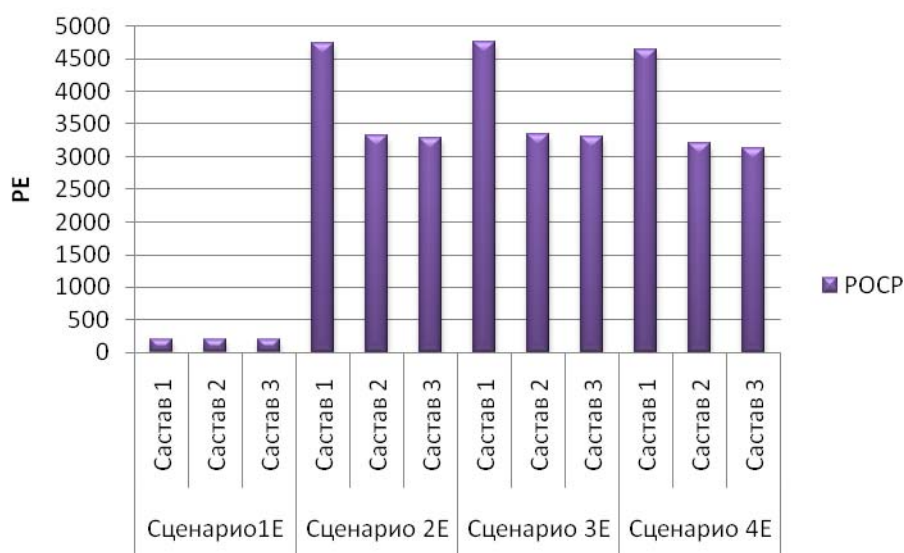
**Слика 7.39** Потенцијал ацидификације (закишељавања) за четири изабрана сценарија

За фактор утицаја EP (потенцијал еутрофикације) добијени су, у упоредном смислу, релативно слични резултати (слика 7.40) као код фактора AP. Најмање присуство нутритијената се бележи код сценарија 1E, док сценарији 2E, 3E и 4E имају готово идентичне вредности које су, опет, приметно веће за случај „КГ - јужноевропског“ састава отпада (и до 30%). Удео органске, пре свега прехранбене компоненте, од највећег је утицаја на разлику у вредностима фактора EP према различитим типовима отпада.



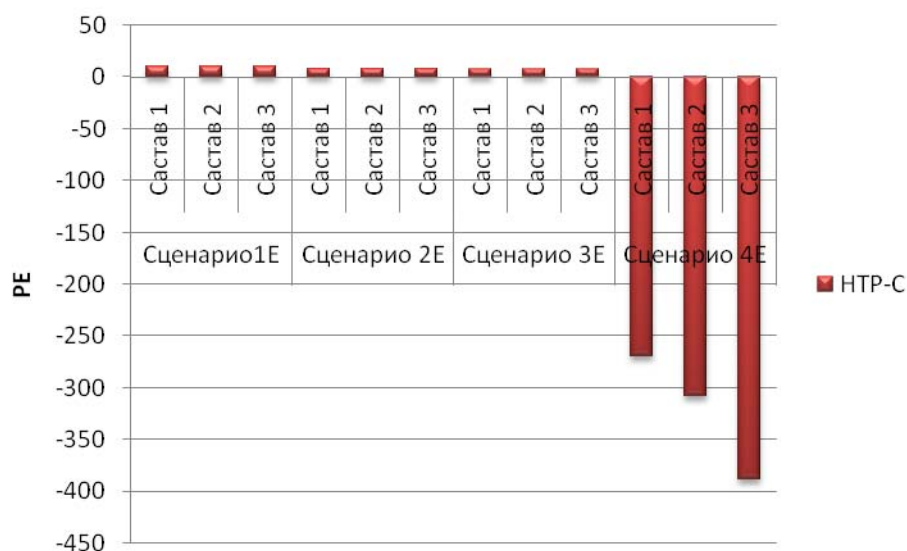
**Слика 7.40** Потенцијал еутрофикације за четири изабрана сценарија

Сценарио 1Е, и у случају поређења вредности за РОСР фактор утицаја, на основу вредности са дијаграма (слика 7.41), очигледно има значајно мањи потенцијал формирања фотохемијских оксиданата у односу на преостала три сценарија. Код сценарија 2Е, 3Е и 4Е се приликом симулације процеса управљања са „КГ-јужноевропским“ саставом отпада поново јављају повишене вредности, као што је то већ забележено за факторе АР и ЕР. Објашњење ове чињенице и овај пут лежи у повећаном уделу прехранбене компоненте отпада.

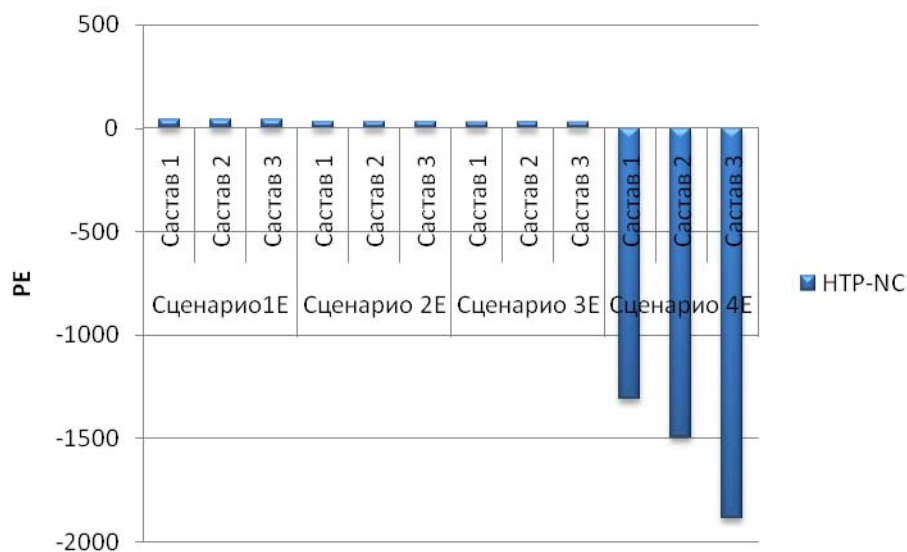


**Слика 7.41** Потенцијал формирања фотохемијских оксиданата за четири изабрана сценарија

Потенцијали токсичности по људе, карциногени (НТР-С, слика 7.42) и некарциногени (НТР-НС, слика 7.43) имају најниже вредности за сценарио 4Е управљања комуналним отпадом. Код овог сценарија вредност ова два фактора утицаја опада са смањењем удела прехранбене органске компоненте и најмања је за „северноевропски“ тип отпада. Код остала три сценарија (1Е, 2Е и 3Е), бележе се мале позитивне вредности ових фактора, са релативно уједначеним нивоима потенцијала токсичности за сва три разматрана типа отпада.

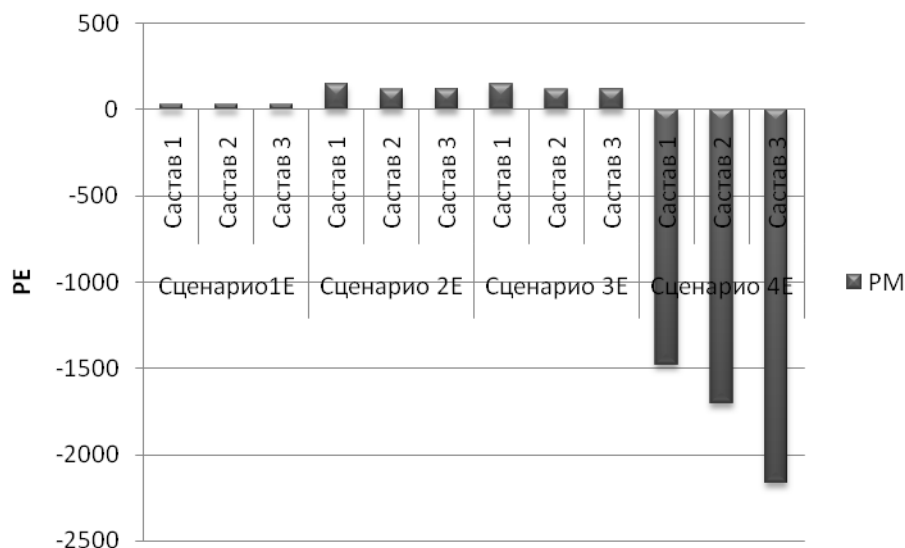


**Слика 7.42** Потенцијал токсичности по људе (карциногени) за четири изабрана сценарија



**Слика 7.43** Потенцијал токсичности по људе (некарциногени) за четири изабрана сценарија

Емисије ситних честица су, као фактор утицаја, показале најмање оптерећење животне средине приликом симулације сценарија 4Е (слика 7.44). Количина ситних честица у атмосфери се смањује сразмерно мањем уделу прехранбеног отпада. Фактор РМ, за сценарије 2Е и 3Е има нешто више вредности у односу на сценарио 1Е. Овакве вредности су резултат, првенствено, знатно сложеније процедуре и технологије третмана у оквиру ових сценарија и повећаног утицаја сакупљања, сортирања и посебно транспорта комуналног отпада.



Слика 7.44 Емисије ситних честица за четири изабрана сценарија

### 7.2.2.2 Примена вишекритеријумског одлучивања у оцењивању животног циклуса

У овом делу дисертације, биће приказани резултати примене методе ВКО кроз рангирање четири предложена сценарија, чији су еколошки параметри (фактори утицаја) одређени применом софтверског пакета EASETECH. Ова анализа има сличну структуру као поступак представљен у одељку 7.2.1.4, у оквиру којег је кроз примену метода SAW и TOPSIS, а на основу параметара добијених симулацијом предложених решења IWM2 софтверским пакетом, извршено рангирање предложених сценарија. И у овом случају је, пре примене различитих вишекритеријумских метода оцењивања и рангирања, неопходно дефинисати основну матрицу вредности параметара (табела 7.33). Алтернативе ( $A_{ie}$ ,  $i = \overline{1,4}$ ) представљају предложене сценарије, а критеријуме анализирани фактори утицаја ( $C_{je}$ ,  $j = \overline{1,8}$ ).

Табела 7.33 Табеларни приказ матрице за 4 сценарија и 8 критеријума

		Критеријуми							
		$C_{1e}$ (GWP)	$C_{2e}$ (ADP)	$C_{3e}$ (ODP)	$C_{4e}$ (AP)	$C_{5e}$ (EP)	$C_{6e}$ (POCP)	$C_{7e}$ (HTP)	$C_{8e}$ (PM)
Алтернативе (сценарија)	$A_{1e}$ (1E)	$X_{11e}$	$X_{12e}$	$X_{13e}$	$X_{14e}$	$X_{15e}$	$X_{16e}$	$X_{17e}$	$X_{18e}$
	$A_{2e}$ (2E)	$X_{21e}$	$X_{22e}$	$X_{23e}$	$X_{24e}$	$X_{25e}$	$X_{26e}$	$X_{27e}$	$X_{28e}$
	$A_{3e}$ (3E)	$X_{31e}$	$X_{32e}$	$X_{33e}$	$X_{34e}$	$X_{35e}$	$X_{36e}$	$X_{37e}$	$X_{38e}$
	$A_{4e}$ (4E)	$X_{41e}$	$X_{42e}$	$X_{43e}$	$X_{44e}$	$X_{45e}$	$X_{46e}$	$X_{47e}$	$X_{48e}$
max/min		min	min	min	min	min	min	min	min
$W_{je}$		$W_{1e}$	$W_{2e}$	$W_{3e}$	$W_{4e}$	$W_{5e}$	$W_{6e}$	$W_{7e}$	$W_{8e}$

У табели 7.34, представљене су вредности параметара (фактора утицаја)  $X_{ije}$ , за сваки од предложених сценарија, и то оне које одговарају типу отпада *Састав 1*, датих у табели

7.31. Након избора максималних и минималних вредности у свакој колони (за сваки  $j$ -ти критеријум), врши се израчунавање нормализованих вредности (табела 7.35), на основу израза (5.5), која важи за критеријуме типа *min*:

$$r_{ije} = \frac{x_j^{\max} - x_{ije}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (7.10)$$

Уз сваку од ознака из приказане матричне табеле, у односу на ознаке приказане у табели 7.18, из одељка 7.2.1.4, додато је мало слово "е" (почетно слово од EASETECH).

### 7.2.2.2.1 Вишекритеријумско одлучивање - SAW метода

Примена SAW методе, са циљем оцењивања и рангирања сценарија код вишекритеријумске анализе (одељак 5.3.1), претпоставља на самом почетку, одређивање отежаних нормализованих вредности по свим критеријумима:

$$W'_{je} = \frac{W_{je}}{\sum_{j=1}^8 W_{je}} \quad (7.11)$$

**Табела 7.34** Вредности параметара ( $x_{ije}$ ) по сценаријима

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
<b>1E</b>	366,8	1876	0,0718	131	31,22	195,1	40,83	31,57
<b>2E</b>	1804	1302	0,01885	2863	841,8	4738	29,9	150,3
<b>3E</b>	2028	1394	0,01966	2867	843,4	4761	27,15	149,1
<b>4E</b>	-12950	-15680	-1,837	2863	841,8	4637	-1310	-1477

**Табела 7.35** Нормализоване вредности параметара ( $r_{ije}$ ) по сценаријима (SAW)

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
<b>1E</b>	0,110909	0	0	1	1	1	0	0,072961
<b>2E</b>	0,014955	0,032695	0,02774	0,001462	0,00197	0,005037	0,008091	0
<b>3E</b>	0	0,027455	0,027316	0	0	0	0,010127	0,000737
<b>4E</b>	1	1	1	0,001462	0,00197	0,027158	1	1

Рангирање предложених опција се врши на основу вредности производа добијених применом следеће реалције:

$$A^*_e = \left\{ A_{ie} \mid \max_i \sum_{j=1}^8 W'_{je} r_{ije} \right\}. \quad (7.12)$$



SAW анализа је урађена за три варијанте тежинских коефицијената критеријума, и у складу са тим, извршена су и три рангирања предложених сценарија. Вариране су вредности за осам предвиђених критеријума (утицајних фактора) и те вредности су приказане у табели 7.36. На основу предлога тежинских коефицијената  $W_{je}$ , према изразу (7.11), израчунате су нормализоване тежине  $W_{je}'$  за три различите варијанте (табела 7.36).

**Табела 7.36** Тежински и нормализовани тежински коефицијенти (три варијације)

		GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
I	$W_{je}$	100	70	70	70	50	50	70	50
	$W_{je}'$	0,188679	0,132075	0,132075	0,132075	0,09434	0,09434	0,132075	0,09434
II	$W_{je}$	100	100	100	100	100	100	100	100
	$W_{je}'$	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
III	$W_{je}$	100	50	50	50	50	50	50	50
	$W_{je}'$	0,222222	0,111111	0,111111	0,111111	0,111111	0,111111	0,111111	0,111111

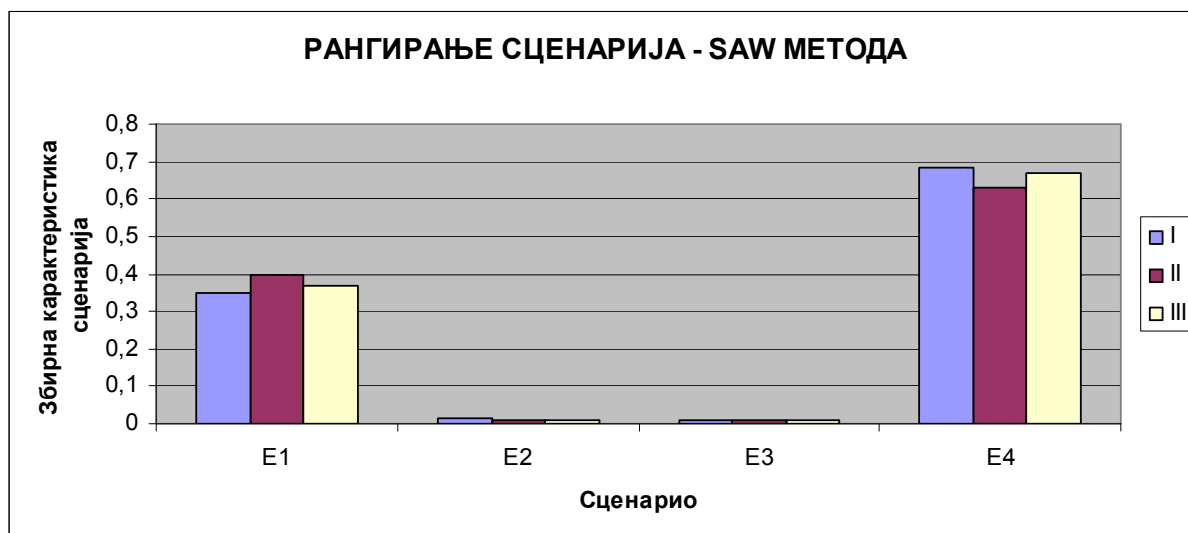
Поређењем сума производа вредности нормализованих параметара  $r_{ije}$  и нормализованих тежинских коефицијената  $W_{je}'$  (израз 7.12), извршено је рангирање сценарија, и то, за сваку од три варијанте тежинских коефицијената критеријума. У табели 7.37 представљене су збирне карактеристике за четири предложена решења, а у складу са варијацијама  $W_{je}'$ .

**Табела 7.37** Збирне карактеристике сценарија за различите вредности тежинских коефицијената

Збирна карактеристика сценарија	Варијанте вредности тежинских коефицијената		
	I	II	III
$A_{1e}(1E)$	0,348564	0,397984	0,366087
$A_{2e}(2E)$	0,012727	0,011494	0,011879
$A_{3e}(3E)$	0,008641	0,008204	0,007293
$A_{4e}(4E)$	0,682186	0,628824	0,670066

На слици 7.45 су приказане збирне карактеристике предложених алтернативних решења, израчунатих применом SAW методе. У свакој од три варијанте расподеле тежинских коефицијената, опција са ознаком 4E има највећу збирну карактеристику, па самим тим, представља најбоље решење, са аспекта утицаја на животну средину. Са друге стране, опција управљања отпадом означена са 3E има, у свим случајевима, најмању збирну карактеристику те, стога, представља еколошки најнеповољније

решење. Уочава се и релативно добра уједначеност резултата оцењивања сценарија. Није регистрована битна осетљивост збирне карактеристике понуђених алтернатива ( $A_{ie}$ ) на промене вредности нормализованих тежинских коефицијената. У табели 7.38 представљене су просечне вредности збирних карактеристика предложених сценарија из три варијантне симулације.



Слика 7.45 Рангирање сценарија (SAW метода) при различитим варијантама тежинских коефицијената

Табела 7.38 Средња збирна карактеристика и ранг сценарија (SAW метода)

Средња збирна карактеристика и ранг	Сценарио			
	E1	E2	E3	E4
$A_{ie}$	0,370878	0,012033	0,008046	0,660359
Ранг	2	3	4	1

#### 7.2.2.2 Вишекритеријумско одлучивање - TOPSIS метода

Слично поступку представљеном у одељку 7.2.1.4.1, и у складу са уобичајеном процедуром TOPSIS анализе, у оквиру овог дела дисертације биће извршено вишекритеријумско рангирање предложених решења чији су фактори утицаја одређени применом EASETECH софтвера. Нормализација вредности  $x_{ije}$  из основне матрице (табела 7.34) врши се применом следећег израза:

$$r_{ije} = \frac{x_{ije}}{\sqrt{\sum_{i=1}^4 x_{ije}^2}}$$

(7.13)

Нормализоване вредности  $r_{ije}$  које сачињавају нормализовану матрицу  $R$  (одељак 5.3.1) приказане су у табели 7.39. Вредности тежинских коефицијената критеријума (параметара, фактора утицаја) дате су у табели 7.40.

**Табела 7.39** Нормализоване вредности параметара ( $r_{ije}$ ) по сценаријима (TOPSIS)

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
<b>1E</b>	0,027711308	0,117938398	0,039051359	0,026396	0,021394	0,023897	0,031138	0,021153
<b>2E</b>	0,136290073	0,081852769	0,010252341	0,57688	0,576852	0,580332	0,022803	0,100708
<b>3E</b>	0,153213009	0,087636528	0,010692893	0,577686	0,577949	0,583149	0,020705	0,099904
<b>4E</b>	-0,978357232	-0,98575377	-0,99912739	0,57688	0,576852	0,567961	-0,99904	-0,98966

**Табела 7.40** Тежински коефицијенти критеријума и нормализоване вредности

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
$W_j$	80	80	100	80	50	80	100	50
$W'_j$	0,129032258	0,129032258	0,161290323	0,129032	0,080645	0,129032	0,16129	0,080645

Елементи, тзв., отежане нормализоване матрице  $V$  (израз 5.14)  $v_{ije}$ , чије су вредности приказане у табели 7.41, добијају се на основу следећих израза:

$$W'_{je} = \frac{W_{je}}{\sum_{j=1}^8 W_{je}} \quad \text{и} \quad v_{ije} = W'_{je} \cdot r_{ije} \quad (7.14)$$

**Табела 7.41** Отежане нормализоване вредности ( $v_{ije}$ ) по сценаријима (TOPSIS)

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
<b>1E</b>	0,003575653	0,015217858	0,006298606	0,003406	0,001725	0,003083	0,005022	0,001706
<b>2E</b>	0,017585816	0,010561648	0,001653603	0,074436	0,04652	0,074882	0,003678	0,008122
<b>3E</b>	0,019769421	0,011307939	0,00172466	0,07454	0,046609	0,075245	0,00334	0,008057
<b>4E</b>	-0,126239643	-0,12719404	-0,16114958	0,074436	0,04652	0,073285	-0,16114	-0,07981

У наредном кораку TOPSIS вишекритеријумске анализе, одређују се "идеално" и "анти-идеално" решење. Идеално решење ( $A^+_e$ ) поседује све најбоље карактеристике по свим критеријумима (параметрима, факторима утицаја), а који су сви типа *min*, и одређује се на основу израза:

$$A^+_e = \left\{ \left( \max_i v_{ije} \mid j \in C^+ \right) \cup \left( \min_i v_{ije} \mid j \in C^- \right) \right\} = \{v_{1e}^+, v_{2e}^+, \dots, v_{je}^+, \dots, v_{8e}^+\}, i = \overline{1,4} \quad (7.15)$$

Анти-идеално решење ( $A^-_e$ ) се, са друге стране, састоји од свих најлошијих карактеристика по свим критеријумима (параметрима, факторима утицаја) и одређује се на основу израза:

$$A^-_e = \left\{ \left( \min_i v_{ije} \mid j \in C^+ \right) \cup \left( \max_i v_{ije} \mid j \in C^- \right) \right\} = \{v_{1e}^-, v_{2e}^-, \dots, v_{je}^-, \dots, v_{8e}^-\}, i = \overline{1,4} \quad (7.16)$$

Ова два решења, приказана су у табели 7.42.

**Табела 7.42** Идеално ( $A^+_e$ ) и анти идеално ( $A^-_e$ ) решење

	GWP	ADP	ODP	AP	EP	POCP	HTP	PM
$A^+_e$	-0,126239643	-0,12719404	-0,16114958	0,003406	0,001725	0,003083	-0,16114	-0,07981
$A^-_e$	0,019769421	0,015217858	0,006298606	0,07454	0,046609	0,075245	0,005022	0,008122

Четврти корак методе TOPSIS подразумева одређивање удаљености (еуклидског растојања) сваке од алтернатива ( $A_{ie}$ ) од идеалног и анти-идеалног решења. Растојање од идеалног решења, добија се уз помоћ израза:

$$D^+_{ie} = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ije} - v_{je}^+)^2} \quad (7.17)$$

а од анти-идеалног:

$$D^-_{ie} = \sqrt{\sum_{j=1}^8 (v_{ije} - v_{je}^-)^2} \quad (7.18)$$

Величине тражених растојања  $D^+_{ie}$  и  $D^-_{ie}$  за шест испитиваних алтернатива, дате су у табели 7.43.

Табела 7.43 Растојања од идеалног и антиидеалног решења по сценаријима

Растојање	Сценарио			
	E1	E2	E3	E4
$D_{ie}^+$	0,315318	0,336556	0,337764	0,109454
$D_{ie}^-$	0,112184	0,00707	0,006249	0,324011

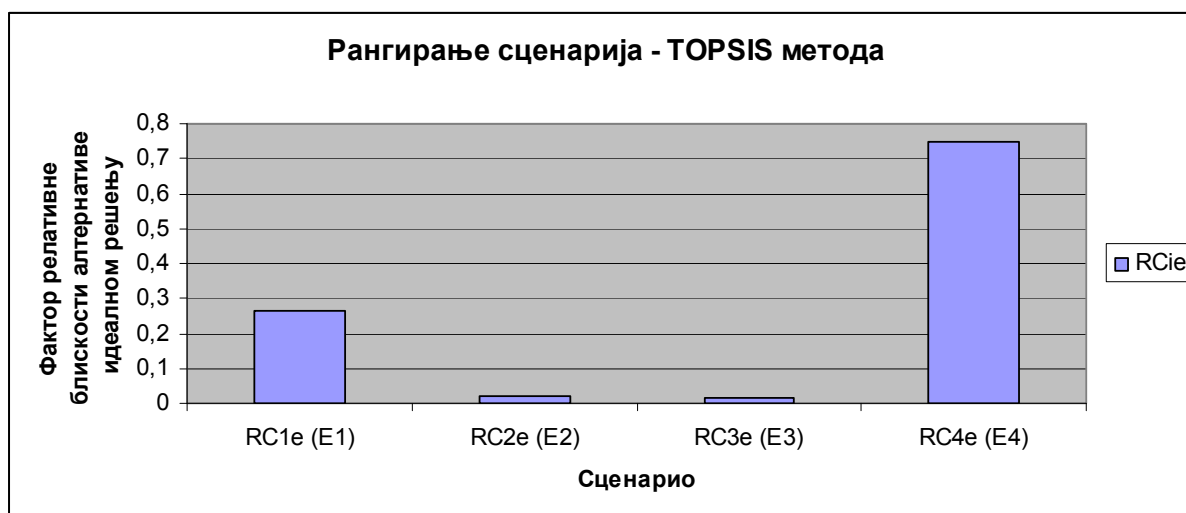
У претпоследњем, петом кораку анализе врши се израчунавање релативне блискости  $RC_{ie}$  сваке од алтернатива идеалном решењу:

$$RC_{ie} = \frac{D_{ie}^-}{D_{ie}^- + D_{ie}^+} \quad (7.19)$$

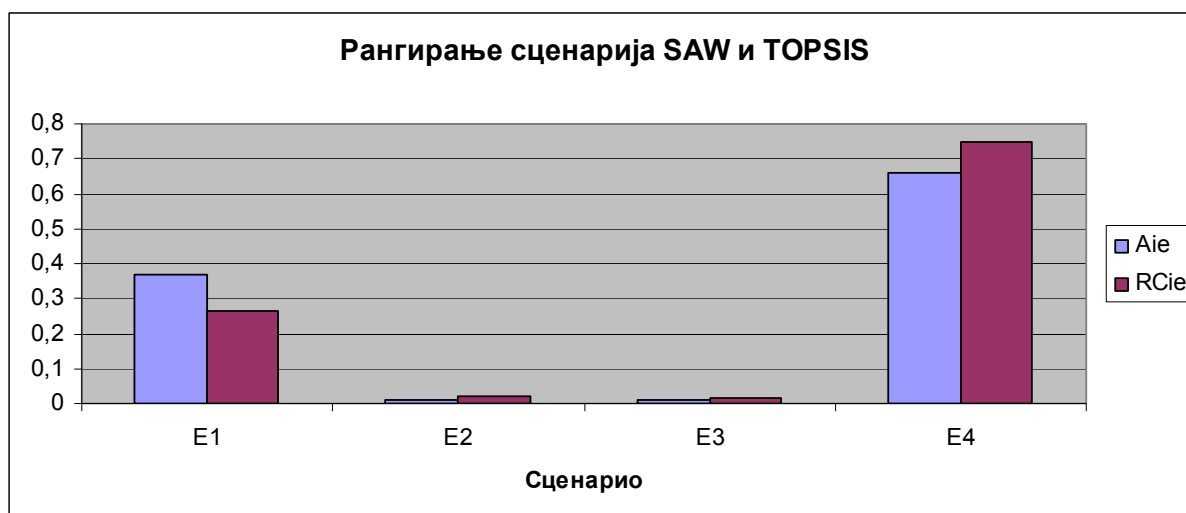
У последњем, шестом кораку овог типа вишекритеријумске анализе, на основу добијених вредности фактора релативне блискости алтернативе идеалном решењу  $RC_{ie}$  ( $i=1,4$ ), врши се рангирање предложених сценарија. У табели 7.44 представљене су вредности овог фактора, док је на слици 7.46, дат одговарајући дијаграмски приказ.

Табела 7.44 Фактор релативне блискости алтернативе идеалном решењу и ранг сценарија (TOPSIS метода)

	E1	E2	E3	E4
$RC_{ie}$	0,262418	0,020574	0,018164	0,74749
Ранг	2	3	4	1



Слика 7.46 Вредности фактора релативне блискости алтернативе идеалном решењу



**Слика 7.47** Упоредни приказ рангирања сценарија за SAW и TOPSIS методе

Упоредивањем вредности средње збирне карактеристике (SAW метода), датих у табели 7.38, и вредности фактора релативне блискости идеалном решењу (TOPSIS метода, табела 7.44), уочава се потпуна подударност у погледу редоследа квалитета алтернативних сценарија, као и доста добро слагање у величинама наведених фактора. На слици 7.47, дат је упоредни дијаграмски приказ вредности ова два фактора по предложеним опционим решењима система управљања комуналним чврстим отпадом у Крагујевцу. Поред осталог, може се приметити, да се једино код сценарија E1 региструје извесно смањење оцене по TOPSIS методи у односу на SAW анализу. Остале три предложене алтернативе имају нешто нижу оцену по SAW методи, у односу на одговарајући упоредни фактор добијен кроз примену TOPSIS методе вишекритеријумске анализе.

## 8. Закључна разматрања

Процес индустријализације, нерационално коришћење ресурса, пораст људске популације и култ потрошачког друштва, представљају основне узроке све веће продукције отпада.

Стање у сектору управљања отпадом, препознато је као један од кључних проблема заштите животне средине, док отпад, истовремено, представља велику опасност по јавно здравље. Одрживо управљање отпадом, стога, постаје један од примарних циљева, али истовремено, и најсложенијих проблема у целокупном систему заштите животне средине. Посебна пажња се, у светлу актуелних климатских промена, посвећује унапређењу технологија третмана комуналног отпада и смањењу емисија гасова стаклене баште.

Истовремено, велики економски и енергетски губици који настају услед неадекватног управљања отпадом, представљају значајан подстицај великом броју истраживача ка изналажењу одговарајућих системских решења.

За Републику Србију, као земљу у развоју, веома је важно да своју праксу управљања отпадом у што краћем временском интервалу приближи начину и обиму примене напредних и одрживих технологија. Стога, изузетно је значајно пратити и анализирати искуства развијених земаља и, између осталог и на тај начин, вршити конципирање, селекцију и избор оптималних технологија и система управљања комуналним отпадом.

У том смислу, као основни научни циљ ове дисертације, предвиђено је дефинисање ефикасне методологије и алгорита за процену и избор одрживих технологија управљања комуналним чврстим отпадом у градовима и општинама Републике Србије, са посебним акцентом на оптималне еколошко-енергетске и економске перформансе пројектованих система.

Као један од најутицајнијих улазних елемената, у оквиру формираног алгорита методологије, означено је актуелно стање у области управљања комуналним отпадом. У том смислу спроведена је детаљна анализа тренутног стања у сектору отпада у Републици Србији и на локалном нивоу. С обзиром да подаци о саставу и генерисаним количинама комуналног отпада чине важан улазни сегмент методологије, извршено је њихово прикупљање, систематизација и обрада на републичком и локалном нивоу.

Након анализе комплетног контекста одлучивања, приступило се формирању широког спектра предлога варијантних решења за системе управљања комуналним чврстим отпадом за град Крагујевац и Регион. Укупно је, у складу са структуром софтверског пакета DSS, формирано 48 различитих сценарија управљања отпадом за оба наведена система. У циљу додатних вредновања одабраних параметара технологија третмана, креирано је још 6, односно 4 сценарија, формираних према алгоритамској структури IWM2 и EASETECH софтвера, респективно. Креирање и валоризација сваког од предложених алтернативних решења вршено је у складу са важећим законско-регулативним оквирима Републике Србије и Европске Уније.

За први сет формираних сценарија, укупан обим рециклаже за комунални отпад предвиђен је на нивоу од 54,39%, а посебно за амбалажни отпад 79,35%. Истовремено,

на основу одредби Директиве о депонијама (1999/31/ЕС) као и Уредбе о одлагању отпада на депоније (Службени гласник Републике Србије 92/2010), обим депонованог биоразградивог и укупног комуналног чврстог отпада до 2020. године, потребно је свести на ниво од 35% количина из 1995. године.

Постројења за издвајање, односно, секундарну сепарацију материјала (MRF - Material Recovery Facility) требало би да поседују могућност обима третмана од 16.912 тона и 50.271 тоне за град Крагујевац и за Регион, респективно. Истовремено, потребно је инсталирати капацитете од 11.995 тона за град и 35.657 тона за Регион у сврху третмана отпада биолошког порекла одвојеног на извору (органиски и баштенски). На крају, за третман преосталог мешаног отпада потребна су постројења укупних могућности прераде 25.614, односно, 76.139 тона.

На основу предвиђених количина отпада, за систем управљања отпадом на територији града Крагујевца, када је у питању биолошки третман, потребна су и потенцијално исплатива постројења за компостирање и анаеробну дигестију. Количине преосталог, мешаног отпада отварају перспективу економски оправдане изградње постројења за механичко-биолошки третман. И процес биолошког сушења, са овим нивоом продукције отпада, има реалну економску перспективу. Спектар потребних опција третмана је сличан и за Регион, али се, у овом случају, због знатно веће количине отпада, отвара и могућност изградње објекта за инсинерацију преосталог мешовитог отпада. Опција спаљивања отпада се, у складу са актуелним количинама и саставом отпада, није показала као супериорна у односу на остале технологије третмана мешане компоненте комуналног отпада.

Избор оптималне технологије подразумевао је сагледавање утицаја великог броја фактора, као и специфичности окружења. Велики број и разноврсност критеријума за вредновање перформанси система управљања отпадом, наметнуо је потребу за применом сложених метода и алата који треба да помогну доносиоцима одлука приликом процедуре избора оптималних решења. Преглед значајног броја литературних референци довео је до избора принципа вишекритеријумског одлучивања, као стожерне методе формиране методологије. У процес одлучивања укључен је широк спектар критеријума, груписаних у неколико главних категорија: еколошки, техничко-енергетски, економски, социолошки и критеријуми из области законске регулативе.

У прелиминарној фази симулација, коришћене су препоручене вредности тежинских коефицијената критеријума, настале као резултат анализа и истраживања спроведених за суседне земље чланице Европске Уније. Током главне фазе процеса симулације, извршено је специфично варирање рејтинга и тежинских коефицијената са циљем утврђивања утицаја важности појединих врста критеријума. Варијацијом вредности рејтинга и тежинских коефицијената омогућено је упоређивање величине утицаја тих промена што ће, у крајњој инстанци, свакако дати додатне корисне информације доносиоцима коначних одлука.

Мултипараметарска анализа сваке од креираних алтернативних опција управљања отпадом, обухватила је израчунавање укупно тринаест различитих економско-еколошко-енергетских показатеља.



У прелиминарној фази симулација, најзаступљенији су били техничко-енергетски критеријуми са релативним утицајем од 27,27%. Следе економски критеријуми са укупним релативним утицајем од 23,48% и еколошки са 21,97%. Најмањи утицај на коначну оцену и рангирање алтернативних сценарија, у овој фази симулација, су имали правно регулативни (15,16%) и социолошки критеријуми (12,12%).

Са посебном пажњом су, у оквиру друге фазе симулација, реализоване и две анализе осетљивости резултата, са варијацијама састава отпада и варијацијама вредности рејтинга и тежинских коефицијената критеријума.

На основу добијених резултата спроведених симулација и поређењем одговарајућих вредности параметара, прелиминарно изабраних варијантних решења, може се закључити да, у контексту управљања комуналним отпадом на територији града Крагујевца, најповољнију алтернативу представља сценарио са ознаком 6ФГ (првобитна ознака 17Г). У оквиру овог система, за третман биолошког отпада предвиђен је процес компостирања, за третман амбалажног отпада MRF постројење, док је за третман мешаног отпада планирана изградња само једног постројења, које укључује механичко–биолошки третман са компостирањем органске компоненте отпада, као и рециклажу рециклабилних материјала. RDF и SRF компоненте се, према овом сценарију, усмеравају у постројења за добијање енергије. Овај сценарио управљања отпадом је најбоље оцењен и у оквиру спроведене анализе осетљивости резултата рангирања на промену састава отпада. На нивоу Региона, најбоље оцењени сценарио је 5ФР (првобитна ознака 11Р).

Поред тога, примећено је да рециклажни процес, у смислу утицаја на раст коначне оцене сценарија, добија на значају са повећањем удела папирног, односно амбалажног отпада. Процес биолошког сушења, као саставног дела неког сценарија, такође, позитивнији утицај показује при третману северноевропског типа отпада.

За потребе анализе утицаја промене вредности тежинских коефицијената критеријума, формирано је укупно пет варијанти са различитим вредностима ових величина. Поред вредности из прелиминарних симулација (I варијанта), у другој варијанти приоритет је дат еколошким критеријумима, у трећој појединим енергетско-техничким, а у четвртој, економским карактеристикама потенцијалног система. У последњој, петој варијанти скупа вредности коефицијената, смањени су утицаји законске регулативе.

На основу формираних варијанти скупова вредности рејтинга и тежинских коефицијената, извршена је симулација по девет најбољих, прелиминарно изабраних сценарија и за град Крагујевац и за Регион.

Ова анализа је указала на одређене промене у редоследу најбољих сценарија, приликом варијација тежинских коефицијената. Најбоље оцењени систем управљања комуналним отпадом за град Крагујевац, у свакој од четири додатне варијанте, је сценарио са ознаком 1ФГ. У случају регионалног система, као најбоље оцењен издваја се сценарио 1ФР.

Ова два сценарија се у односу на сценарије 6ФГ и 5ФР (најбоље оцењене у прелиминарној фази), разликују само по опцији третмана RDF и SRF компоненти. Доста значајно померање, на скали најбољих опција управљања, примећено је и за сценарије 2ФГ и 2ФР, такође са опцијом депоновања RDF-а и SRF-а.

Ипак, прелиминарно најбоље оцењени сценарији у првој критеријумској варијанти, 6ФГ и 5ФР, задржали су своју високу позицију (друго или прво место) и у свим другим варијантама. На основу тога се може закључити да ова два сценарија управљања отпадом (концепцијски идентична уз значајну разлику у количини третираног отпада) представљају, између свих анализираних, оптимална решења у условима избалансираности тежинских коефицијената критеријума. На овај начин достиже се и максимална могућа усклађеност интереса различитих чинилаца у целокупном процесу одлучивања.

Када су у питању гасови стаклене баште, уочено је да су значајно мање уштеде емисија присутне код два сценарија 3ФГ и 8ФГ, којима је заједничко то да је компонента отпада биолошког порекла третирана кроз АД поступак. Сличан закључак се може извести и поређењем алтернативних регионалних система. Код осталих седам сценарија који карактеришу веће уштеде емисија, као опција третмана за ту врсту отпада, предвиђен је процес компостирања. На основу очигледних разлика у вредности разматраног фактора, може се закључити да је врста третмана биолошке компоненте комуналног отпада, од пресудног значаја у погледу количине емисија гасова стаклене баште. Са друге стране, обзиром на релативно уједначене вредности овог фактора код сценарија са истом врстом третмана највећег дела органског отпада, постаје очигледно да избор опција третмана осталих врста отпада нема битнији значај.

Уколико се инсистира на значајнијој продукцији енергије у оквиру пројектованог система, било да је у питању третман издвојеног отпада биолошког порекла или третман мешаног отпада, поступак анаеробне дигестије мора бити заступљен. Са друге стране, процес компостирања је, у смислу потрошње енергије, захтевнији.

Интересантно је напоменути да процес инсинерације мешаног отпада резултира изразито највећим енергетским користима (уз релативно висок ниво потрошње енергије). Ипак, захваљујући другим негативним карактеристикама овог поступка, ниједан од сценарија за регионални систем који је у себи укључивао инсинерацију, није ушао у круг прелиминарно најбоље оцењених сценарија.

Примећено је да примена процеса анаеробне дигестије биолошког и дела мешаног отпада, као и механичко-биолошки третман преосталог дела мешаног отпада, значајно утичу на пораст трошкова реализације сценарија.

Токови материјала и масени биланси отпада израчунати су за све предложене сценарије. Шематски приказ токова материјала даје визуелни приказ комплетног тока свих фракција отпада у оквиру одређеног сценарија.

Са циљем што квалитетније процене утицаја разматраних технологија третмана комуналног отпада на животну средину, извршене су додатне анализе кроз употребу софтверских алата, чија је алгоритамска структура развијена на бази методе Оцењивања животног циклуса (LCA). У ту сврху формиран је и одређени број нових сценарија са истоветним системским улазним подацима. Рангирање обе групе алтернативних решења је спроведено кроз примену две методе ВКО (SAW и TOPSIS), уз поређење одговарајућих резултата.

Упоредивањем вредности емисија појединих гасова, уочава се значајна подударност расподеле емисија метана по сценаријима и вредности GWP-а. Сценарио 1КГ (актуелно управљање отпадом) има највишу вредност потенцијала глобалног загревања. Код тог

сценарија, допринос депонијског фактора је апсолутно доминантан, у поређењу са делом који се односи на сакупљање и транспорт отпада. Иако је у сценаријима 2КГ, 3КГ и 4КГ још увек присутан релативно велики удео отпада, који се одлаже на депонију, систем за сакупљање депонијских гасова и процедурних вода има изузетно позитиван утицај на смањење емисија штетних гасова. Захваљујући инсталацији и функционисању таквог сакупљачког система, код ових варијантних решења се евидентира уочљиво смањење потенцијала глобалног загревања. Код сценарија 5КГ и 6КГ, долази до постепеног повећања овог фактора, јер се приликом процеса инсинерације емитује значајна количина угљен-диоксида. Ипак, 25 пута мањи потенцијал глобалног загревања угљен-диоксида, у односу на метан, утиче да GWP за ова два сценарија нема превисоке вредности, без обзира на релативно велике емисије CO<sub>2</sub>. Процес рециклаже (у свим сценаријима, осим 1КГ) има позитиван еколошки допринос у смислу значајног смањења GWP. Слично, као и у вези емисија поменутих гасова, процес сакупљања и транспорта има одговарајући штетан утицај који, ипак, нема доминантни карактер. Процеси сепарације и биолошког третмана, и у овом случају, дају занемарљив допринос укупној вредности разматраног фактора.

Процеси сакупљања и транспорта имају највећи удео у погледу потрошње горива потребног за функционисање сваког од предложених система. Сепарација и биолошки третман отпада, у сценаријима где су предвиђени, такође доводе до одређене потрошње горива. Депонијски третман отпада кроз процес сакупљања депонијског гаса даје позитивне ефекте, у складу са примењеном технологијом и количинама сакупљеног гаса. Дакле, када је у питању депонијски третман, највеће енергетске уштеде бележе се за сценарије 2КГ и 3КГ у којима је количина депонованог отпада још релативно велика. Треба нагласити да је, у случају оба поменута сценарија, предвиђена примена напредне технологије сакупљања и енергетског искоришћења депонијског гаса.

Запремина преосталог чврстог отпада, који завршава на депонији, зависи од примењених технологија третмана и очекивано је највећа код сценарија 1КГ. Та количина се смањује редом по сценаријима, управо са повећањем количине отпада која се третира на неки други начин. Термички третман отпада, и у још већој мери рециклажа материјала, доприносе значајном смањењу количина преосталог отпада.

ВКО методе (SAW и TOPSIS) су истакле сценарио 4КГ као најбоље оцењен из ове групе алтернативних решења система управљања отпадом за град Крагујевац. Одлично слагање резултата, указује на недвосмисленост оваквог закључка. Ова тврдња је код SAW методе додатно потврђена кроз анализу осетљивости резултата на варијације тежинских коефицијената.

Последња група формираних сценарија (1E-4E) је вреднована и рангирана кроз употребу софтверског пакета EASETECH и примену ВКО метода (SAW и TOPSIS).

Уочено је да је сценарио 4E једини систем код кога су регистроване уштеде емисија гасова стаклене баште (негативне вредности GWP-а). Објашњење за ову чињеницу се може наћи у производњи и енергетском искоришћењу биогаза. Ова опција управљања отпадом подразумева анаеробну дигестију органске компоненте и показује боље вредности са смањењем удела органског – прехранбеног отпада. Највећи ниво избегавања штетних емисија региструје се при симулацији овог сценарија за, тзв., „северноевропски“ састав отпада. Овај састав карактерише мањи удео органске,

првенствено прехранбене компоненте отпада, која у себи носи највећи потенцијал емисије гасова стаклене баште.

И код већине осталих анализираних индикатора је примећен значајан утицај састава комуналног отпада, односно нивоа учешћа првенствено органске фракције (посебно код сценарија 4Е).

Поступак ВКО примењен на ову групу алтернативних решења, издвојио је сценарио 4Е, као изразито најбољи у погледу анализираних категорија утицаја.

Упоредивањем вредности средње збирне карактеристике (SAW метода) и вредности фактора релативне блискости идеалном решењу (TOPSIS метода), уочава се потпуна подударност у погледу редоследа квалитета алтернативних сценарија, као и доста добро слагање у величинама наведених фактора.

На крају, потребно је још једном истаћи да формирана методологија избора оптималних система управљања комуналним чврстим отпадом поседује велику флексибилност у погледу могућности њене примене на било коју локалну самоуправу на територији Републике Србије.

Свакако да у оквиру закључних разматрања треба поменути и неке од могућности даљих истраживања и активности у овој области:

- Анализа утицаја сезонских варијација у саставу отпада на перформансе система,
- Анализа утицаја промене тржишних услова (цене секундарних сировина, компоста, енергената, земљишта, инсталирања постројења),
- Примену најновијих технологија третмана и њихово рангирање у погледу одабраних параметара,
- Интегрисање нових метода у структуру методологије,
- Примена нових, евентуално универзалних софтверских алата,
- Стално ажурирање савремених решења и праксе управљања отпадом,
- Унапређење процедуре избора тежинских коефицијената критеријума уз примену метода вештачке интелигенције.

## 9. Литература

A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste, Communication From The Commission To The Council, The European Parliament, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, {Sec(2005), 1681}, {Sec(2005) 1682}, Commission Of The European Communities, Brussels, 21.12.2005

Abeliotis, K., 2011, Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management, Integrated Waste Management – Volume I

Abeliotis, K., Kalogeropoulos, A., Lasaridi, K., 2012, Life Cycle Assessment of the MBT plant in Ano Liossia, Athens, Greece, Waste Mangement 32 (2012) 213-219

Alevridou, A., Venetis, C., Malini, D., Epoglou, O., Papotis, T., Skopa, T., Evangelia, P., Mirtat, (2010), BALKWASTE - Guidelines for development of alternative waste management, Technical University of Crete

Alevridou, A., Venetis, C., Malini, D., Epoglou, O., Papotis, T., Skopa, T., BALKWASTE - Report on the Criteria for the Assessment of Alternative Technologies version 2, Technical University of Crete

Anderson, L., 1968, A mathematical model for the optimization of a waste management system, SERL Report, Sanitary Engineering Research Laboratory, University of California at Berkeley, California, USA

Appels, L., Lauwers, J., Degreve, J., Helsen, L., Lievens, B., Willems, K., Impe, J. V., Dewil, R., (2011), Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, (2011) 4295 – 4301

Aravossis, K., Anagnostopoulos, P., Koungolos, A., Vliamos, S., 2001, A new methodology approach for the technical–economical evaluation of alternative waste disposal methods by use of multi criteria analysis. In: Proceedings of the Seventh International Conference on Environmental Science and Technology, 40–51

Ashton, W., M. Chertow, and M. Shenoy (2009). Industrial Ecology – Developing Systemic Solutions to Climate Change and other Environmental Challenges in Indian Industry, Sustainability Tomorrow, October-December 2009.

Astrup, T., J. Mollee, and T. Fruergaard (2009). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management & Research: 2009: 27: 789-799

Azapagic, A., Clift, R., 1999, Lyfe cycle assessment and multiobjective optimization, Journal of Cleaner Production 7 (2) (1999) 135-143

- Azapagic, A., Clift, R., 1998, Linear programming as a tool in life cycle assessment, *The international Journal of Life Cycle Assessment* 3 (6) (1998) 305-316
- Bana e Costa, C. A., Pirlot, M., 1997, Thoughts on the future of multicriteria field: Basic convictions and outline for general methodology, *Multicriteria Analysis*, 562-568. Springer Verlag, Berlin, 1997
- Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A., 2009, Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey, *Waste Management* 29, (2009) 54-62
- Begum, R.A., Siwar, C., Pereira, J.J., Jaafar, A.H., 2006, A benefit–cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: the case of Malaysia, *Resources, Conservation and Recycling* 48 (1), 86–98
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R. B., Albadvi, A., Aghdasi, M. (2010), PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200, 198 – 215
- Beigl, P., Lebersorger, S., Salhofer, S., 2008, Modeling municipal solid waste generation: A review, *Waste Management* 28 (2008) 200-214
- Beigl, P., Salhofer, S., 2004, Comparison of ecological effects and costs of communal waste management systems, *Resources, Conservation and Recycling* 41 (2004) 83-102
- Bel, G., Warner, M., 2008, Does privatization of solid waste and water services reduce costs? A review of empirical studies. *Resources, Conservation and Recycling* 52 (12), 1337–1348
- Belevi, H., Baccini, P., 1989, Long term behaviour of municipal solid waste landfill. *Waste Management and Research* 7 (1989), 43–56
- Benedetti, L., Bixio, D., Claeys, F., Vanrolleghem, P.A., 2008, Tools to support a model-based methodology for emission/immission and benefit/cost/risk analysis of wastewater systems that considers uncertainty. *Environmental Modeling and Software*, 23, 1082–1091
- Benoit, V., Rousseaux, P., (2003), Aid for Aggregating the Impacts in Life Cycle Assessment, *The International Journal of Life Cycle Assessment* 8(2), 74-82
- Bernardini, A., Turcksin, L., Macharis, C. (2007), CLEVER Clean Vehicle Research Report MultiCriteria analysis: method, analysis and results
- Bernstad, A., Jansen, J. I. C., 2011, A life cycle approach to the management of household food waste – A Swedish full-scale case study, *Waste Management* 31 (2011), 1879-1896

- Björklund, A., Finnveden, G., Roth, L., 2010., Application of LCA to waste management. In: Christensen, T.H. (Ed.), *Solid Waste Technology and Management*. Copenhagen, Denmark (2010)
- Bogner, J., M. Abdelrafie Ahmed, C. Diaz, A. Faaij, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti, T. Zhang, *Waste Management*, In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Boldrin, A., J.K. Andersen, J. Moller, E. Favoino, and T.H. Christensen (2009), Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming potentials, *Waste Management & Research* 27 (2009), 800-812
- Boldrin, A., Neidel, T. L., Damgaard, A., Bhandar, G. S., Møller, J., Christensen, T. H., 2011, Modelling of environmental impacts from biological treatment of organic municipal waste in EASEWASTE, *Waste Management* 31 (2011), 619-630
- Boskovic G., Jovicic N., Milasinovic M., Jovicic G., Milovanovic D., (2013), Methodology for reduction of GHG emissions from municipal solid waste collection and transport, *International Journal for Quality Research*, Vol. 7, No. 4, 641-652
- Bovea, M. D., Ibanez-Fores, V., Gallardo, A., Colomer-Mendoza, F. J., 2010, Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study, *Waste Management* 30 (2010), 2383-2395
- Brans, J.P., (1982), *L'ingenierie de la decision. Elaboration d'instruments d'aide a la decision. Methode PROMETHEE, L'aide a la Decision: Nature, Instruments et Perspectives d'avenir*, Presses de Universite Laval, Quebec, Canada, 183–214
- Brans, J.P., Mareschal, B., (1992), PROMETHEE V – MCDM problems with segmentation constraints. *INFOR*, 30(2), 85–96
- Brans, J.P., Mareschal, B., (1994), The PROMETHEE GAIA decision support system for multicriteria investigations, *Investigation Operative*, 4(2), 107–117
- Brans, J.P., Mareschal, B., (1995), The PROMETHEE VI procedure. How to differentiate hard from soft multicriteria problems. *Journal of Decision Systems*, 4, 213–223
- Brans, J.P., Vincke, P., Mareschal, B., (1986), How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research*, Vol 24 (2), 228-238
- Burnley, S.J., 2007, A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom. *Waste Management* 27 (2007), 1274–1285

- Calabrò, P. S., 2009, Greenhouse gases emission from municipal waste management: The role of separate collection, *Waste Management* 29 (2009), 2178-2187
- Carter, T., Keeler, A., 2008, Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems, *Journal of Environmental Management* 87, 350–363
- CEC, 1977. Second EC Environment Action Programme. Commission of the European Communities, Brussels
- Chai, J., Liu, J., Ngai, E., (2013), Application of decisionmaking techniques in supplier selection: A systematic review of literature, *Expert Systems with Applications*, 40(10), 3872–3885
- Chandrappa, R., Bhusan, D. D., 2012, *Solid Waste Management – Principles and Practice*, Springer, (2012)
- Chang, N. B., Qi, C., Islam, K., Hossain, F., 2012, Comparisons between global warming potential and costbenefit criteria for optimal planning of a municipal solid waste management system, *Journal of Cleaner Production* 20 (2012), 1-13
- Chang, N. B., Wang, S. F., 1996, Solid waste management system analysis by multi-objective mixed integer programming model, *Journal of Environmental Management* 48 (1996), 17-43
- Chang, N.B., Lin, Y.T., 1997, Economic evaluation of a regionalization program of solid waste management in a metropolitan region, *Journal of Environmental Management*, 51 (3), 241–274
- Chen D & T.H. Christensen (2010). Life-cycle assessment (EASEWASTE) of two municipal solid waste incineration technologies in China. *Waste Management & Research*, 28(6), (2010), 508-519
- Chen, S.J., and C.L. Hwang (1991), *Fuzzy multiple attribute decision making methods and applications*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 375, Springer-Verlag, Berlin
- Cherubini, F., Bargigli, S., Ulgiati, S., (2008), Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy, *Waste Management* 28, (2008) 2552-2564
- Chevalier, J., Rousseaux, P., (1999), Clasification in LCA: Building of a Coherent Family of Criteria. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 4(6), 352-356
- Chintan (2009). *Cooling Agents: An Analysis of Climate Change Mitigation by the Informal Recycling Sector in India*. Report prepared in association with The Advocacy Project, Washington DC.



Christensen T.H., 2011, Solid Waste Tehnology and Management, Wiley Publication, United Kingdom, 2011.

Christensen, T. H., Manfredi, S., 2009, Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling, Waste Mangement 29 (2009), 32-43

Christensen, T. H., Simion, F., Tonini, D., Møller, J., 2009, Global warming factors modelled for 40 generic municipal waste management scenarios, Waste Management & Research 27 (2009), 871-884

Cleary, J., 2009, Life cycle assessments of municipal solid waste management systems: A comparative analysis of selected peer-reviewed literature, Environmental International 35 (2009), 1256-1266

Clift, R., Doig, A., Finnveden, G., (2000), The application of life cycle assessment to integrated solid waste management. Trans IChemE 78 (B), 279–287

Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A.A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J., Vigon, B.,1993, Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practise SETAC-Europe, Brussels, Belgium.

Consonni, S., Giugliano, M., Grosso, M., 2005, Alternative strategies for energy recovery from municipal solid waste. Part B: emission and cost estimates, Waste Management,25 (2), 137–148

Damgard, A., Manfredi, S., Merrild, H., Stensøe, S., Christensen, T. H., 2011, LCA and economic evaluation of landfill leachate and gas technologies, Waste Management 31 (2011), 1532-1541

Davoli,E., Fattore, E., Paiano, V., Colombo A., Palmiotto, M., Rossi, A.N., Grande, M. Il., Fanelli, R. Waste management health risk assessment: A case study of a solid waste landfill in South Italy, Waste Management 30 (2010), 1608–1613

Decision Support Software Tool – Indicative examples from the application of the DSS, 2012

Dehoust et al (Oko-Institut e.V.) and Vogt and Giegrich (ifeu-Heidelberg GmbH), 2005. StatusReport on the Waste Sector’s Contribution to Climate Protection and Possible Potentials.Commissioned by the German Federal Environmental Agency, August 2005.

Diakoulaki, D., Grafakos, S., (2004), Multicriteria Analysis, Externalities of Energy:Extension of Accounting Framework and Policy Applications, National Technical University Athens, Greece

Dong, J, Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., Ni, M., (2014), Energy-environment-economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: model development and case study, *Applied Energy* 114, 400 – 408

Dostupan na internet adresi: <http://lct.jrc.ec.europa.eu/eplca/deliverables/international-reference-life-cycledata-system-ilcd-handbook> [05/2010].

Duinker, P.N., Greig, L.A., 2007, Scenario analysis in environmental impact assessment: Improving explorations of the future, *Environmental Impact Assessment Review* 27, 206–219

Economopoulos, A. P., 2010, Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods, *Waste Management* 30 (2010), 707-715

Eghali, L., (2002), Decision Support Tools for Environmental Policy Decisions and their Relevance to Life Cycle Assessment. CES Working paper 2/02

Ehrgott, M., Figueira, J.R., Greco, S. (Eds.), *Trends in Multicriteria Decision Analysis*, Springer, 2010

El-Hamouz, A.M., 2008, Logistical management and private sector involvement in reducing the cost of municipal solid waste collection service in the Tubas area of the West Bank, *Waste Management* 28 (2), 260–271

EPA, 2008, United States Environmental Protection Agency, Municipal Solid Waste. Basic Information. US Environmental Protection Agency. <<http://www.epa.gov/msw/facts.htm>> (05.02.2011).

EPIC and CSR, 2000, *Integrated Solid Waste Management Tools: Measuring the Environmental Performance of Waste Management Systems*, Environment and Plastics Industry Council and Corporations supporting recycling

EPLCA, 2008, European Platform on Life Cycle Assessment, List of tools, Internet Site Developed by the European Commission. Direction Generale, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Available from: <<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>> (accessed February 2008).

Eriksson, O., 2003, *Environmental and Economic Assessment of Swedish Municipal Solid Waste Management*, PhD Thesis. Industrial Ecology, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

ERRA, 1999, The Case for Integrated Waste Management, a briefing paper, European Recovery and Recycling Association

Eshet, T., Baron, M.G., Shechter, M., Ayalon, O., 2007, Measuring externalities of waste transfer stations in Israel using hedonic pricing. *Waste Management* 27 (5), 614–625

Eunomia Research & Consulting (2002), Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste – Final Report to the European Commission

Eunomia Research & Consulting, (2008), Greenhouse Gas Balances of Waste Management Scenarios – Report for the Greater London Authority

European Commission, (1994), Packaging and packaging waste Directive (94/62/EC)

European Commission, (1999), Landfill Directive (1999/31/EC)

European Commission, (2008), Waste Framework Directive (2008/98/EC)

European Commission, 2005, Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste

European Commission, 2008, Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects, 2008

European Commission, 2009, International Reference Life Cycle Data System - Background Document: Analysis of existing Environmental Impact Assessment

European Platform on Life Cycle Assessment, European Commission, 2009

EUROSTAT 2011 – Waste Statistic,

Figueira, J., de Smet, Y., Brans, J.P., (2004), MCDA methods for sorting and clustering problems: Promethee TRI and Promethee CLUSTER, Université Libre de Bruxelles. Service de Mathématiques de la Gestion, Technical Report TR/SMG/2004-002.

Finnveden, G., Björklund, A., Moberg, L., Ekvall, T., 2007, Environmental and economic assessment methods for waste management decision-support: possibilities and limitations. *Waste Management Research* 25 (3), 263–269

Fishburn, P.C., (1967), Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments, ORSA Publication, Baltimore, MD.

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Fruergaard, T., Astrup, T., Ekvall, T., 2009, Energy use and recovery in waste management and implications for accounting of greenhouse gases and global warming contributions, *Waste Management & Research* 00, (2009) 1-14

Fruergaard, T., Hyks, J., Astrup, T., 2010, Life-cycle assessment of selected management options for air pollution control residues from waste incineration, *Science of the Total Environment* 408 (2010), 4672-4680

Gabola, S., 1999. Towards a sustainable basis for the EU Packaging and Packaging Waste Directive. In: *ERRA Symposium November, Brussels*.

Garcia, R., 1999, Effective cost-reduction strategies in the management of regulated medical waste, *American Journal of Infection Control*, 27 (2), 165–175

Garfi, M., Tondelli, S., Bonoli, A., 2009, Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps, *Waste Management* 29, 2729–2739

Geldermann, J., Rentz, O., (2005), Multicriteria Analysis for Technique Assessment: Case Study from Industrial Coating, *Journal of Industrial Ecology* 9(3), 127-142

Gentil, E. C., Damgaard, A., Hauschild, M., Finnveden, G., Eriksson, O., Thorneloe, S., Kaplan, P. O., Barlaz, M., Muller, O., Matsui, Y., Li, R., Christensen, T. H., 2010, Models for waste life cycle assessment: Review of technical assumptions, *Waste Management* 30 (2010), 2636-2648

Giusti, L., 2009, A review of waste management practices and their impact on human health, *Waste Management* 29 (2009), 2227–2239

Goddard, H.C., 1995, The benefits and costs of alternative solid waste management policies. *Resources, Conservation and Recycling* 13, 183–213

Guinée, J.B. (Ed.), 2001, *Life Cycle Assessment - An operational guide to the ISO standards, Part 2a*, Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) and Centre of Environmental Science – Leiden University (CML)

Guitouni, A., Martel, J. M., (1998), Tentative guidelines to help choosing an appropriate MCDM method, *European Journal of Operational Research* 109, 501-521

Gunnerson, C.G., Jones, D.C., 1984, Costing and cost recovery for waste disposal and Recycling, *Waste Management Research* 2 (2), 107–118

Habib, K., Schmidt, J. H., Christensen, P., 2013, A historical perspective of Global Warming Potential from Municipal Solid Waste Management, *Waste Management* 33 (2013), 1926 – 1933

Haddix, G.F., 1975, Regional solid waste planning models, two cases, *Comput. & Urban Soc.* 1 (2–4), 179–193

Hangzhou Tianziling No.1 MSW Sanitary Landfill Site, located in Tianziling, Hangzhou City of China

Harger, J. R. E., Meyer, F. M., 1996, Definition of indicators for environmentally sustainable development, *Chemosphere* 33 (1996), 1749-1775

Harris, S. (2007), The Potential Role of Industrial Symbiosis in Combating Global Warming, *Proceedings of the International Conference on Climate Change*, 29-31 May 2007, Hong Kong.

Harrison, K.W., Dumas, R.D., Solano, E., Barlaz, M.A., Brill, E.D., Ranjithan, S.R., 2001. Decision support for life cycle based solid waste management. *Journal of Computing in Civil Engineering* January, 44–58

Hertwich, E. G., Hammitt, J. K., (2001), A Decision Analytic Framework for Impact Assessment, Part 1: LCA and Decision Analysis, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(1), 5-12,

Hogg, D.H., Baddeley, A., Gibbs, A., North, J., Curry, R., Maguire, C., 2008. Greenhouse gas balances of waste management scenarios. *Eunomia Research and Consulting*. Bristol, United Kingdom

Hong, J., Li, X., Zhaojie, C., 2010, Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China, *Waste Management* 30 (2010), 2362-2369

Hsu, P.F., Wu, C.R., Li, Y.T., 2008, Selection of infectious medical waste disposal firms by using the analytic hierarchy process and sensitivity analysis, *Waste Management* 28, 1386–1394

Huang, I. B., Keisler, J., Linkov, I., (2011), Multicriteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends, *Science of the Total Environment*, 409(19), 2011, 3578–3594

Hung, M.L., Ma, H.W., Yang, W.F., 2007, A novel sustainable decision making model for municipal solid waste management, *Waste Management* 27, 209–219

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change – Fourth Assessment Report, 2007

ISWA - International Solid Waste Association (2009). Waste and Climate Change – ISWA White Paper

ISWA, (2012), International Solid Waste Association, Globalization and waste management – Florence ISWA Congress, July 2012

ISWA, (2014), International Solid Waste Association, Tech comparison: Fleet Management, Waste management world, Vol. 15, 42-46

Kaplan, P.O. (2006), A New Multiple Criteria Decision Making Methodology for Environmental Decision Support, PhD Dissertation, Faculty of North Carolina State University, USA.

Karagiannidis, A., Papageorgiou, A., Perkoulidis, G., Sanida, G., Samaras, P., 2010, A multi-criteria assessment of scenarios on thermal processing of infectious hospital wastes: a case study for Central Macedonia, Waste Management 30, 251–262

Karmperis, A. C., Aravossis, K., Tatsiopoulos, I.P., Sotirchos, A., 2013, Decision support models for solid waste management: Review and game-theoretic approaches, Waste Management 33 (2013) 1290 – 1301

Karmperis, A.C., Sotirchos, A., Aravossis, K., Tatsiopoulos, I.P., 2012, Waste management project's alternatives: a risk-based multi-criteria assessment (RBMCA) approach, Waste Management. 32, 194–212

Kelleher, M. (2007), Anaerobic digestion outlook for MSW streams, BioCycle, August 2007, Vol 48, No. 8, 51 -55

Khan, S., Faisal, M.N., 2008. An analytic network process model for municipal solid waste disposal options. Waste Management 28, 1500–1508

Khoo, H. H., 2009, Life cycle impact assessment of various waste conversion technologies, Waste Management 29 (2009), 1892-1900

Kirkeby, J. T., Birgisdottir, H., Bhandar, G. S., Hauschild, M., Christensen, T. H., 2007, Modelling of environmental impacts of solid waste landfilling within the life-cycle analysis program EASEWASTE, Waste Management 27 (2007), 961-970

Kirkeby, J. T., Birgisdottir, H., Hansen, T. L., Christensen, T. H., Bhandar, G. S., Hauschild, M., (2006), Environmental assessment of solid waste systems and technologies: EASEWASTE, Waste Management & Research 24, 3-15

Kou, G., Miettinen, K., Shi, Y., 2011, Multiple criteria decision making: challenges and advancements, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 18, 1–4

- Koroneos, C., Nanaki, E., (2012), Integrated solid waste management and energy production - a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki, *Journal of Cleaner Production* 27, (2012) 141-150
- Kuhner, J., Hairington, J. J., 1975, Mathematical models for developing regional solid waste management policies, *Engineering Optimization* 1 (4) (1975), 237-256
- Kyoto Protocol, UNFCCC website, [unfccc.int/kyoto-protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto-protocol/items/2830.php)
- Lacoste, E., Chalmin, P. (2006). *From Waste to Resource –2006 World Waste Survey*, Economica Editions
- Ladefoged, D., 2011, Personal communication with Dorte Ladefoged, Civil Engineer at Aalborg Municipality on May 5, 2011
- Lai, V. S., Wong, B. K., Cheung, W., (2002), Group decision making in a multiple attribute environment: A case using the AHP in software selection, *European Journal of Operational Research* 142, 102-133
- Larsen, A. W., Merrild, H., Møller, J., Christensen, T. H., 2010, Waste collection systems for recyclables: An environmental and economic assessment for the municipality of Aarhus (Denmark), *Waste Management* 30 (2010), 744-754
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., Hauschild, M. Z., Christensen, T. H., 2014, Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: Lessons learned and perspectives, *Waste Management* 34 (2014), 573-588
- Laurent, A., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T. H., Hauschild, M. Z., 2014, Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II: Methodological guidance for a better practice, , *Waste Management* 34 (2014), 589-606
- Lavee, D., 2010, A cost–benefit analysis of a deposit–refund program for beverage containers in Israel, *Waste Management* 30 (2), 338–345
- Lee, B.-K., Ellenbecker, M.J., Moure-Ersaso, R., 2004, Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes. *Waste Management* 24 (2), 143–151
- Lee, J., Kang, S., Kim, C.K., 2009, Software architecture evaluation methods based on cost benefit analysis and quantitative decision making, *Empirical Software Eng.* 14, 453–475
- Li, Y.P., Huang, G.H., Sun, W., 2011, Management of uncertain information for environmental systems using a multistage fuzzy-stochastic programming model with soft constraints, *Journal of Environmental Informatics* 18, 28–37

- Lin, C.-h., Wen, L., Tsai, Y.m., 2010, Applying decision-making tools to national ewaste recycling policy: an example of analytic hierarchy process, *Waste Management* 30, 863–869
- Linkov, I., Loney, D., Cormier, S., Satterstrom, F.K., Bridges, T., 2009. Weight-of-evidence evaluation in environmental assessment: review of qualitative and quantitative approaches, *Sci. Total Environ*, 407, 5199–5205
- Linkov, I., Satterstrom, F.K., Kiker, G., Batchelor, C., Bridges, T., Ferguson, E., 2006, From comparative risk assessment to multi-criteria decision analysis and adaptive management: recent developments and applications, *Environ Int.* 32, 1072–1093
- Linkov, I., Seager, T.P., 2011, Coupling multi-criteria decision analysis, life-cycle assessment, and risk assessment for emerging threats, *Environmental Science and Technology* 45, 5068–5074
- Lombardi, L., Carnevale, E., Corti, A., 2006, Greenhouse effect reduction and energy recovery from waste landfill, *Energy* 31 (2006), 3208–3219
- Lou, X.F., Nair, J., The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review, *Bioresource Technology* 100 (2009), 3792–3798
- Louis, G.E., 2004, A historical context of municipal solid waste management in the United States, *Waste Management & Research* 22 (4), 306–322
- Macharis, C., Brans, J.P., Mareschal, B., (1998), The GDSS PROMETHEE procedure – a PROMETHEE–GAIA based procedure for group decision support. *Journal of Decision Systems*, 23(7), 283–307
- Manfredi, S., Niskanen, A., Christensen, T. H., 2009, Environmental assessment of gas management options at the Old Ämmässuo landfill (Finland) by means of LCA-modeling (EASEWASTE), *Waste Management* 29 (2009), 1588- 1594
- Manfredi, S., Tonini, D., Christensen, T. H., 2010, Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste, *Waste Management* 30 (2010), 433-440
- Marshall, R. E., Farahbahsh, K., 2013, Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries, *Waste management* 33 (2013), 988-1003
- Marttunen, M., (2011) Description of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), Finnish Environment Institute
- McDougall, F. R., White P. R., Franke, M., Hindle, P., Integrated solid waste management: a life cycle inventory, 2009



- McDougall, F., White, P.R., Franke, M., Hindle, P., 2001, *Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*, second ed. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Medina, M., (2008), *The informal recycling sector in developing countries – Organising wastepickers to enhance their impact*, Public-Private Infrastructure Advisory Facility, Gridlines, Note No. 44 – Oct 2008
- Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R., Meyer L.A., 2007, *The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2007 Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Miranda, M.L., Hale, B., 1997, *Waste not, want not: the private and social costs of waste-to-energy production*, *Energy Policy* 25 (6), 587–600
- Møller et al (2009). *Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution*, *Waste Management & Research*: 2009: 27: 813-824
- Monni, S., R. Pipatti, A. Lehtilä, I. Savolainen, and S. Syri, 2006, *Global climate change mitigation scenarios for solid waste management*, Espoo, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications, No. 603, (2006), 51
- Morrissey, A.J., Browne, J., 2004, *Waste management models and their applications to sustainable waste management*, *Waste Management* 24, (2004), 297–308
- Murphy, J. D., McKeogh, E., 2004, *Technical, economic and environment analysis of energy production from municipal solid waste*, *Renewable Energy* 29, (2004) 1043-1057
- Murphy, J. D., McKeogh, E., 2006, *The benefits of integrated treatment of wastes for the production of energy*, *Energy* 31, (2006) 294-310
- Mourits, M.S.M., Oude Lansink, A.G.J.M., 2006. *Multi-criteria decision making to evaluate quarantine disease control strategies*. In: Oude Lansink, A.G.J.M. (Ed.), *New Approaches to the Economics of Plant Health*, Springer, 131–144
- Moutavtchi, V., Stenis, J., Hogland, W., Shepeleva, A., Andersson, H., 2008. *Application of the WAMED model to landfilling*. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 10 (1), 62–70
- Noto, F., 2010, *Overcoming NIMBY Opposition*. <<http://www.gcastrategies.com/booksandarticles/383/overcoming-nimby-opposition/>> (retrieved 28.11.12).
- Ohman, K.V.H., Hettiarachi, J.P.A., Ruwanpura, J., Balakrishnan, J., Achari, G., 2007, *Development of a landfill model to prioritise design and operating objectives*. *Journal of Environmental Monitoring Assessment* 135, 85–97
- Panagiotidou, N., Stavrakakis, G., Maria, E., (2010), *Decision Support Software*, Technical University of Crete

- Petit, J., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V., Legrand, M., Lipenkov, V., Lorius, C., Pepin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M., 1999, Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, (1999), 429– 436
- Pickin, J., 2008, Representations of environmental concerns in cost–benefit analyses of solid waste recycling, *Resources, Conservation and Recycling* 53 (1–2), 79–85
- Pimenteira C.A.P., A.S. Pereira, L.B. Oliveira, L.P. Rosa, M.M. Reis, and R.M. Henriques (2004), Energy conservation and CO2 emission reductions due to recycling in Brazil, *WasteManagement* 24 (2004), 889-897
- Pires, A., Martinho, G., Chang, N. B., 2011, Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques, *Journal of Environmental Management* 92 (2011), 1033-1050
- Polatidis, H., Haralambopoulos, D. A., Munda, G., Vreeker, R., (2006), Selecting an appropriate multicriteria decision analysis technique for renewable energy planning, *Energy Sources, Part B*, 1, 181 – 193
- Rimaityté, I., Denafas, G., Jager, J., 2007, Report: environmental assessment of Darmstadt (Germany) municipal waste incineration plant. *Waste Management Research* 25, (2007), 177–182
- Rodhe, H., 1990, A Comparison of the Contributions of Various Gases to the Greenhouse Effect. *Science. New Series*, No. 4960, Vol. 248 (1990), 1217-1219
- Rogers, M., Bruen, M., (1998), A new system for weighting environmental criteria for use within ELECTRE III, *European Journal of Operational Research*, vol 107, 552 – 563
- Rogers, M., Bruen, M., (1998), Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE, *European Journal of Operational Research* 107 ( 1998) 542-551
- Royal Melbourne Institute of Technology (RMIT), (2009), Extended Environmental benefits of Recycling Project
- Rowley, H. V., Peters, G. M., (2009), Multicriteria Methods for the Aggregation of Life Cycle Impacts, 6th Australian Conference on LCA, ALCAS Australian Life Cycle Assessment Society, 16th February 2009, Melbourne.
- Rubio-Romero, J. C., Arjona-Jiménez, R., López-Arquillos, A., 2013, Profitability analysis of biogas recovery in municipal solid waste landfills, *Journal of Cleaner Production* (2013)

Sasa Jovanovic, Goran Boskovic, Nebojsa Jovicic, Zorica Djordjevic, Slobodan Savic, MULTICRITERIA ANALYSIS OF OPTIMAL SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM-CASE STUDY OF KRAGUJEVAC (SERBIA), 8th International Quality Conference, Kragujevac, 2014, 23rd May, 461-468

Schneider, D. R., Kirac, M., Hublin, A., 2012, Cost-effectiveness of GHG emission reduction measures and energy recovery from municipal waste in Croatia, *Energy* 48 (2012), 203-211

Schübeler, P., 1996, Conceptual framework for municipal solid waste management in low-income countries. In: Wehrle, K., Christen, J. (Eds.), St. Gallen Switzerland: UNDP/UNCHS/World Bank/SDC Collaborative Programme on Municipal Solid Waste Management in Low-Income Countries.

Sener, S., Sener, E., Nas, B., Karagüzel, R., 2010, Combining AHP with GIS for landfill site selection: a case study in the Lake Beysehir catchment area (Konya, Turkey), *Waste Management* 30, 2037–2046

Smith et al (AEA Technology) (2001), *Waste Management Options and Climate Change - Finalreport to the European Commission, DG Environment*; and Dehoust et al (Oko-Institut e.V.)

Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, 2007, *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Sommer, M., Ragossnig, A., (2011), Energy from waste in Europe: an analysis and comparison of the EU 27, *Waste Management & Research* 29, (2011) 69-77

Soukopová, J., Hřebíček, J., 2011, Model of cost and price relationships for municipal waste management of the Czech Republic, *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.*, 2011, LIX, No 7, 371-378

Stevanović, H. Č., Jovović, A., Stepanov, J., 2010, Ocena životnog ciklusa LCA (Life Cycle Assessment) kao instrument u strateškom planiranju upravljanja otpadom, Univerzitet Educons, Sremska Kamenica, (2010)

Su, J. P., Chiueh, P. T., Hung, M. L., Ma, H. W., 2007, Analyzing policy impact potential for municipal solid waste management decision-making: A case study of Taiwan, *Resources, Conservation and Recycling* 51 (2007), 418-434

Sun, W., Huang, G.H., Lv, Y., Li, G., 2012, Waste management under multiple complexities: Inexact piecewise-linearization-based fuzzy flexible programming, *Waste Management* 32, 1244–1257

Sundberg, J., Gipperth, P., Wene, C., 1994, A systems approach to municipal solid waste management: a pilot study of Goteborg, *Waste Management and Research* 12 (1) (1994), 73-91

Tammemagi, H., *The Waste Crisis – Landfills, Insinerators and the Search for Sustainable Future*, Oxford University Press, 1999

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Eliassen, R., 1977, *Solid Wastes: Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, New York; Toronto.

Tudela, A., Akiki, N., Cisternas, R., 2006, Comparing the output of cost benefit and multi-criteria analysis an application to urban transport investments. *Transportation, Research. Part A* 40, 414–423

UNEP, (2010), *Waste and Climate Change – Global Trends and Strategy Framework*

UNEP, 2009, *RIM Background Paper for Consultations, 3rd Draft – October 2009*.

UN-HABITAT, 2010, *Solid Waste Management in the World's Cities: Water and Sanitation in the World's Cities 2010*. In: Earthscan (Series Ed.).

US Environmental Protection Agency (US EPA), 2006a. *Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs, Climate Change Division

US Environmental Protection Agency (US EPA), 2006b. *Solid Waste Management and Greenhouse Gases - A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks*, 3rd Edition; September 2006.

US EPA (2009), *Opportunities to Reduce Greenhouse Gas Emissions through Materials and Land Management Practices*, September 2009.

US EPA, (2012), *Climate Change Indicators in the United States*, report

Vego, G., Dragicevic, S. K., Koprivanac, N., Application of multi-criteria decision-making on strategic municipal solid waste management in Dalmatia, Croatia, *Waste Management* 28 (2008), 2192-2201

Vujic G., Jovicic N., Redzic N., Jovicic G., Batinic B., Stanisavljevic N., Abuhress O. A., (2010), A Fast Method for the Analysis of Municipal Solid Waste in Developing Countries - Case Study of Serbia, *Environmental Engineering And Management Journal*, Vol. 9, No. 8, 1021-1029

Vujic G., Jovicic N., Redzic N., Jovicic G., Batinic B., Stanisavljevic N., Abuhress O. A., (2010), A Fast Method for the Analysis of Municipal Solid Waste in Developing Countries - Case Study of Serbia, *Environmental Engineering And Management Journal*, Vol. 9, No. 8, pp. 1021-1029

- Vujic. G., Jovicic N., Petrovic-Djurovic, M., Ubavin D., Nakomcic B., Jovicic G., Gordic D., 2010, Influence of Ambience Temperature and Operational-constructive Parameters on Landfill Gas Generation - Case Study Novi Sad, THERMAL SCIENCE, (2010), vol. 14 br. 2, 555-564
- Vujić, G., Ubavin, D., Batinić, B., Vojinović Miloradov, M., Štrbac, D., Gvozdenac, B., Stanisavljević, N., Milovanović, D., Adamović, D., Bačlić, S., Dvornić, A., 2009, Utvrđivanje sastava otpada i procene količine u cilju definisanja strategije upravljanja sekundarnim, sirovinama u sklopu održivog razvoja Republike Srbije, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Weng, Y. C., Fujiwara, T., 2011, Examining the effectiveness of municipal solid waste management systems: An integrated cost–benefit analysis perspective with a financial cost modeling in Taiwan, Waste Mangement 31 (2011), 1393-1406
- Wenzel, H., Villanueva, A., 2006, The significance of boundary conditions and assumptions in the environmental life cycle assessment of waste management strategies. In: NorLCA 2006 Proceedings, Lund, Sweden.
- White, P. R., Franke, M., Hindle, P., 1999, Integrated solid waste mangement – a life cycle inventory, Gaithersburg (USA, MD) Aspen publishers (1999)
- White, P.R., Franke, M., Hindle, P., 1995, Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory, Blackie Academic & Professional, Glasgow, (1995)
- Wilson, D. G. The history of solid waste management. In Handbook of Solid Waste Management, edited by D. G. Wilson. New York: Van Nostrand Reinhold (1977).
- Wilson, D.C., 2007, Development drivers for waste management. Waste Management & Research 25 (3), 198–207
- Winkler, J., 2004, Comparative Evaluation of Life Cycle Assessment Models for Solid Waste Management, PhD Thesis, TU Dresden, Dresden, Germany, 127
- Winkler, J., Bilitewski, B., 2007, Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management, Waste Management 27 (2007), 1021–1031
- World Bank, (2012), What a waste, A global Review of Solid Waste Management, March 2012, Washington, USA
- Worrell, W.A., Vesilind, P.A., 2012, Solid Waste Engineering, second ed. Cengage Learning, Stamford, CT.
- WRAP (2006), ENVIRONMENTAL BENEFITS OF RECYCLING - An international review of lifecycle comparisons for key materials in the UK recycling sector

Yoon, K. (1980). Systems Selection By Multiple Attribute Decision Making. Ph.D.Dissertation, Kansas State University.

Zotos, G., Karagiannidis, A., Zampetoglou, S., Malamakis, A., Antonopoulos, I.S., Kontogianni, S., Tchobanoglous, G., 2009, Developing a holistic strategy for integrated waste management within municipal planning: challenges, policies, solutions and perspectives for Hellenic municipalities in the zero-waste, lowcost direction, Waste Management 29 (5), 1686–1692

Агенција за заштиту животне средине (<sup>1</sup>2013) Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2012. годину, Београд, Република Србија

Агенција за заштиту животне средине (2010) Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2009. годину, Београд, Република Србија

Агенција за заштиту животне средине (<sup>2</sup>2013) Извештај о управљању амбалажом и амбалажним отпадом за 2012. годину, Београд, Република Србија

Агенција за заштиту животне средине, (2008), Иновирање катастра одлагалишта отпада у Републици Србији, пројекат, 2008 ([www.sepa.gov.rs](http://www.sepa.gov.rs))

Бошковић, Г., (2014), Унапређење енергетске ефикасности градског система за управљање чврстим отпадом, Докторска дисертација, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу

Вујић Г., Миловановић Д., (2012), Управљање отпадом, правац научних истраживања у будућности, Рециклажа и одрживи развој, Бр. 5, стр. 30-38

Вујић, Г., Убавин, Д., Батинић, Б., Војиновић Милорадов, М., Штрбац, Д., Гвозденац, Б., Станисављевић, Н., Миловановић, Д., Адамовић, Д., Бачлић, С., Дворнић, А., 2009, Утврђивање састава отпада и процене количине у циљу дефинисања стратегије управљања секундарним, сировинама у склопу одрживог развоја Републике Србије, Факултет техничких наука, Нови Сад.

Извештај о стању животне средине у Републици Србији за 2011. годину, 2012, Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине – Агенција за заштиту животне средине, 2012

Јовичић Н., Вујић Г., Миловановић Д., Јовичић Г., Деспотовић М., Батинић Б., Станисављевић Н., Убавин Д., Гвозденац Б., Бошковић Г., (2009), Методологија за одређивање морфолошког састава комуналног отпада, Техничко решење, Машински факултет Крагујевац

Јовичић, Н., 2005, Управљање чврстим отпадом, Машински факултет у Крагујевцу, 2005

Јовичић, Н., Миловановић, Д., Петровић, Д., Бошковић, Г., 2009, Процена енергетског потенцијала на депонији у Јовановцу, Машински факултет у Крагујевцу, (2009)

Локални план управљања отпадом града Крагујевца (2012), Envitech, Крагујевац, Република Србија

Милашиновић М., Бошковић Г., Јовичић Н., Бабић М., Вујић Г., Шуштершич В., Јовичић Г., (2012), Енергетски потенцијали биогаса пореклом из чврстог отпада и отпадних вода у региону Централне Србије, Енергија, економија, екологија, бр. 15, стр. 355-361

Службени гласник Републике Србије, (<sup>1</sup>2010), Национална стратегија за управљање отпадом за период 2010-2019, Влада Републике Србије, Београд, Србија, Службени гласник РС бр. 29, стр. 13-57

Службени гласник Републике Србије, (2003), Национална стратегија за управљање отпадом, Влада Републике Србије, Београд, Република Србија

Службени гласник Републике Србије, (2009), Закон о управљању отпадом, Влада Републике Србије, Београд, Србија, Службени гласник РС бр. 36

Службени гласник Републике Србије, (2010), Уредба о одлагању отпада на депоније, Влада Републике Србије, Београд, Република Србија, Службени гласник бр. 92

Службени гласник Републике Србије, (<sup>2</sup>2010), Правилник о методологији за прикупљање података о саставу и количинама комуналног отпада на територији јединице локалне самоуправе, Влада Републике Србије, Београд, Србија, Службени гласник РС бр. 61

Статистика отпада и управљање отпадом у Републици Србији, 2008 – 2010, Републички завод за статистику, 2012

Статистички годишњак Србије 2007, Републички завод за статистику Србије, 2007

Стратегија одрживог развоја Града Крагујевца 2012-2017, (2011)

Стратегија управљања отпадом за период 2010 – 2019, Влада Републике Србије, Службени гласник РС, бр. 55/05, 71/05 – исправка, 101/07 и 65/08, 2010

Убавин, Д., (2011), Модел емисије и редукције метана – гаса стаклене баште генерисаног на депонијама комуналног отпада у Србији, докторска дисертација, Факултет техничких наука у Новом Саду