



УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ



Биљана Б. Милутиновић

**РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ
СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ ПРИМЕНОМ
ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Ниш, 2016.



UNIVERSITY OF NIŠ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING



Biljana B. Milutinović

**DEVELOPMENT OF A MODEL FOR ASSESSING
THE SUSTAINABILITY OF WASTE MANAGEMENT
SCENARIOS USING THE MULTI-CRITERIA
ANALYSIS**

DOCTORAL DISSERTATION

Niš, 2016.

Подаци о докторској дисертацији

Ментор:	Др Гордана Стефановић, ванредни професор Универзитет у Нишу, Машински факултет
Наслов:	Развој модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом применом вишекритеријумске анализе
Резиме:	<p>Проблем избора одрживог система управљања отпадом је врло сложен. Сложеност се огледа у постојању великог броја третмана отпада који се разликују по технологији, ефикасности у погледу добијања енергије и искоришћењу природних ресурса, могућности смањења запремине отпада, већем или мањем негативном утицају на животну средину, различитим трошковима, неједнакој друштвеној прихватљивости итд. Избор одрживог система управљања отпадом, поред тога усложњава и постојање великог броја индикатора одрживог развоја који су развијени у свету и у Србији, а који се користе као критеријуми приликом оцене одрживости. Поред тога, не постоји један универзални модел који би доносиоцима одлука омогућио избор одрживог система управљања отпадом. Због тога је у овој докторској дисертацији развијен модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, као систем за подршку одлучивању са циљем да омогући доносиоцима одлука избор одрживог сценарија управљања отпадом, с обзиром на изабране критеријуме, односно индикаторе одрживог развоја и дефинисане приоритете.</p> <p>За оцену одрживости дефинисаних сценарија у оквиру модела, употребљена је метода вишекритеријумске анализе – метода аналитичких хијерархијских процеса. Предложен је сет индикатора одрживог развоја (економских, друштвених и индикатора животне средине) који се могу користити за оцену одрживости третмана отпада у Републици Србији, а који представљају комбинацију енергетских индикатора и индикатора везаних за отпад. У оквиру развијеног модела за оцену одрживости, развијени су и математички модели за израчунавање вредности одређених економских и друштвених индикатора који узимају у обзир локалне економске и друштвене прилике.</p> <p>Провера развијеног модела извршена је на случају оцене одрживости развијених сценарија управљања отпадом у граду Нишу, а потврда модела на случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Софија.</p>
Научна област:	Техничко-технолошке науке
Научна дисциплина:	Управљање отпадом
Кључне речи:	Управљање отпадом, систем за подршку одлучивању, одрживи развој, индикатори одрживог развоја, вишекритеријумска анализа
УДК:	628.4:502.131.1]:519.86(043.3)
CERIF класификација:	T 270 Технологија животне средине, контрола загађивања
Тип лиценце Креативне заједнице:	CC BY-NC-ND

Data on Doctoral Dissertation

Doctoral Supervisor:	Dr Gordana Stefanović, assistant professor University of Niš, Mechanical faculty
Title:	Development of a model for assessing the sustainability of waste management scenarios using the multi-criteria analysis
Abstract:	<p>The problem of choosing a sustainable waste management system is very complex. The complexity is reflected in the large number of waste treatments which vary by technology, efficiency in terms of obtaining energy and utilization of natural resources, possibilities of waste volume reduction, more or less negative impact on the environment, different costs, unequal social acceptability, etc. The selection of a sustainable waste management system is further complicated by the existence of a large number of sustainable development indicators that have been developed in the world and in Serbia, and are used as criteria in sustainability assessment. In addition, there is no one universal model that would assist decision makers in the selection of a sustainable waste management system. Therefore, this doctoral thesis develops a model for the sustainability assessment of waste management scenarios as a decision support system, in order to enable decision makers to choose the sustainable waste management scenarios, with regard to the selected criteria, namely indicators of sustainable development and defined priorities.</p> <p>For the sustainability assessment of defined waste management scenarios, this model, uses a multi-criteria analysis method – the Analytical Hierarchy Process. It proposes a set of sustainable development indicators (economic, social and environmental indicators) that can be used for assessing the viability of waste treatment in the Republic of Serbia. This set represents a combination of energy indicators and indicators related to waste. Within the framework of the model for the sustainability assessment, mathematical models are also developed so as to calculate the value of certain economic and social indicators that take into account local economic and social conditions.</p> <p>The verification of the developed model was performed using the case study of sustainability assessment of the developed waste management scenarios in the City of Niš, while the validation of the model was performed using the case study of sustainability assessment of waste management scenarios in the City of Sofia.</p>
Scientific Field:	Engineering Sciences and Technology
Scientific Discipline:	Waste management
Key Words:	Waste management, decision support system, sustainable development, indicators of sustainable development, multi-criteria analysis
UDC:	628.4:502.131.1]:519.86(043.3)
CERIF Classification:	T 270 Environmental technology, pollution control
Creative Commons License Type:	CC BY-NC-ND

ЗАХВАЛНОСТ АУТОРА

Ова докторска дисертација је резултат вишегодишње сарадње са мојим ментором др Горданом Стефановић, ванредним професором Машинског факултета Универзитета у Нишу, која је својим знањем, јасном визијом, подстицајем и посвећеним временом допринела мом професионалном развоју и реализацији ове докторске дисертације на чему сам јој изузетно захвална.

Дугујем захвалност и члановима комисије др Ксенији Денчић-Михајлов, др Слободану Милутиновићу, др Мићи Вукићу и др Предрагу Рајковићу на драгоценим сугестијама и саветима током истраживања и писања докторске дисертације.

Такође захваљујем др Жарку Ђојбашићу на помоћи при писању појединих делова дисертације.

Посебну захвалност дугујем мојим колегама др Младену Томићу и Петру Ђекићу на помоћи у решавању свих недоумица и дилема које сам имала током рада на докторској дисертацији.

Захвална сам својој породици на подршци и разумевању које су имали за моје одсуство из породичног живота током истраживања и писања дисертације.

Највећу захвалност дугујем својој мајци без чије безрезервне помоћи рад на овој докторској дисертацији не би био могућ.

Ниш, 2016. године

Биљана Милутиновић

Свом оцу



САДРЖАЈ

1 УВОД.....	1
1.1 ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА	1
1.2 ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА.....	3
1.3 СТРУКТУРА РАДА.....	5
2 МЕТОДЕ ТРЕТМАНА ОТПАДА.....	7
2.1 ОСОБИНЕ ЧВРСТОГ КОМУНАЛНОГ ОТПАДА.....	7
2.2 МЕТОДЕ ТЕРМИЧКОГ ТРЕТМАНА ОТПАДА	9
2.2.1 ИНСИНЕРАЦИЈА.....	11
2.2.1.1 Инсинерација опасног отпада.....	15
2.2.2 ГАСИФИКАЦИЈА.....	16
2.2.3 ПИРОЛИЗА	18
2.2.4 ПЛАЗМА ПРОЦЕС	20
2.3 МЕТОДЕ БИОХЕМИЈСКОГ ТРЕТМАНА ОТПАДА.....	21
2.3.1 АНАЕРОБНА ДИГЕСТИЈА	22
2.3.2 КОМПСТИРАЊЕ	25
2.4 МЕТОДЕ МЕХАНИЧКОГ ТРЕТМАНА ОТПАДА	29
2.4.1 РЕЦИКЛАЖА	29
2.4.2 СЕПАРАЦИЈА РЕЦИКЛАБИЛНОГ ОТПАДА.....	30
2.4.3 МЕХАНИЧКО – БИОЛОШКИ ТРЕТМАН ОТПАДА.....	32
2.5 ДЕПОНОВАЊЕ	33
3 ИНДИКАТОРИ КАО КРИТЕРИЈУМИ ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ	38
3.1 ОДРЖИВИ РАЗВОЈ	38
3.2 ИНДИКАТОРИ ОДРЖИВОГ РАЗВОЈА	39
3.2.1 ЕНЕРГЕТСКИ ИНДИКАТОРИ.....	43
3.3 ИНДИКАТОРИ ОДРЖИВОГ РАЗВОЈА У СРБИЈИ.....	45
3.3.1 НАЦИОНАЛНИ ИНДИКАТОРИ ЗАШТИТЕ ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ	47



3.3.2	НАЦИОНАЛНИ ИНДИКАТОРИ ВЕЗАНИ ЗА ОТПАД	49
3.4	ИНДИКАТОРИ ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ ТРЕТМАНА ОТПАДА	50
4	ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА АНАЛИЗА КАО АЛАТ ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ.....	55
4.1	МЕТОДЕ ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ	55
4.2	ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА АНАЛИЗА	56
4.2.1	МЕТОДЕ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ	58
4.1	МЕТОДА АНАЛИТИЧКИХ ХИЈЕРАРХИЈСКИХ ПРОЦЕСА.....	59
4.1.1	МАТЕМАТИЧКЕ ОСНОВЕ АХП МЕТОДЕ	62
4.1.2	КОНЗИСТЕНТНОСТ	65
4.1.3	ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕЖИНСКИХ ФАКТОРА ПРИ ГРУПНОМ ДОНОШЕЊУ ОДЛУКА	66
4.1.3.1	<i>Сумирање индивидуалних ставова</i>	<i>66</i>
4.1.3.2	<i>Сумирање индивидуалних приоритета</i>	<i>67</i>
5	СИСТЕМ ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ ПРИ ОЦЕНИ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ	68
5.1	МОДЕЛ ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ	69
5.2	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛИ ЗА ИЗРАЧУНАВАЊЕ ЕКОНОМСКИХ ИНДИКАТОРА	74
5.2.1	ПРЕТПОСТАВКЕ У ОКВИРУ МОДЕЛА И ГРАНИЦЕ СИСТЕМА	74
5.2.2	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ИЗРАЧУНАВАЊЕ ИНДИКАТОРА – ИНВЕСТИЦИОНИ ТРОШКОВИ ...	75
5.2.2.1	<i>Инсинерација</i>	<i>77</i>
5.2.2.2	<i>Анаеробна дигестија</i>	<i>78</i>
5.2.2.3	<i>Компостирање</i>	<i>79</i>
5.2.2.4	<i>Селекција и сепарација отпада</i>	<i>80</i>
5.2.2.5	<i>Депоновање.....</i>	<i>81</i>
5.2.3	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ИЗРАЧУНАВАЊЕ ИНДИКАТОРА – ОПЕРАТИВНИ ТРОШКОВИ	82
5.2.4	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ИЗРАЧУНАВАЊЕ ИНДИКАТОРА – ПРИХОДИ.....	86
5.2.4.1	<i>Инсинерација</i>	<i>87</i>
5.2.4.2	<i>Анаеробна дигестија</i>	<i>88</i>
5.2.4.3	<i>Компостирање</i>	<i>89</i>
5.2.4.4	<i>Селекција и сепарација отпада</i>	<i>90</i>
5.2.4.5	<i>Депоновање.....</i>	<i>91</i>
5.3	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ИЗРАЧУНАВАЊЕ ДРУШТВЕНИХ ИНДИКАТОРА	92
5.3.1	ДРУШТВЕНА ПРИХВАТЉИВОСТ ТРЕТМАНА ОТПАДА.....	92
5.3.2	ТЕОРИЈА ФАЗИ СКУПОВА И ФАЗИ ЛОГИКА	95
5.3.2.1	<i>Процес закључивања у фази логици</i>	<i>96</i>
5.3.3	МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ ЗА ИЗРАЧУНАВАЊЕ ИНДИКАТОРА – ДРУШТВЕНА ПРИХВАТЉИВОСТ	



6	ПРОВЕРА И ПОТВРДА РАЗВИЈЕНОГ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ	103
6.1	ОЦЕНА ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ У ГРАДУ НИШУ	103
6.1.1	КОЛИЧИНА И САСТАВ ОТПАДА У ГРАДУ НИШУ	104
6.1.2	РАЗВИЈАЊЕ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ	105
6.1.2.1	<i>Сценарио 1</i>	105
6.1.2.2	<i>Сценарио 2</i>	105
6.1.2.3	<i>Сценарио 3</i>	106
6.1.2.4	<i>Сценарио 4</i>	107
6.1.2.5	<i>Сценарио 5</i>	107
6.1.3	ИЗБОР СЕТА ИНДИКАТОРА	108
6.1.4	ФОРМИРАЊЕ ХИЈЕРАРХИЈСКЕ СТРУКТУРЕ	109
6.1.5	ИЗРАЧУНАВАЊЕ ВРЕДНОСТИ ИНДИКАТОРА	110
6.1.5.1	<i>Индикатори животне средине</i>	110
6.1.5.2	<i>Индикатори који се односе на отпад</i>	111
6.1.5.3	<i>Економски индикатори</i>	111
6.1.5.4	<i>Друштвени индикатори</i>	113
6.1.6	ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕЖИНСКИХ ФАКТОРА КРИТЕРИЈУМА АХП МЕТОДОМ	115
6.1.7	РАНГИРАЊЕ РАЗВИЈЕНИХ СЦЕНАРИЈА	118
6.1.8	МИНИМАЛАН БРОЈ ИНДИКАТОРА	121
6.1.9	АНАЛИЗА ОСЕТЉИВОСТИ	121
6.2	ОЦЕНА ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ У ГРАДУ СОФИЈА.....	124
6.2.1	КОЛИЧИНА И САСТАВ ОТПАДА У ГРАДУ СОФИЈА	125
6.2.2	СЦЕНАРИЈИ УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ	125
6.2.3	ИЗБОР СЕТА ИНДИКАТОРА	126
6.2.4	ФОРМИРАЊЕ ХИЈЕРАРХИЈСКЕ СТРУКТУРЕ	127
6.2.5	ИЗРАЧУНАВАЊЕ ВРЕДНОСТИ ИНДИКАТОРА	127
6.2.6	РАНГИРАЊЕ РАЗВИЈЕНИХ СЦЕНАРИЈА	128
7	ЗАКЉУЧАК.....	130
8	ЛИТЕРАТУРА	134
9	ПРИЛОЗИ	142
9.1	ДИРЕКТНЕ ЕМИСИЈЕ ИЗ ПОСТРОЈЕЊА ЗА ТРЕТМАН ОТПАДА.....	143
9.2	ПРИКАЗ ВРЕДНОСТИ ИЗРАЧУНАТИХ ЕЛЕМЕНАТА ЕКОНОМСКИХ ИНДИКАТОРА	149
9.3	АНКЕТА ЗА ИСПИТИВАЊЕ ЗНАЊА, МИШЉЕЊА И СТАВОВА ЈАВНОСТИ.....	152
9.4	ПРИКАЗ ПОРЕЂЕЊА ПАРОВА ЗА РАЗЛИЧИТИ БРОЈ ИНДИКАТОРА	154
10	ПОПИС СЛИКА.....	156



11 ПОПИС ТАБЕЛА.....	158
12 БИОГРАФИЈА АУТОРА	161

СПИСАК НАЈЧЕШЋЕ КОРИШЋЕНИХ ОЗНАКА

Латинични симболи

A	-	матрица поређења
A _n	-	алтернативе
B _z	-	број запослених
C _g	€m ⁻²	цена изградње објеката по m ²
C _e	c€kWh ⁻¹	цена произведене електричне енергије по kWh
C _k	€t ⁻¹	цена компоста по тони
C _n	-	критеријуми
C _p	€m ⁻²	цена пројектовања и добијања дозвола по m ²
C _{pt}	€m ⁻²	цена припреме терена по m ²
C _r	€	ниво зарада
C _{ss}	€t ⁻¹	цена секундарних сировина по тони
C _t	c€kWh ⁻¹	цена произведене топлотне енергије по kWh
C _z	€m ⁻²	цена земљишта по m ²
E _b	J	добитак енергије из биогаса
E _{dg}	J	добитак енергије из депонијског гаса
G _o	t	тежина отпада који се депонује
G _{pm}	t	тежина покривног материјала
GR _{KF}	-	порастан количине отпада по становнику за време трајања рада постројења
GR _{PP}	-	стопа пораста броја становника
GT(x)	€	трошкови изградње објеката за смештај постројења и опреме
h	m	висина тела депоније
H _d	Jkg ⁻¹	доња топлотна моћ
IT(x)	€	инвестициони трошкови
k _k	t	количина компоста
K _p	%	коэффициент пораста броја становника за једну годину
m _o	t	количина генерисаног отпада
m _{oo}	t	количина органског отпада
m _{rf}	t	количина рециклабилних фракција отпада
n	год	пројектовано време трајања постројења
OT _{fix}	€	фиксни оперативни трошкови
OT _{var} (x)	€/t	варијабилни оперативни трошкови
OT(x)	€/t	оперативни трошкови
P	€	приходи од третмана отпада
P _{ee}	€	приходи од продаје произведене електричне енергије
P _k	€	приходи од продаје компоста
PO(x)	m ²	површина објеката за смештај постројења и опреме
PP	-	број становника који генерише улазну количину отпада
P _{ss}	€	приходи од продаје секундарних сировина
P _t	€	приходи од таксе за третман отпада



P_{te}	€	приходи од продаје произведене топлотне енергије
$PT(x)$	€	пројектни и трошкови добијања дозвола
$PZ(x)$	ha	површина земљишта за смештај објеката и опреме
$TO(x)$	€	трошкови набавке постројења и опреме
T_{ob}	€	трошкови одржавања објеката
T_{oo}	€	трошкови одржавања опреме
T_{to}	€	такса за третман отпада
$TT(x)$	€	трошкови припреме терена
T_z	€	трошкови зараде
$TZ(x)$	€	трошкови куповине земљишта
S_b	-	будући број становника
S_p	-	постојећи број становника
U	-	скуп позитивних реалних бројева
V	m ³	запремина отпада и инертног материјала коју треба депоновати
w	-	вектор тежинских фактора
w_c	kgстан ⁻¹	количина отпада по становнику
w_n	-	релативни тежински фактори критеријума
x	t	капацитет постројења за третман отпада

Грчки симболи

α_e	%	степен продаје произведене електричне енергије
β_r	%	степен искоришћења количине отпада
β_t	%	степен продаје произведене топлотне енергије
η_e	%	ефикасност система за производњу електричне енергије
η_t	%	ефикасност система за производњу топлотне енергије
λ_{max}	-	максимална сопствена вредност матрице поређења
μ_A	-	функција припадности скупа А
$\mu_A(x)$	%	степен припадности елемента x фази скупу А
ρ_o	tm ⁻³	средња густина сабијеног отпада
ρ_{pm}	tm ⁻³	густина сабијеног покривног материјала

Скраћенице

АХП	метода аналитичких хијерархијских процеса
БДП	бруто домаћи производ
БПК	биохемијска потрошња кисеоника
ВКА	вишекритеријумска анализа
СНР	когенеративно постројење
СSD	Комисија за одрживи развој
СИ	индекс конзистентности
СП	метода компромисног програмирања
СR	степен конзистентности
ЕЕА	Европска агенција за заштиту животне средине
ELECTRE	метода елиминације и избора у прихватању реалности
ЕРА	Агенција за заштиту животне средине САД
IAEA	Међународна агенција за атомску енергију
IWM	Integrated Waste Management Model for Municipalities
IEA	Међународном агенцијом за енергију
IPCC	Међудржавни панел о климатским променама
HDPE	полиетилен високе густине



NAIADE	метода новог приступа непрецизној процени и одлукама окружења
NIMBY	„не у мом дворишту“
LCA-IMW	Municipal Solid Waste Management System
ORWARE	Organic Waste research model
PCDD	полихлоровани дибензодиоксини
PCDF	полихлоровани дибензофурани
PET	полиетилен терафталат
PROMETHEE	метода одређивања ранга алтернатива
PVC	поливинилхлорид
RC	метода редуccionих коефицијената
RI	случајни индекс
SAW / WSM	метода адитивних тежинских фактора (адитивна метода)
SI	индекс сапробности
SMART	метода једноставне вишеатрибутивне технике рангирања
SPW / WPM	метода продуктивних тежинских фактора
SWQI	Serbian Water Quality Index
TOPSIS	метода технике одређивања приоритета на основу сличности идеалних решења
UNCED	Конференција УН о животној средини и развоју
UNCSD	Конференција УН о одрживом развоју
UNDESA	Одељење за економске и социјалне послове УН
VIKOR	метода вишекритеријумске оптимизације и компромисног решења
WARM	Waste Reduction Model
WASTED	Waste Analysis Software Tool for Environmental Decision model



1 УВОД

1.1 Предмет истраживања

Са повећањем броја становника и технолошким развојем, свакодневно се повећава и количина отпада која се ствара. У 2012. години у земљама Европске уније генерисано је 2.514 милиона тона отпада [1], који заузима запремину од 8.372 милиона m^3 животног простора, а у Републици Србији 2,62 милиона тона отпада [2], који заузима запремину од 8,72 милиона m^3 . Са друге стране, повећање броја становника и интензиван технолошки развој, узрокују и значајно смањење количина природних ресурса на планети. Због тога су, у циљу очувања природних ресурса (извора енергије, сировина и обрадивог земљишта), као и смањења запремине отпада коју треба одложити на депоније, развијени различити третмани отпада: термички, биохемијски, хемијски, механички, механичко – биолошки. Сви ови третмани имају за циљ искоришћење отпада као извора енергије и секундарних сировина, а такође и смањење запремине отпада.

Сваки од постојећих третмана отпада има различиту ефикасност у погледу количине добијене енергије, могућности искоришћења секундарних сировина, као и смањења запремине отпада, економске исплативости, утицаја на животну средину, друштвене прихватљивости итд. Анаеробном дигестијом постиже се највеће смањење запремине отпада (95–97 %) [3], али се добија мања количина енергије (100–150 kWh/t органског отпада), у односу на термичке третмане отпада (167 kWh/t отпада) [4]. Међутим, термички третмани отпада имају највеће инвестиционе трошкове по тони третираног отпада у односу на друге третмане (560–1030 €/t) [5], с обзиром на сложеност постројења. Са друге стране, рециклажа доприноси очувању природних ресурса и поновном искоришћењу материјала, друштвено је прихватљивија од термичких третмана отпада, али даје мању редукцију запремине отпада који треба одложити на депонију и захтева селекцију отпада (примарну или секундарну), што повећава трошкове. Што се тиче утицаја на животну средину, анаеробна дигестија



омогућава највеће смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште (180–220 kg/t) [6] у односу на друге третмане отпада. Компостирање такође омогућава уштеду у емисији гасова са ефектом стаклене баште, али се само органски отпад може компостирати, што захтева селекцију отпада.

На основу претходно наведеног, може се закључити колико је проблем избора третмана отпада комплексан и постаје јасно зашто је налажење адекватног модела за оцену најпогоднијег третмана отпада (без обзира да ли ради о аспекту животне средине, економском или друштвеном), предмет научног истраживања. Када се има у виду да се у пракси, у циљу увођења интегралног система управљања отпадом, проблем отпада обично решава комбинацијом више третмана отпада, постаје јасна сложеност проблема са којим се суочавају доносиоци одлука при избору система управљања отпадом.

Сазнање да убрзано трошење природних ресурса, интензиван развој индустрије и технологије и повећано загађење околине угрожава развој будућих генерација, довело је до тражења глобалног решења проблема. Решење је нађено кроз “одрживи развој” који предвиђа такав развој индустрије и друштва који задовољава потребе садашњих, а не угрожава развој будућих генерација. Кроз одрживи развој, све људске активности сагледавају се са аспекта животне средине, економског и друштвеног аспекта (аспекти одрживости). Због тога се и приликом увођења система управљања отпадом, мора водити рачуна да он буде ефикасан са аспекта заштите животне средине, економски исплатив и друштвено прихватљив. Једном речју, да изабрани систем буде одржив са свих аспеката.

Као критеријуми за оцену одрживости користе се индикатори одрживог развоја. Сагласно аспектима одрживог развоја, и индикатори су подељени на: индикаторе животне средине, економске и друштвене, а у новије време уводе се и технички индикатори. Као индикатори животне средине енергетских система најчешће се користе: емисија угљен диоксида, емисија киселих гасова (сумпор диоксид и оксиди азота), емисија чврстих честица, емисија тешких метала у ваздух и воду, бука, итд. Посебну групу чине и индикатори за отпад, као што су: количина рециклираног отпада, количина депонованог отпада, количина прерађеног отпада, редукација запремине отпада, уштеда енергије итд. Као економски индикатори користе се: инвестициони трошкови, оперативни трошкови, остварени приходи, трошкови горива,



трошкови енергије, период повраћаја средстава, нето садашња вредност итд. Као друштвени индикатори користе се: друштвена прихватљивост појединих третмана отпада, број отворених радних места, друштвена корист, друштвена једнакост, друштвена одговорност, итд. Као технички индикатори се користе: ефикасност система за добијање енергије из отпада, сигурност система, поузданост система итд.

Пошто се код третмана отпада остварује како валоризација секундарних сировина, тако и добијање енергије из отпада, при оцени одрживости система управљања отпадом потребно је примењивати комбинацију енергетских индикатора и индикатора за отпад. Треба истаћи да је избор одговарајућих индикатора, на основу којих се оцењује одрживост система, важан и не тако једноставан корак од којег зависи коначни резултат вредновања. Зато се, као један од проблема приликом оцене одрживости појединих третмана отпада намеће избор индикатора одрживости који јасно и потпуно описују најважније утицајне факторе, као и избор оптималног броја индикатора за оцену одрживости појединих третмана отпада.

Због тога је ово истраживање усмерено на развијању модела, као система за подршку одлучивању, који би доносиоцима одлука омогућио оцену одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом коришћењем индикатора одрживог развоја уз примену вишекритеријумске анализе, као алата за избор одрживог система.

1.2 Циљ истраживања

Општи циљ овог истраживања је развијање система за подршку одлучивању, који би доносиоцима одлуке омогућио доношење одлуке о избору одрживог сценарија управљања отпадом. Као неопходан корак за развијање система за подршку одлучивању, потребно је извршити идентификацију и анализу свих елемената појединих третмана отпада, почев од њихових техничких карактеристика, економских чинилаца и могућих утицаја на животну средину. У оквиру система за подршку одлучивању циљ је развијање модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, који узима у обзир све аспекте одрживости (аспект животне средине, економске и друштвене), у зависности од састава и количине отпада и намере доносиоца одлуке. Овако развијен модел, базиран на методи вишекритеријумске анализе – методи аналитичких хијерархијских процеса (АХП метода), био би практично применљив приликом одлучивања различитих група доносиоца одлука у



условима карактеристичним за Србију, али и довољно универзалан да се може применити на било којој територији.

Посебан циљ истраживања је препознавање и идентификација индикатора одрживог развоја, са посебним нагласком на препознавање индикатора који се односе на отпад, као и укључивање индикатора који описују добијање енергије из отпада (сет енергетских индикатора), а који се могу применити за оцену одрживости сценарија управљања отпадом у Републици Србији.

Један од посебних циљева је и утврђивање утицаја врсте индикатора на рангирање сценарија управљања отпадом, као и утврђивање довољног минималног броја индикатора којима се са прихватљивом поузданошћу може оценити одрживост система управљања отпадом.

С обзиром да економски индикатори у великој мери зависе од специфичних услова на територији једне локалне заједнице, приликом њиховог израчунавања неопходно је узети у обзир утицај локалних економских прилика. Због тога је постављен као посебан циљ овог истраживања развијање математичких модела за опис и израчунавање вредности одређених економских индикатора (инвестициони, оперативни трошкови и приходи) у зависности од количине и састава отпада, као и препознате структуре трошкова и прихода за поједине третмане отпада, да би се што прецизније одредила вредност појединих економских индикатора за Србију.

Друштвени индикатори у великој мери зависе од локалних прилика и значајно утичу на брзину реализације и имплементације одређеног система управљања отпадом, а за разлику од индикатора животне средине и економских индикатора, они су по својој природи врло често квалитативног карактера, па је одређивање њихових вредности тежак задатак, посебно ако се има у виду да у литератури не постоји јасна методологија и смернице за одређивање вредности друштвених индикатора. Због тога је посебан циљ овог научног истраживања такође развијање математичких модела за израчунавање одређених друштвених индикатора, коришћењем теорије фази скупова и фази логике, као алата који пружа погодност при раду са нејасним, непотпуним или квалитативним подацима.

Истраживање које ће бити спроведено у оквиру рада на овој докторској дисертацији треба да потврди хипотезу да је оцена одрживости сценарија управљања



отпадом вишекритеријумски проблем који се може решити применом модела који као основне улазне променљиве користи количину и састав отпада на одређеној територији. Посебне хипотезе које такође треба да потврди ово истраживање су да:

- се развијени модел се може користити за оцену одрживости сценарија управљања отпадом за било коју локалну заједницу,
- постоји минималан број индикатора чијим коришћењем се са прихватљивом поузданошћу може извршити оцена одрживости сценарија управљања отпадом.

Провера развијеног модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом и математичких модела за израчунавање одређених економских и друштвених индикатора, биће спроведена на случају оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом у граду Нишу, а потврда модела на случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Софија, где је већ уведен интегрални систем управљања отпадом.

1.3 Структура рада

Овај рад се састоји из три целине подељене у поглавља и уводног дела који је приказан у поглављу 1.

Прва целина посвећена је прегледу и анализи свих неопходних елемената за развијање модела за оцену одрживости система управљања отпадом и састоји се из три поглавља: Поглавље 2 – Методе третмана отпада, Поглавље 3 – Индикатори као критеријуми за оцену одрживости и Поглавље 4 – Вишекритеријумска анализа као алат за оцену одрживости сценарија управљања отпадом.

У поглављу Методе третмана отпада извршен је преглед и опис најчешће коришћених третмана отпада, дате су њихове карактеристике, представљени елементи постројења, препознате фракције отпада које се могу третирати одређеним третманом и идентификоване предности и недостаци третмана са аспекта животне средине, економског и друштвеног аспекта.

У поглављу Индикатори као критеријуми за оцену одрживости извршена је анализа развијених индикатора одрживог развоја који се користе у свету и посебно преглед индикатора који су развијени у Републици Србији: индикатори одрживог развоја представљени у Националној стратегији одрживог развоја, национални



индикатори заштите животне средине и индикатори који се односе на отпад а који су представљени у Стратегији управљања отпадом Републике Србије.

Поглавље Вишекритеријумска анализа као алат за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, посвећено је прегледу метода вишекритеријумске анализе са посебним освртом на методи аналитичких хијерархијских процеса која ће бити коришћена као алат за оцену одрживости сценарија управљања отпадом.

Друга целина представља пето поглавље у коме је представљен развијени модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, као систем за подршку одлучивању. У оквиру поглавља описани су развијени математички модели за израчунавање појединих економских (инвестициони трошкови, оперативни трошкови и приходи) и друштвеног индикатора (друштвена прихватљивост) који се користе као критеријуми при вишекритеријумској анализи.

У последњој целини, шестом поглављу, извршена је провера развијеног модела за оцену одрживости, на случају оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом у граду Нишу, такође коришћењем развијених математичких модела за израчунавање економских и друштвених индикатора и потврда модела на случају оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом у граду Софија.

2 МЕТОДЕ ТРЕТМАНА ОТПАДА

Као неопходан корак за развијање система за подршку одлучивању, односно модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, неопходно је извршити идентификацију и анализу свих елемената појединих третмана отпада, почев од њихових техничких карактеристика, економских чинилаца и могућих утицаја на животну средину. Такође је неопходно упознати се са саставом и количинама отпада погодног за одређене третмане, као и карактеристикама и саставом отпада на одређеној територији, јер су састав, количина и особине генерисаног отпада најважнији утицајни фактори приликом избора третмана отпада.

У циљу очувања природних и енергетских ресурса и смањења запремине отпада коју треба одложити на депоније, развијене су различите методе третмана отпада:

- термичке (инсинерација, гасификација и пиролиза, и у новије време, плазма процес),
- биохемијске (компостирање, анаеробна дигестија),
- хемијске (естерификација) и
- механичке (рециклажа).

Поред наведених третмана отпада потребно је познавати и утицај депоновања на животну средину, као и његове економске и друштвене аспекте, јер је депоновање, без обзира што је у интегралном систему управљања отпадом [7] препознато као најмање пожељна опција за решавање проблема отпада, још увек саставни део сваког интегралног система управљања отпадом.

2.1 Особине чврстог комуналног отпада

Чврст комунални отпад је изузетно нехомогеног састава и састоји се од различитих фракција (остаци од хране, папир, пластика, текстил, гума, кожа, дрво, отпад из дворишта, стакло, метал итд.). Састав отпада зависи од територије на којој се отпад генерише, климатских фактора, годишњег доба, економских услова, стандарда

становништва, од тога да ли настаје у индустријској, урбаној или руралној средини и од много других чинилаца [8].

Генерално, чврст комунални отпад се састоји од органских (отпад од хране, папир, пластика, текстил, гума, кожа, отпад из дворишта, дрво...) и неорганских фракција (метал, стакло, керамика, пепео...). Фракције отпада могу бити рециклабилне (папир, пластика, текстил, гума, стакло, метал) и нерциклабилне (остаци од хране, кожа, дрво, отпад из дворишта). Све ове фракције имају различит хемијски састав и различиту енергетску вредност, па се због тога у већој или мањој мери могу искористити за добијање секундарних сировина или енергије.

У табели 2.1 приказан је типичан састав чврстог комуналног отпада по фракцијама, као и елементарни састав сваке фракције, садржај влаге и пепела и доња топлотна моћ као карактеристике, које је неходно познавати приликом избора одговарајућег третмана отпада.

Табела 2.1 Типичне вредности физичких и хемијских карактеристика појединих фракција отпада [8]

Фракција отпада	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Влага (%)	Пепео (%)	Доња топлотна моћ (kJ/kg)
Органски отпад								
Отпад од хране	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	70,0	5,0	3.500–7.000
Папир	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0	6,0	11.600–18.600
Картон	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0	5,0	14.000–17.500
Пластика	60,0	7,2	22,8	-	-	2,0	10,0	28.000–37.200
Текстил	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15	10,0	2,5	15.000–18.600
Гума	78,0	10,0	-	2,0	-	2,0	10,0	21.000–28.000
Кожа	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0	10,0	15.000–19.800
Отпад из дворишта	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	60,0	4,5	2.300–18.600
Дрво	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	20,0	1,5	17.500–19.800
Неоргански отпад								
Стакло	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	2,0	98,9	100–230
Метал	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	3,0	90,5	230–1.100
Прашина, пепео итд.	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	8,0	68,0	2.300–11.600

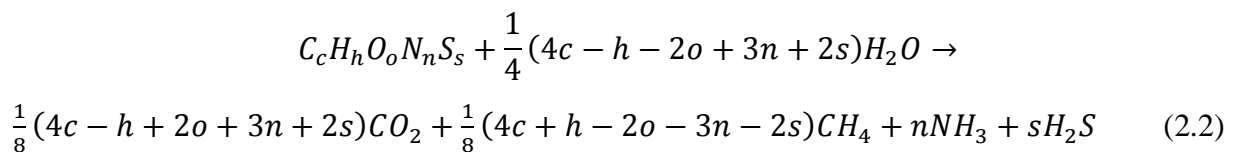
Доња топлотна моћ отпада (количина енергије добијена потпуним сагоревањем јединичне масе отпада узимајући у обзир и присутну влагу) је најважнија карактеристика отпада када се одређује погодност отпада да се збрињава термичким третманима. Доња топлотна моћ отпада (H_d) зависи од састава отпада и креће се од

7.200 – 14.900 kJ/kg [9]. Постоје различите методе за одређивање доње топлотне моћи отпада: мерењем у лабораторији и израчунавањем на основу хемијског састава отпада. За потребе овог рада биће коришћена формула Шванеке [10] која користи елементарни састав отпада (C, H, S, N, O i H₂O) за израчунавање доње топлотне моћи отпада (једначина 2.1):

$$H_d = 348 C\% + 949 H\% + 105 S\% + 63 N\% - 108 O\% - 24.5 H_2O\% \quad (2.1)$$

где су: C%, H%, O%, S%, N%, H₂O% - масени удели угљеника, водоника, кисеоника, сумпора, азота и влаге у отпаду.

Такође, битан податак који је потребно познавати, уколико се отпад подвргава третману анаеробном дигестијом, је састав биогаса који се добија анаеробном дигестијом отпада. За израчунавање састава биогаса биће коришћена Басвелова једначина [11] (једначина 2.2) која се базира на хемијској формули органског отпада (C_cH_hO_oN_nS_s):



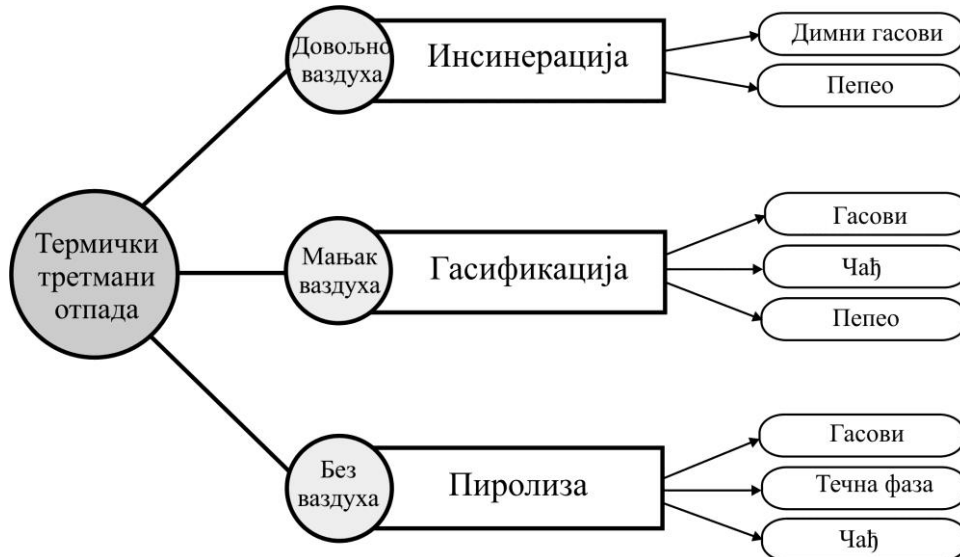
где су: c, h, o, n, s – број атома угљеника, водоника, кисеоника, сумпора и азота у хемијској формули органског отпада (C_cH_hO_oN_nS_s).

2.2 Методе термичког третмана отпада

Под термичким третманом чврстог отпада подразумева се претварање чврстог отпада у гасовите, течне или чврсте продукте уз истовремено или накнадно ослобађање енергије [8]. Термички третмани отпада могу се поделити на основу количине ваздуха која учествује у реакцијама при термичком третману:

- 1) **инсинерација (сагоревање)** – термички третман са количином ваздуха довољном за потпуно сагоревање (стехиометријско сагоревање) или са вишком ваздуха (сагоревање са вишком ваздуха);
- 2) **гасификација** – термички третман са количином ваздуха мањом од минимално потребне количине за потпуно сагоревање, у циљу стварања горивог гаса;
- 3) **пиролиза** – термички третман отпада без присуства ваздуха.

Применом ових третмана могу се добити различити производи сагоревања, из којих се различитим системима добија енергија или материја. На слици 2.1 приказани су производи који се добијају термичким третманима отпада.



Слика 2.1 Производи у термичким третманима отпада

У табели 2.2 приказане су упоредне карактеристике термичких третмана отпада са аспекта радних услова, температуре, притиска, производа сагоревања и загађивача који се емитују у атмосферу.

Табела 2.2 Карактеристике процеса термичких третмана отпада [12]

	Инсинерација	Гасификација	Пиролиза
Радни услови	Количина кисеоника већа од потребне за стехиометријско сагоревање	Количина кисеоника мања од потребне за стехиометријско сагоревање	Потпуно одсуство кисеоника
Оксидационо средство	Ваздух	Ваздух, кисеоник, водена пара	-
Температура	850–1200 °C	550–900 °C (гасификација ваздухом) 1000–1600 °C	300–800 °C
Притисак	Атмосферски	Атмосферски	Подпритисак
Основни производи сагоревања у гасовитом стању	CO ₂ , H ₂ O	CO, H ₂ , CO ₂ , H ₂ O, CH ₄	CO, H ₂ , CH ₄ , остали угљоводоници
Производи сагоревања у течном стању	-	Мале количине катрана или уља	Катран, уља која садрже сирћетну киселину, ацетон, метанол и комплексне

	Инсинерација	Гасификација	Пиролиза
Продукти сагоревања у чврстом стању	Пепео	Чађ и инертне материје	угљоводонике Чађ и инертне материје
Загађивачи	SO ₂ , NO _x , HCl, PCDD, PCDF, честице	H ₂ S, HCl, NH ₃ , HCN, чађ, алкали, честице	H ₂ S, HCl, NH ₃ , HCN, чађ, честице
Пепео	Може садржати инертан материјал (метал). Након издвајања метала, пепео се депонује као индустријски отпад.	Често се добија у облику шљаке која се може користити као материјал при изградњи путева.	Често садржи значајну количину угљеника. Након третмана депонује се као специјалан индустријски отпад.

2.2.1 Инсинерација

Инсинерација је процес контролисаног сагоревања чврстог, течног или гасовитог отпада. Контролисани услови подразумевају зону обогаћену кисеоником за сагоревање под повишеним температурама, коришћење помоћног горива, енергично убацивање отпада и коришћење принудног струјања ваздуха.

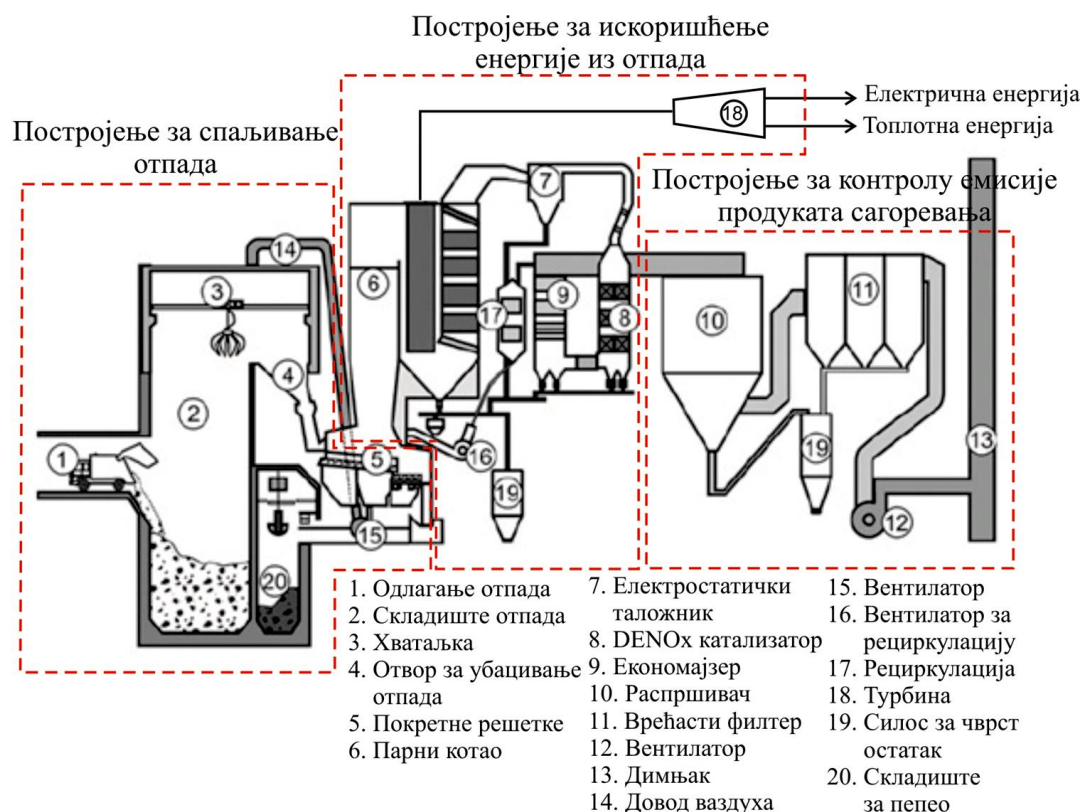
Сврха инсинерације је искоришћење енергије из отпада и смањење запремине отпада. Инсинерација је најчешће коришћен термички третман отпада, који омогућава смањење масе отпада до 70 %, а запремине отпада до 95 %, када су у питању гориви састојци отпада, као што су папир, пластика, отпад од хране и отпад из дворишта. Практично, након сагоревања мешаног комуналног чврстог отпада и компактирања остатака сагоревања, отпад просечно заузима 25% своје првобитне запремине.

С обзиром да је отпад изузетно нехомогеног састава, поступком инсинерације добијају се различите количине пепела, продукати сагоревања различитог састава, као и различита количина енергије. Отпад који се сматра погодним за третман инсинерацијом јесте отпад који има садржај воде мањи од 50 %, садржај пепела мањи од 60 % и садржај угљеника већи од 25 % [13]. Поред тога, отпад од метала није погодан за инсинерацију, јер служи као катализатор при стварању диоксида и фурана у продуктима сагоревања [14; 15]. Због тога је, у циљу добијања веће количине енергије и смањења количине пепела, потребна селекција отпада, односно издвајање негоривих фракција отпада (стакло, метал, керамика итд.). У табели 2.3 дат је преглед фракција отпада које су погодне за третман инсинерацијом и карактеристичне вредности доње топлотне моћи.

Табела 2.3 Фракције отпада погодне за третман инсинерацијом

Фракције отпада погодне за инсинерацију	Доња топлотна моћ (kJ/kg)
Папир	11.600–18.600
Картон	14.000–17.500
Пластика	28.000– 37.200
Текстил	15.000–18.600
Гума	21.000–28.000
Кожа	15.000–19.800
Органски отпад – отпад од хране и баштенски отпад (опционо)	3.500–18.600

Технолошки, систем за инсинерацију се састоји из три дела (слика 2.2): постројења за сагоревање отпада, постројења за искоришћење енергије из отпада и постројења за контролу емисије продуката сагоревања.



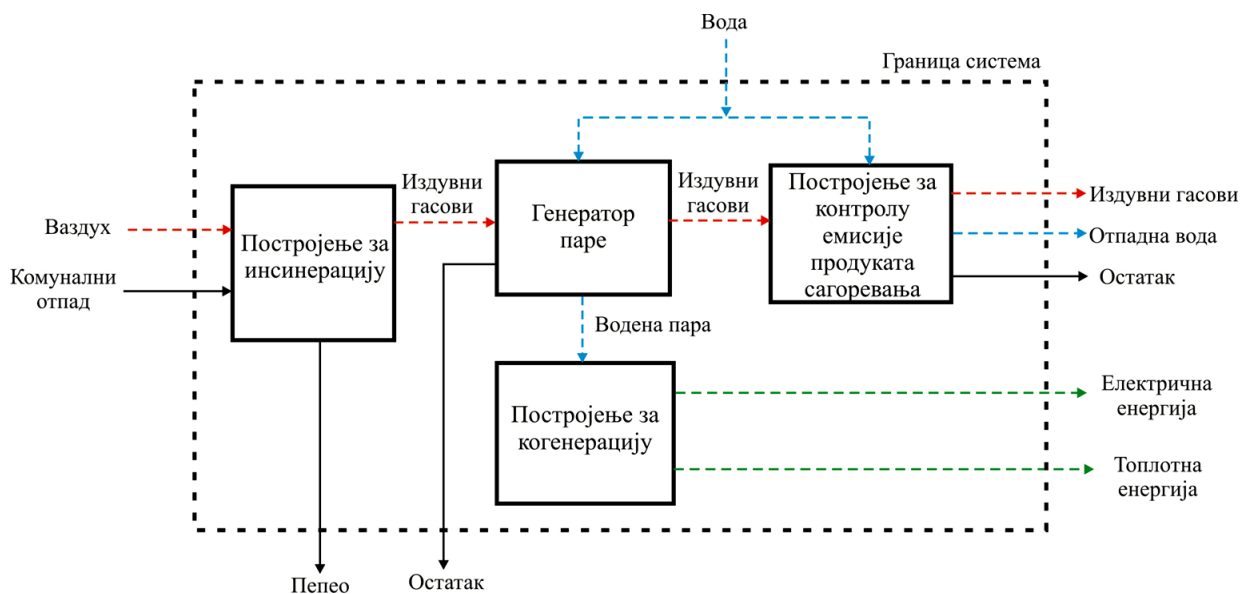
Слика 2.2 Елементи система за инсинерацију отпада [13]

У данашње време су, у зависности од астава и врсте отпада, развијена постројења за сагоревање отпада, која се генерално могу поделити у две групе [13]:

- постројења за сагоревање нехомогеног отпада:
 - инсинератори са покретним решеткама,
 - инсинератори са ротационом пећи,
- постројења за сагоревање хомогеног отпада:

– инсинератори са флуидизованим слојем.

Процес инсинерације отпада (слика 2.3), почиње убацивањем отпада у ложиште, где се, уз довољну количину кисеоника на температури од 815 до 1095 °C, стварају продукти потпуног сагоревања: pepeo (чврста фаза) и гасовити продукти сагоревања (CO_2 , NO_x , SO_2 , халогеноводоници, гасови у траговима, као што су диоксини и фурани, тешки метали и летећи pepeo) који захтевају додатно процесирање [16]. Гасовити продукти сагоревања напуштају комору за сагоревање на високој температури носећи са собом велику количину енергије. Системи за инсинерацију данас у свом саставу обавезно имају и постројења за искоришћење енергије из отпада која топлоту продуката сагоревања трансформишу у електричну и/или топлотну енергију. Након напуштања постројења за искоришћење енергије из отпада, гасовити продукти сагоревања додатно се третирају у постројењу за контролу емисије гасова у циљу заштите животне средине. На слици 2.2 приказана је блок шема процеса инсинерације са производњом енергије из отпада.



Слика 2.3 Блок шема третмана отпада инсинерацијом

Гасовити продукти сагоревања садрже компоненте које имају негативан утицај на околину: честице (просечно 38 g/t), органска једињења – диоксине и фуране (просечно 400 ng_{teq}/t), киселе гасове (HCl , HF , SO_2), NO_2 (просечно 1600 g/t) и тешке метале. У прилогу 9.1, у табели 9.1 приказане су просечне вредности директне емисије у ваздух и воду по тони отпада, постројења за инсинерацију отпада.

У циљу смањења негативног утицаја на животну средину, Европска унија је донела Директиву 2000/76/ЕС којом се регулишу граничне вредности емисије из постројења за термички третман отпада. Овом директивом се регулишу граничне вредности емисија: честица, органских једињења, HCl, HF, тешких метала, диоксина, SO₂ и NO₂. Такође је дефинисана минимална температура сагоревања од 850 °C, као и минимално задржавање отпада у ложишту од 2 s у секундарној комори, док за отпад који садржи више од 1 % халогене органске супстанце температура сагоревања мора да буде 1100 °C најмање 2 s [17].

Постројење за инсинерацију карактеришу високи инвестициони трошкови, који се крећу од 560 до 1030 €/t отпада због сложености постројења, а такође и високи оперативни трошкови који износе 28–67 €/t отпада због потребе за третманом продуката сагоревања у циљу контроле емисије загађивача [5]. У табели 2.4 приказан је преглед предности и недостатака третмана отпада инсинерацијом са економског, друштвеног и аспекта заштите животне средине.

Табела 2.4 Предности и недостаци инсинерације са аспекта одрживости

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са аспекта животне средине	
Велико смањење запремине отпада коју треба одложити на депонију	Стварање значајне количине CO ₂ и осталих гасова, као и диоксина и фурана који се не могу потпуно уклонити постројењем за контролу емисије гасова
Потребна релативно мала површина земљишта за смештај постројења	Стварање значајне количине пепела
Могућност третмана различитих врста отпада, опасног и неопасног	Стварање отпадне воде у процесу искоришћења енергије из отпада коју је потребно додатно процесирати
Са економског аспекта	
Могућност остваривања прихода продајом произведене електричне и/или топлотне енергије	Високи инвестициони трошкови који се додатно повећавају потребом за предтретманом отпада и увођењем система за контролу емисије гасова
Могућност изградње постројења близу места генерисања отпада	Високи оперативни трошкови у поређењу са другим третманима отпада Трајно уништавање секундарних сировина
Са друштвеног аспекта	
Могућност решавања проблема отпада	Бука и непријатни мириси Потреба за малим бројем запослених за опслуживање постројења Недовољна друштвена прихваћеност

2.2.1.1 Инсинерација опасног отпада

Инсинерација је један од најчешћих третмана опасног отпада, јер се на тај начин најбоље неутралишу особине опасног отпада (као што су експлозивност, запаљивост, токсичност, инфективност, корозивност, радиоактивност, канцерогеност) и њихов негативан утицај на здравље људи и животну средину. Међутим, због особина које одликују опасан отпад, инсинерација отпада није увек ефикасна. У табели 2.5 дат је преглед ефикасности процеса сагоревања у неутралисању опасних особина отпада.

Табела 2.5 Ефикасност процеса сагоревања у неутралисању опасних особина отпада [16]

Опасан отпад	Ефикасност процеса сагоревања
Запаљив	Увек ефикасан
Реактиван	Увек ефикасан
Корозиван	Понекад ефикасан
Токсичан	Често ефикасан
Инфективан	Увек ефикасан
Канцероген	Често ефикасан
Мутаген	Често ефикасан
Радиоактиван	Никад ефикасан

Системи за инсинерацију опасног отпада се значајно разликују од система за инсинерацију неопасног отпада. Разлике, међутим, нису у технологији сагоревања, већ у пријему отпада, складиштењу, систему за убацавање отпада у ложиште и систему за контролу емисије гасова, који су пројектовани тако да обезбеде поузданост и континуалан рад приликом сагоревања, смањења емисије загађујућих супстанци у ваздух и безбедног одлагања остатака [17]. Фокус на остваривању поузданог сагоревања доводи до одабира оних постројења за инсинерацију која обезбеђују довољно дуго време боравка отпада у ложишту како би се обезбедило потпуно сагоревање свих опасних материја [16]. Међутим, и поред тога се у пепелу након инсинерације опасног отпада налазе тешки метали, као што су Hg, Cd и Pb [18].

Инсинератори са ротационом пећи се најчешће користе за сагоревање опасног отпада који је у облику течности, расуте материје или комадића. Када је опасан отпад у облику течности, он се упумпава у ротациону пећ преко млазница, а када је у чврстом стању убацује се у пећ посебним системима, често тако да се одједном убацује велика количина отпада у пећ (без претходног складиштења и манипулације отпадом). Пошто је оса ротационе пећи под нагибом, очекује се да целокупна количина отпада сагори



док стигне до краја пећи. Да би се постигла жељена температура у ложишту и да би се она одржавала, потребан је извор топлоте, који се обезбеђује додатним горивом (обично природни гас) који се убацује кроз млазнице.

Сагоревање се врши на температурама од 850 °C до 1650 °C, завосно од агрегатног стања и врсте опасног отпада. Пећ ротира брзином од $\frac{3}{4}$ до 4 °/min. Време задржавања отпада у пећи је најмање 30 min и зависи од брзине окретања и нагиба пећи [16]. Пошто температура у пећи није свуда једнака, пожељно је дуже задржавање отпада у пећи.

У новије време се због боље ефикасности у неутралисању опасних особина, често користи плазма технологија за третман опасног отпада. Плазма процес је врло ефикасан за третман следећих врста опасног отпада: а) радиоактивног отпада, при чему радионуклеиди бивају заробљени у стакластој шљаци; б) отпада који садржи полихлороване бифениле (PCB), отпадних нервних гасова и медицинског отпада, при чему због високе температуре у процесу високо токсичне компоненте бивају потпуно уништене; ц) контаминираног земљишта због мале количине издувних гасова који настају као резултат третмана [16]. Основне карактеристике плазма процеса описане су у поглављу 2.2.4.

2.2.2 Гасификација

Гасификација је термички третман отпада при коме отпад непотпуно сагорева у присуству кисеоника чија је количина мања од стехиометријски потребне количине за потпуно сагоревање. Сагоревање се врши уз чист кисеоник, ваздух или водену пару. На високим температурама, кисеоник реагује са угљеником из отпада и стварају се продукти сагоревања, као што су гориви гас, чађ и пепео.

Састав фракција које се добијају гасификацијом је следећи [19]:

1. Гасовита фракција садржи H_2 , CH_4 , CO , CO_2 и различите врсте гасова у траговима зависно од састава отпада. Приликом сагоревања уз довођење ваздуха, просечан састав гасовите фракције је 5% CH_4 , 20% CO , 23% CO_2 , 15% H_2 и 37% N_2 . Гасовита фракција може се добити у износу од 30 до 60 % у односу на улазну количину отпада. Топлотна моћ гасовите фракције креће се од 3.000 до 12.000 kJ/Nm³.

2. Течна фаза се састоји од катрана и уља и добија се у неким случајевима у малим количинама, 10–20 % од улазне количине отпада.



3. Чврста фракција се састоји из чађи и инертних материја из отпада. Чврста фракција може износити 30–50 % у односу на улазну количину отпада.

Карактеристике система за гасификацију, састав отпада и услови рада утичу на састав и количине продуката гасификације. Гасовити продукти процеса гасификације садрже сличне компоненте као и приликом инсинерације, осим CO због непотпуног сагоревања. Емисија диоксида и фурана је много мања (просечно $0,00000005 \text{ ng}_{\text{teq}}/\text{t}$), такође и емисија NO_x (просечно 780 g/t). У прилогу 9.1, табела 9.2 приказане су просечне вредности емисије у ваздух и воду по тони отпада, постројења за гасификацију отпада.

За ефикасан процес гасификације, потребан је отпад који садржи довољну количину угљеника. Због тога није сваки отпад погодан за процес гасификације. Постоји неколико фракција отпада које су погодне за овај термички третман: папир, пластика, дрво и пољопривредни отпад биљног порекла [20].

Температуре у процесу гасификације су више него приликом пиролизе и крећу се у интервалу од 800 до 1100 °C при гасификацији ваздухом, док су при гасификацији кисеоником температуре од 1000 до 1400 °C. Реакције гасификације су егзотермне, осим приликом гасификације паром, када су у питању ендотермне реакције. Пара се углавном додаје као допуна кисеонику у циљу контроле температуре.

До сада су у свету развијени различити системи за гасификацију отпада. Генерално се сви они разликују по својој сврси, односно по томе да ли је циљ гасификације искоришћење енергије или материјала из продуката гасификације [13]. Технолошки, систем за гасификацију се, као и код инсинерације састоји из три дела: постројења за гасификацију, постројења за искоришћење енергије из отпада и система за контролу емисије продуката сагоревања. Постројења за гасификацију могу бити: са вертикалним ложиштем; са хоризонталним ложиштем; са флуидизованим слојем и са ротирајућим ложиштем [13].

У табели 2.6 приказан је преглед предности и недостатака третмана отпада гасификацијом са економског, друштвеног и аспекта заштите животне средине.

Табела 2.6 Предности и недостаци гасификације са аспекта одрживости [21]

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са аспекта животне средине	
Мања емисија диоксида	Немогућност третмана свих врста отпада
Са економског аспекта	
Боља ефикасност система	Потреба за хомогеним отпадом, што захтева предтретман отпада и повећава трошкове третмана
Мања потреба за пречишћавањем издувних гасова	Потреба за сложенијом контролом процеса, јер се јављају проблеми са шљаком и производњом чађи, због виших радних температура
Нижи инвестициони трошкови због мањег постројења	
Са друштвеног аспекта	
Мања опасност од загађења у случају акцидента	Бука и непријатни мириси
	Потреба за малим бројем запослених за опслуживање постројења
	Недовољна друштвена прихваћеност

2.2.3 Пиролиза

Пиролиза је термички третман отпада у одсуству кисеоника при чему се добија гасовита, течна и чврста фракција. Реакције пиролизе су ендотермне, па је приликом одвијања процеса потребно доводити топлоту, али је могуће користити добијене гасовите или течне фракције из самог процеса као гориво.

Састав фракција које се добијају пиролизом је следећи [13]:

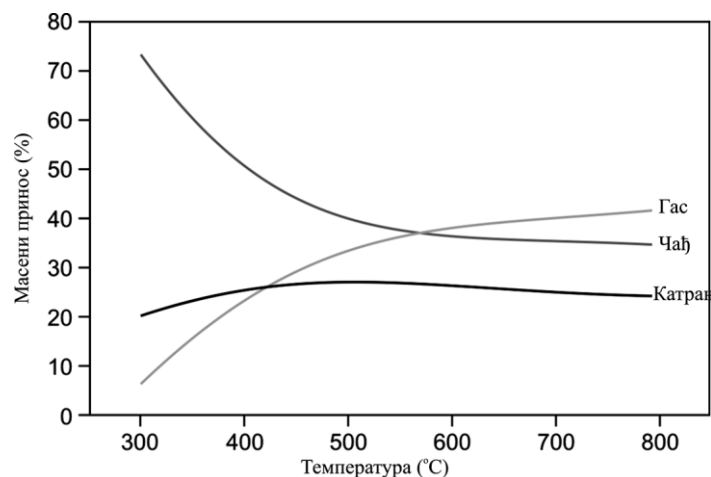
1. Гасовита фракција садржи H_2 , CH_4 , CO , CO_2 и различите врсте гасова у траговима зависно од састава отпада. Просечан састав гасовите фракције је 5% CH_4 , 40% CO , 23% CO_2 и 26% H_2 . Гасовита фракција се може добити у износу од 20 до 50 % у односу на улазну количину отпада. Топлотна моћ гасовите фракције креће се од 3.000 до 12.000 kJ/Nm^3 .

2. Течна фракција се састоји од катрана или уља који садрже сирћетну киселину, ацетон, метанол и комплексне угљоводонике. Течна фракција може се добити у износу од 30 до 50 % у односу на улазну количину отпада. Топлотна моћ течне фракције креће се од 5.000 до 15.000 kJ/kg . Уз додатно процесирање, течна фракција се може користити као синтетичко уље.

3. Чврста фракција се састоји из чађи и инертних материја из отпада. Количина чврсте фракције може бити од 20 до 50 % у односу на улазну количину отпада, а може садржати 10 до 50 % пепела. Топлотна моћ чађи у чврстој фракцији креће се од 10.000 до 35.000 kJ/kg.

Количина и топлотна моћ продуката пиролизе, такође зависе од састава отпада. Велике количине и високе вредности топлотне моћи фракција могу се добити приликом пиролизе отпадне гуме и отпада од биомасе. Пиролизом отпадне пластике и гуме добијају се веће количине гасовите и течне фракције, док се пиролизом мешаног отпада добија већа количина чађи и инертних материја [13].

Количина продуката која се добија пиролизом зависи од услова под којима се процес одвија, посебно од температуре на којој се процес одвија и брзине загревања. Врло споро загревање са ниском температуром резултира стварањем веће количине чађи. Умерена брзина загревања и максимална температура до 600 °C даје исту количину гасовите, течне и чврсте фракције (конвенционална или спора пиролиза). Врло брзим загревањем до температура испод 650 °C уз нагло хлађење ствара се претежно течна фракција (брза или блиц пиролиза). Брзим загревањем на високим температурама течне фракције нагло прелазе у гасовите. На слици 2.4 приказана је зависност удела продуката пиролизе од температуре процеса.



Слика 2.4 Удео продуката пиролизе у зависности од температуре [13]

У табели 2.7 приказан је преглед предности и недостатака третмана отпада пиролизом са економског, друштвеног и аспекта заштите животне средине.

Табела 2.7 Предности и недостаци пиролизе са аспекта одрживости [22].

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са аспекта животне средине	
Нижа радна температура процеса	Немогућност третмана свих врста отпада
Нема додатног ваздуха и мање отпадних гасова, што доводи до мањег загађења околине	Повећан садржај тешких метала и токсичних органских компонената због нижих температуре реакција
Са економског аспекта	
Продукти се могу користити у самом процесу пиролизе, па је процес енергетски независан	Потреба за уситњавањем и хомогенизацијом отпада
Нижи инвестициони трошкови у односу на инсинерацију	Лоше енергетско искоришћење због повећаног садржаја кокса и несагорелог угљеника
Флексибилније вођење процеса	
Са друштвеног аспекта	
	Потреба за малим бројем запослених за опслуживање постројења
	Недовољна друштвена прихваћеност

2.2.4 Плазма процес

Једна од алтернативних технологија за третман отпада јесте плазма процес (енергија ослобођена електричним пражњењем у инертној атмосфери) [23]. Овим процесом постижу се врло високе температуре при третману отпада од 5.000°C до 15.000°C. Услед високе температуре долази до разлагања органских материја из отпада и топљења неорганских материја. Отпад се разлаже на скоро елементарни састав и трансформише у друге материје од којих су неке корисни производи. Органске материје се претварају у синтетички гас богат водоником (H_2) и угљенмоноксидом (CO), а неорганске у инертну стакласту шљаку. У гасовитој фази долази до интензивног разлагања органских молекула, што готово у потпуности елиминише штетне емисије.

Просечни састав синтетичког гаса је: 55% H_2 , 33% CO , 9% CO_2 , 2% CH_4 и 1% O_2 [23]. Произведени синтетички гас има на излазу температуру око 1.400 °C, и његова топлота се може користити за производњу енергије (електричне, топлотне итд), а сам гас (због своје чистоће) као погонско гориво у моторима са унутрашњим сагоревањем. Неорганске материје се након топљења витрификују, тако да се могу употребити као додатак грађевинском материјалу или се могу безбедно одложити.

Плазма процес је ендотермни процес, али се електрична енергија произведена употребом добијеног синтетичког гаса може повратно користити у самом процесу. У просеку, плазма конвертер троши 1/3 произведене електричне енергије за сопствене потребе [24].

Постројења која користе плазма процес најчешће се користе за третман опасног отпада, пошто се развијањем високих температура уништавају све опасне компоненте отпада. Предности и недостати плазма процеса за третман отпада са економског, друштвеног и аспекта заштите животне средине приказане су у табели 2.8.

Табела 2.8 Предности и недостаци плазма процеса са аспекта одрживости [24].

ПРЕДНОСТИ		НЕДОСТАЦИ	
Са аспекта животне средине			
Мала емисије штетних материја због високих температура процеса и разлагања отпада на елементарни састав			
Може се користити за третман свих врста отпада			
Витрификован нус производ је стерилан и инертан			
Ефикасан процес за третман опасног отпада			
Са економског аспекта			
Продукти се могу користити у самом плазма процесу, па је процес енергетски независан		Потреба за великом количином електричне енергије	
Витрификован нус производ се може користити као додатак грађевинском материјалу		Високи инвестициони и оперативни трошкови	
Са друштвеног аспекта			
Потреба за малим бројем запослених за опслуживање постројења			

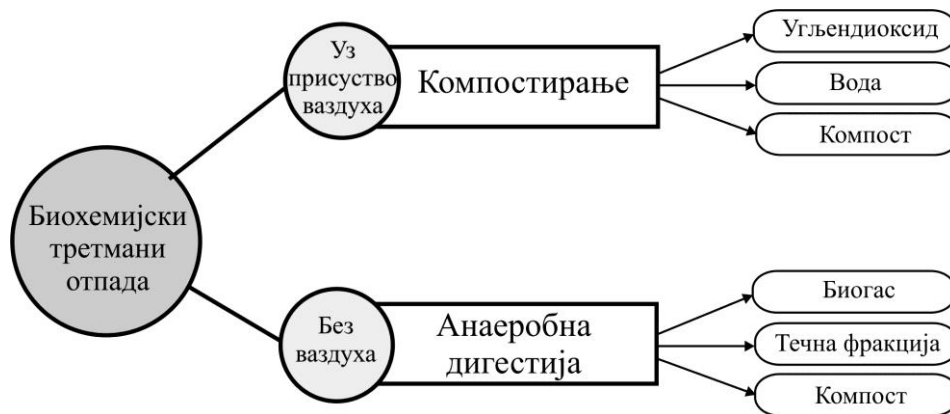
2.3 Методе биохемијског третмана отпада

Под биохемијским третманом отпада подразумева се разградња органског отпада под дејством микроорганизама (бактерија и гљивица). Све биохемијске третмане отпада карактерише стабилизација отпада, уништавање патогених микроорганизама у отпаду и добијање различитих продуката биохемијских процеса.

Биохемијски третмани отпада се, као и термички, могу поделити на основу количине ваздуха која учествује у реакцијама:

- 1) **анаеробни третман (анаеробна дигестија)** – биохемијски третман без присуства ваздуха;
- 2) **аеробни третман (компостирање)** – биохемијски третман уз присуство ваздуха.

Применом биохемијских третмана добијају се различити производи биохемијских реакција. На слици 2.5 приказани су производи који се добијају биохемијским третманима отпада.



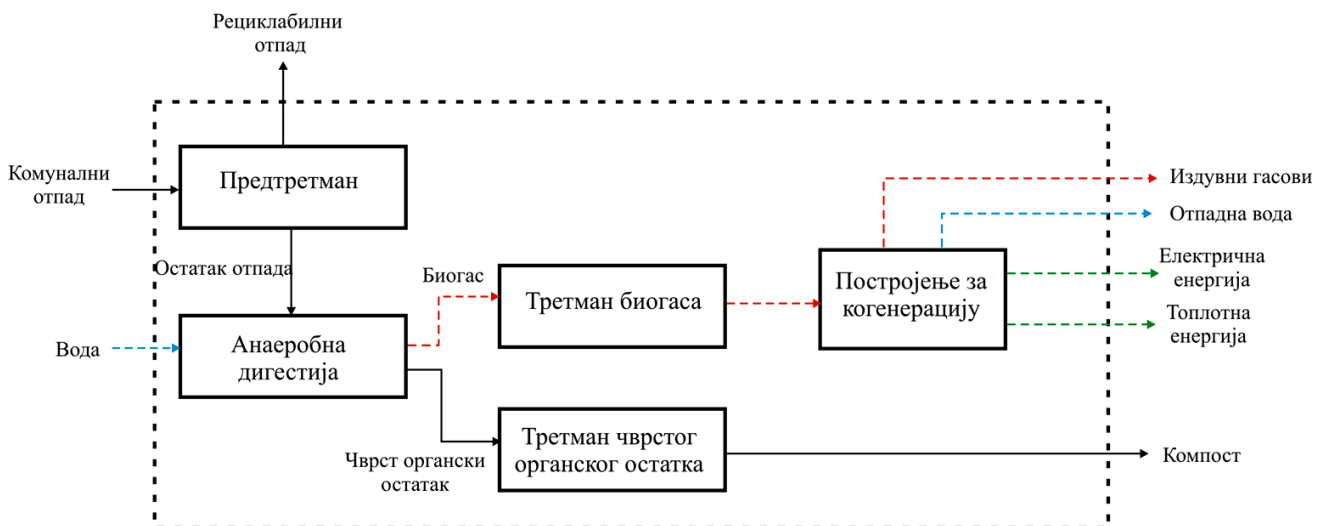
Слика 2.5 Продукти у биохемијским третманима отпада

2.3.1 Анаеробна дигестија

Анаеробна дигестија је биохемијски процес при коме се у одсуству кисеоника и под дејством анаеробних бактерија органски отпад разлаже и преводи у биогас и чврст органски остатак (органско ђубриво) [25]. Биогас који настаје у процесу анаеробне дигестије се састоји од 55–65% CH_4 и 35–45% CO_2 , као и 1% малих количина H_2S и NH_3 и других гасова у траговима [26]. Из 1 t органског отпада генерише се 100–350 m^3 биогаса, топлотне моћи 20.000–25.000 kJ/Nm^3 [27]. Од свих биохемијских третмана отпада, анаеробна дигестија је најчешће примењивана и најисплативија метода, због количине енергије која се добија и због најмањег негативног утицаја на животну средину [28].

Биогас добијен у процесу анаеробне дигестије може се користити за добијање електричне и/или топлотне енергије у топланама и постројењима за когенерацију. Такође се након пречишћавања и издвајања CO_2 , овако добијени гас богат метаном (95–98% CH_4) може користити као гориво у моторима са унутрашњима сагоревањем [29].

Технолошки, третман анаеробном дигестијом може се поделити у четири фазе: предтретман, дигестија, третман биогаза у циљу повећања његовог квалитета, третман органског остатка [13]. Третман отпада анаеробном дигестијом почиње селекцијом отпада у циљу уклањања непожељног отпада (слика 2.6). Након хомогенизације отпад се уводи у дигестор где се задржава од две до четири недеље. У овом процесу генерише се биогаз, а као остатак ствара се влакнаста фракција (дигестат) и течна фракција (течно ђубриво). Произведени биогаз се користи за добијање енергије, а дигестат, који чине неразграђене испарљиве чврсте материје и пепео, се подвргава даљем аеробном сазревању и сушењу, у циљу производње стабилног материјала (компоста). Течна фракција, која је углавном у облику растворених испарљивих материја и карбоксилатних соли, се поново уводи у дигестор у циљу одржавања захтеваног нивоа влаге или се одводи до постројења за пречишћавање отпадних вода на даљи третман [30].



Слика 2.6 Блок шема третмана отпада анаеробном дигестијом

Постројења за анаеробну дигестију могу се технолошки поделити на основу четири основне карактеристике процеса дигестије: садржаја влаге, температуре, броја фаза у процесу и броја етапа, као што је приказано у табели 2.9. Највећи број постројења за анаеробну дигестију који се данас у свету користе су сува, термофилна, једноступена и једнофазна постројења са временом задржавања отпада у дигестору 14–20 дана [31].

Табела 2.9 Врсте процеса анаеробне дигестије [13]

Садржај влаге	Температура	Фазе процеса	Етапе процеса
Мокра (> 90% влаге)	Термофилна (53 – 55 °С)	Једнофазна	Једностепенa
Сува (< 75% влаге)	Мезофилна (35 – 37 °С)	Вишефазна	Двостепенa

Технолошки процес анаеробне дигестије условљен је постојањем и испуњавањем одговарајућих услова како би се постигао резултат са вишим степеном разградње органских материја и задовољавајући квалитет и принос биогаса. Основни технолошки услови за процес анаеробне дигестије су: крупноћа и врста материјала, температура у току процеса (зависи од врсте процеса), притисак у дигестору, рН вредност (оптимална вредност 6,8–7,2), квалитет метанских бактерија, безкисеонична атмосфера дигестора, време задржавања супстрата у дигестиру (15–20 дана за мезофилне и 12–14 дана за термофилне дигесторе), однос угљеника и азота у супстрату (C/N) (оптимална вредност 20/1–30/1), мешање супстрата у дигестору, однос суве органске материје и воде у супстрату (зависи од врсте процеса) [13; 32].

Анаеробном дигестијом могу се третирати различите органске фракције комуналног, индустријског, пољопривредног отпада. У табели 2.10 приказане су категорије отпада које су погодне за третман анаеробном дигестијом и карактеристичне вредности приноса биогаса по појединим фракцијама [33].

Табела 2.10 Фракције отпада погодне за третман анаеробном дигестијом.

Фракције отпада погодне за анаеробну дигестију	Принос биогаса (m ³ /t)
Папир и картон	580
Отпад од хране	700
Отпад из дворишта	450–550
Пијачни отпад	350–450
Отпад од чишћења улица	490
Муљеви из постројења за прераду отпадних вода	300–500
Органски отпад са фарми	300–420

Када се чврст мешани комунални отпад третира у анаеробним дигесторима, претходно је неопходно извршити селекцију отпада, односно морају се уклонити стакло, пластика, метал и остали неоргански отпад.

С обзиром да постројења за анаеробну дигестију нису отворени реактори, емисије у ваздух и воду су мале и јављају се као индиректне емисије: а) емисије у ваздух приликом сагоревања биогаса; б) дифузне емисије у ваздух приликом цурења течне фракције или третмана чврстог остатка које могу бити непријатног мириса; ц) емисије

у ваздух, воду и земљиште из дигестата. У прилогу 9.1, табела 9.3 приказане су просечне вредности директне емисије у ваздух и воду по тони отпада, постројења за анаеробну дигестију отпада.

Инвестициони трошкови постројења за анаеробну дигестију крећу се од 200 до 1000 €/t отпада зависно од врсте процеса дигестије, док оперативни трошкови износе од 15 до 40 €/t отпада [5].

Имајући у виду аспекте заштите животне средине, економске и друштвене услове може се направити анализа предности и недостатака третмана отпада анаеробном дигестијом (табела 2.11).

Табела 2.11 Предности и недостаци анаеробне дигестије са аспекта одрживости

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са аспекта животне средине	
Велико смањење запремине органског отпада коју треба одложити на депонију (~100 %)	Постојање ризика од негативног утицаја патогеног отпада са фарми који се третира
Велика уштеда у емисији гасова са ефектом стаклене баште	
Са економског аспекта	
Могућност остваривања прихода продајом произведене електричне енергије и произведеног органског остатка као ђубриво	Могућност третмана само органског дела отпада
	Високи инвестициони и оперативни трошкови
	Потреба за додавањем велике количине воде (за мокру дигестију)
	Потреба за селекцијом и предтретманом отпада што повећава трошкове
Са друштвеног аспекта	
Већа друштвена прихваћеност третмана у односу на термичке третмане отпада	Потреба за примарном селекцијом отпада што захтева активно укључивање становништва

2.3.2 Компостирање

Компостирање је биолошко разлагање и стабилизација органског отпада, под условима који омогућавају развој термофилних микроорганизама, уз ослобађање топлоте настале током биолошких процеса, при чему се као резултат добија продукт који је стабилан, без патогена и без семена биљака, а који је погодан за примену на земљишту [34]. Компостирање је саставни део интегрисаног система управљања отпадом. Теоријски, компостирање се може применити за третман 10–30% комуналног чврстог отпада [34].



Током одигравања процеса се, под дејством микроорганизама ослобађа топлота, емитује CO_2 , долази до испаравања воде, а као резултат целог процеса настаје релативно стабилан хумус без непријатних мириса. Када је процес разградње завршен, запремина третираног органског отпада се смањује за 20 до 60%, а маса и до 50%. Садржај воде је мањи за 40%, рН вредност је око 7, а однос C/N треба да буде испод 20/1. Непријатни мириси, који се обично јављају на почетку процеса, нестају. Просечно, из 1 t органског отпада, након обраде, може се добити око 415 kg компоста захтеване финоће [35].

Технолошки процес компостирања условљен је испуњавањем одговарајућих услова како би се постигао резултат са вишим степеном разградње органских материја. Основни технолошки услови за процес компостирања су: крупноћа (оптимална вредност 5–50 mm) и врста материјала, засејавање микроорганизама и мешање, одговарајући распоред мешања, укупна потреба за кисеоником (16%–18,5%), садржај воде (оптимална вредност 50–60%), температура (оптимална вредност 55–60 °C) и контрола температуре, однос C/N у отпаду који се компостира (оптимална вредност 25/1–30/1), рН вредност (оптимална вредност 6,5–8,5), степен разлагања, коефицијент респирације и контрола патогених микроорганизама [13].

Три основне методе компостирања које се данас користе могу се класификовати као: статичке методе, методе са агитацијом и компостирање у суду [36]. Код статичке методе материјал који се компостира се не помера, а ваздух се удубава кроз материјал. Код агитационог метода, материјал који се компостира се окреће с времена на време да би се обезбедио кисеоник, контролисала температура, те да се захваљујући мешању добије униформан производ. Код компостирања у суду, процес се обавља унутар затворене посуде (ротационог бубња). Овај систем је пројектован тако да се минимизира настајање непријатних мириса и време процесирања контролом услова одигравања процеса, као што су проток ваздуха, температура и концентрација кисеоника, што доводи до виших трошкова третмана у односу на остале методе компостирања. Без обзира која од метода компостирања се користи, принципијелна шема компостирања је слична (слика 2.7).



Слика 2.7 Блок шема токова отпада и емисија приликом компостирања

Одређене органске фракције комуналног и индустријског отпада се могу компостирати. У табели 2.12 приказане су органске фракције отпада које су погодне за третман компостирањем, с обзиром на садржај угљеника и азота, као и однос C/N појединих фракција.

Табела 2.12 Фракције отпада погодне за третман компостирањем

Фракције отпада погодне за компостирање	C (%)	N (%)	Однос C/N
Отпад од хране биљног порекла (који није термички обрађен)	48,0	2,6	25,0–34,0
Отпад из дворишта	47,8	3,4	20,0
Остали биоразградиви отпад (коса, длака, слама, пиљевина, иверје)	48,0	0,13	15,0
Пијачни отпад	48,5	1,5	30,0
Папир и картон (осим новинског папира)	43,5	0,3	173,0
Отпад од чишћења улица	26,0	1,88	15,7
Муљеви из постројења за прераду отпадних вода	26,3	5,6	6,3

Органски отпад који се третира компостирањем, мора да прође кроз предтретман који се састоји од следећих корака: уклањање контаминирајућег и рециклабилног отпада, уситњавање отпада и комбиновање различитих фракција у циљу подешавања неких карактеристика отпада (нпр. однос C/N) [34].

Гасовити продукти који се емитују у ваздух приликом компостирања састоје се од CO₂, CH₄, NH₃, N₂O, честица и биоаеросола [13]. Такође се приликом компостирања јављају и течне емисије које се састоје од процедурних вода (при компостирању на



отвореном), влаге из отпада и воде која се додаје у циљу регулисања садржаја влаге у компосту. Процедне воде карактеришу релативно високе вредности биолошке потрошње кисеоника (БПК) (просечно 672 g/t) и хемијске потрошње кисеоника (ХПК) (просечно 1032 g/t). У прилогу 9.1, табела 9.4 приказане су просечне вредности директне емисије у ваздух и воду по тони отпада, приликом компостирања отпада.

Инвестициони трошкови постројења за компостирање на отвореном (статичке методе, методе са агитацијом) крећу се од 150 до 350 €/t отпада а за компостирање у суду од 160 до 940 €/t отпада. Оперативни трошкови постројења за компостирање на отвореном (статичке методе, методе са агитацијом) износе од 15 до 55 €/t отпада, а за компостирање у суду од 18 до 65 €/t отпада [5; 37].

У табели 2.13 приказан је преглед предности и недостатака третмана отпада компостирањем са аспекта заштите животне средине, економског и друштвеног аспекта.

Табела 2.13 Предности и недостаци компостирања са аспекта одрживости

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са аспекта животне средине	
Велико смањење запремине органског отпада коју треба одложити на депонију	Непријатни мириси (осим код компостирања у суду)
Уништење патогених микроорганизама	Потреба за великом површином замљишта (осим код компостирања у суду)
Повећање нутритивних карактеристика	Емисија CH ₄ , NH ₃ и испарљивих органских једињења (осим код компостирања у суду)
Могућност коришћења у органској производњи пољопривредних производа	Стварање процедних вода (осим код компостирања у суду)
Са економског аспекта	
Могућност остваривања прихода продајом произведеног компоста	Велико варирање тржишне цене компоста у зависности од понуде и потражње
	Могућност третмана само термички необрађеног органског дела отпада
	Потреба за селекцијом и предтретманом отпада што повећава трошкове
	Потребан дужи временски период за третман отпада
Са друштвеног аспекта	
Већа друштвена прихваћеност третмана у односу на термичке третмане отпада	Потреба за селекцијом отпада што захтева активно укључивање становништва

2.4 Методе механичког третмана отпада

Основни предуслов за примену механичког третмана отпада, односно рециклаже је претходна селекција и сепарација рециклабилних фракција отпада. У овом поглављу биће истакнути само основни принципи рециклаже и препознате опште предности и недостаци механичког третмана отпада са аспекта одрживости, не улазећи у анализу појединачних поступака рециклаже за различите фракције отпада, с обзиром да се оне значајно разликују по примењеној технологији, утицају на животну средину, трошковима итд. Посебна пажња ће бити посвећена сепарацији рециклабилног отпада обзиром да је овај третман интегрални део сваког система управљања отпадом, као и део механичко-биолошког третмана отпада.

2.4.1 Рециклажа

Рециклажа је поновна прерада отпадних материјала у производном процесу за првобитну или другу намену, осим у енергетске сврхе. То је издвајање појединих компонената отпада ради њихове корисне употребе: враћање у процес производње истог материјала (метал, стакло, папир, гума), секундарна сировина у другим производним процесима (ПЕТ амбалажа, изолациони материјал, текстил), након обраде поновно коришћење предмета (стаклене боце, електронски уређаји). Рециклажа је, такође саставни део сваког интегралног система управљања отпадом. Рециклабилне фракције отпада и њихов степен рециклабилности (однос количине добијене секундарне сировине и улазне количине фракције отпада) приказане су у табели 2.14.

Табела 2.14 Рециклабилни отпад

Рециклабилне фракције отпада	Степен рециклабилности* (%)
Папир и картон	40–60
Стакло	50–80
Пластика	30–70
Метал	70–95
Алуминијум	85–90
Гвожђе, легуре гвожђа	80–95
Електрични и електронски отпад**	–
Текстил	50–70
Гума	70–80
Уља	30–55

* Приказане вредности односе се на први циклус рециклаже

** Степен рециклабилности електричног и електронског отпада зависи од врсте отпада

Поступак рециклаже се разликује у зависности од фракције која се рециклира по ефикасности, утицају на животну средину, потрошњи енергије, технологији рециклаже, трошковима итд. У табели 2.15 приказан је преглед генералних предности и недостатака третмана отпада рециклирањем са економског, друштвеног и аспекта заштите животне средине.

Табела 2.15 Предности и недостаци рециклаже са аспекта одрживости

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са аспекта животне средине	
Смањење запремине отпада коју треба одложити на депонију	Могућност третмана само рециклабилних фракција отпада
Смањење емисије ГХГ гасова	
Штедња сировинских ресурса	
Штедња енергетских ресурса	
Са економског аспекта	
Могућност остваривања прихода продајом секундарних сировина добијених рециклажом	Потреба за селекцијом отпада што повећава трошкове
Са друштвеног аспекта	
Већа друштвена прихваћеност третмана односу на термичке третмане отпада	Потреба за селекцијом отпада што захтева активно укључивање становништва
Потреба за великим бројем запослених за опслуживање постројења	

2.4.2 Сепарација рециклабилног отпада

Без обзира да ли је у систему интегрисаног управљања отпадом уведена примарна селекција отпада (селекција отпада на извору генерисања) или није, у циљу рециклаже отпада, неопходно је вршити издвајање рециклабилних фракција отпада у постројењу за сепарацију рециклабилног отпада.

Постројење за сепарацију рециклабилног отпада је у данашње време саставни део сваког интергалног система управљања отпадом, најчешће се користи у циљу побољшања квалитета фракције која се шаље на рециклажу или побољшање ефикасности или стабилности биохемијског или термичког третмана отпада [13].

Функција постројења за сепарацију рециклабилног отпада зависи од следећих аспеката [38]:

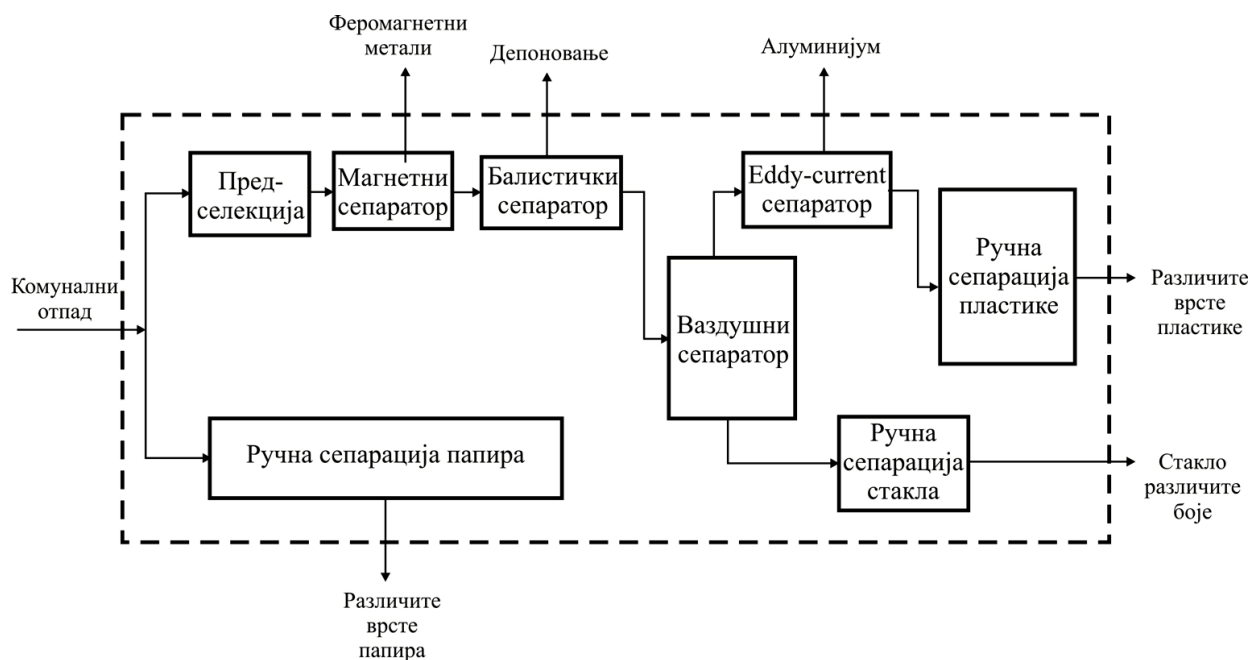
- улоге постројење за сепарацију рециклабилног отпада у интегрисаном систему управљања отпадом,
- врсте материјала која се селекује и издваја,

- форме у којој се отпад допрема до постројења (да ли претходно вршена примарна селекција отпада),
- начина паковања и складиштења процесираниог материјала који се шаље на даљу рециклажу.

Из функције постројења за сепарацију рециклабилног отпада произилази и тип постројења. Генерално, ова постројења се по својим карактеристикама деле на [13]:

- постројења за сепарацију једне фракције отпада,
- постројења за сепарацију примарно селектованог отпада,
- постројења за сепарацију мешаног отпада,
- постројења за сепарацију мешаног отпада у комбинацији са биолошким третманом отпада.

Постројење за сепарацију мешаног отпада је постројење које служи за селекцију и сепарацију отпада на коме претходно није вршена примарна селекција или остатка отпада након извршене примарне селекције [13]. Циљ увођења оваквог постројења је издвајање рециклабилног отпада (пластика, папир, метал, стакло, гума) чије се фракције даље шаљу на рециклажу или се неке од њих користе у термичким третманима отпада, док се остатак (углавном органски) користи у биохемијским третманима отпада. У оваквом постројењу се може издвојити 5–45% рециклабилног материјала из мешаног отпада.



Слика 2.8 Блок шема токова отпада прилоком процеса сепарације мешаног отпада

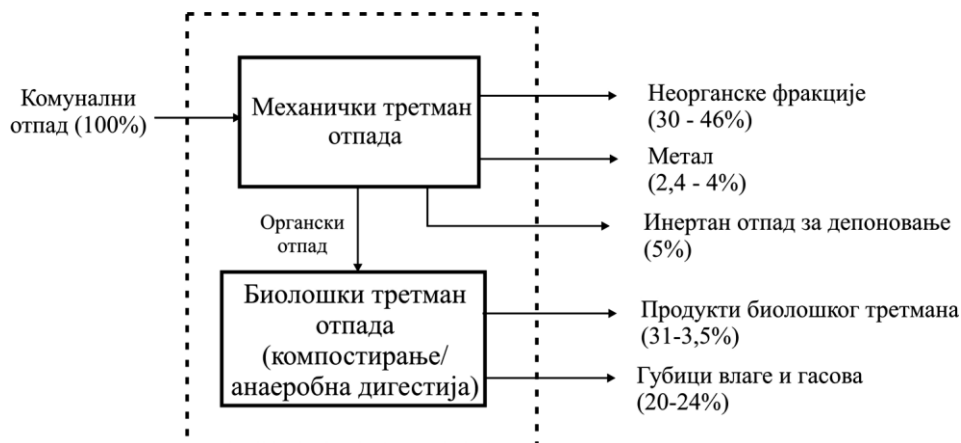
Постројење за сепарацију мешаног отпада састоји се од више различитих елемената, као што је приказано на слици 2.8. Балистички и ваздушни сепаратори се користе за уклањање прашине и пепела, магнетни сепаратори се користе за издвајање феромагнетних материјала, док се „Eddy-current“ сепаратори користе за издвајање осталих метала из отпада. Различите врсте сита служе за сепарацију отпада на основу димензија (дводимензионална – за сепарацију папира и картона и тродимензионална – за остали отпад). Ручна сепарација најчешће служи за издвајање различитих врста пластике (PET, HDPE, PVC...).

2.4.3 Механичко – биолошки третман отпада

Као што само име третмана сугерише, механичко-биолошки третман отпада (МБТ) комбинује механички третман (сепарација рециклабилних фракција отпада) са биолошким третманима (компостирање, анаеробна дигестија). Генерално, до сада су развијене две врсте МБТ [13]:

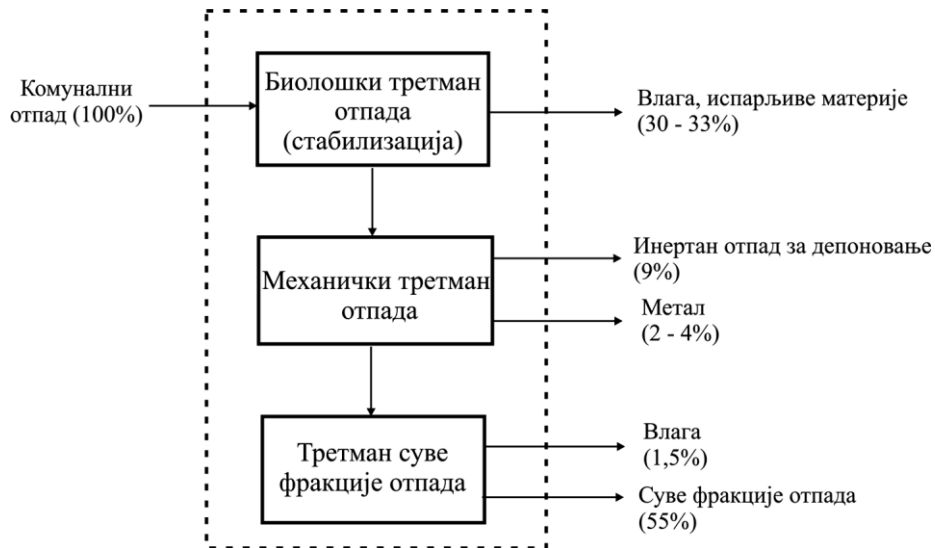
- механичко-биолошки предтретман (МБП) и
- механичко-биолошка стабилизација или биосушење (МБС).

Приликом механичко-биолошког предтретмана (МБП) у првој фази се врши издвајање органског од неорганског отпада, односно фракција отпада који се даље шаљу на рециклажу или користе као енергент (папир, дрво, пластика метал) и инертног материјала који се депонује, док се у другој фази остатак, који чини органски отпад, третира у биохемијским третманима (компостирање, анаеробна дигестија). Мали проценат отпада се депонује. На слици 2.9 приказан је материјални биланс постројења за механичко-биолошки предтретман.



Слика 2.9 Материјални биланс постројења за механичко-биолошки предтретман [13]

Приликом механичко-биолошке стабилизације (МБС) се у првој фази врши биолошка стабилизација, односно брзо сушење отпада у циљу смањења процента влаге у отпаду, а затим се у другој фази издвајају фракције отпада као што су метал и инертни материјали. Остатак отпада се користи као енергент у термичким третманима. На слици 2.10 приказан је материјални биланс постројења за механичко-биолошку стабилизацију.



Слика 2.10 Материјални биланс постројења за механичко-биолошку стабилизацију [13]

Обзиром да је у питању комбинација више третмана отпада, утицај механичко-биолошких третмана на животну средину отпада зависи од примењених метода. У прилогу 9.1, табела 9.5 приказане су просечне вредности директне емисије у ваздух и воду по тони отпада, постројења за механичко-биолошки третман отпада.

2.5 Депоновање

Депоновање такође представља саставни део сваког интегралног система управљања отпадом, пошто сваки третман отпада као крајњи резултат има одређену количину остатака које треба одложити на депонију. Депоновање је, историјски гледано, најстарији начин збрињавања отпада, а у данашње време, нарочито у земљама у развоју, још увек најчешћи, а негде и једини начин третмана отпада. Отпад се данас одлаже на дивља сметлишта, али и на санитарне и добро контролисане депоније. С обзиром да је у хијерархији интегралног управљања отпадом, депоновање најнепожељнији начин збрињавања отпада [7], данашња законска регулатива је усмерена на ограничавање количина отпада који се депонује, а такође и на строже

услове за изградњу и мониторинг рада депонија, као и врсте отпада које се могу одложити на депоније [39; 40].

Депоноване је процес одлагања чврстог отпада на депонију и укључује мониторинг отпада који се одлаже, одлагање и компактирање отпада и инсталацију постројења за контролу и праћење утицаја на животну средину (систем за сакупљање и искоришћење депонијског гаса, систем за сакупљање и пречишћавање процедурних вода, мерна места за праћење емисија у ваздух, воду и земљиште). Депонија је место за одлагање отпада на површини или испод површине земље где се отпад одлаже укључујући: интерна места за одлагање (депонија где произвођач одлаже сопствени отпад на месту настанка), стална места (више од једне године) која се користе за привремено складиштење отпада, осим трансфер станица и складиштења отпада пре третмана или поновног искоришћења (период краћи од три године) или складиштења отпада пре одлагања (период краћи од једне године) [41]. Санитарна депонија је место за одлагање чврстог отпада пројектовано да ради тако да има најмањи негативан утицај на људско здравље и животну средину [8].

Депоније се најчешће класификују по врсти отпада која се депонује на [39]:

- депоније за комунални отпад,
- депоније за опасан отпад и
- депоније за инертан отпад.

Приликом депоновања отпада одигравају се различити хемијски, биолошки и физички процеси: растварање отпадног материјала у атмосферским падавинама и стварање процедурних вода, стварање депонијског гаса, разлагање органских једињења, оксидација метала, аеробна и анаеробна дигестија, дифузија депонијског гаса итд [8].

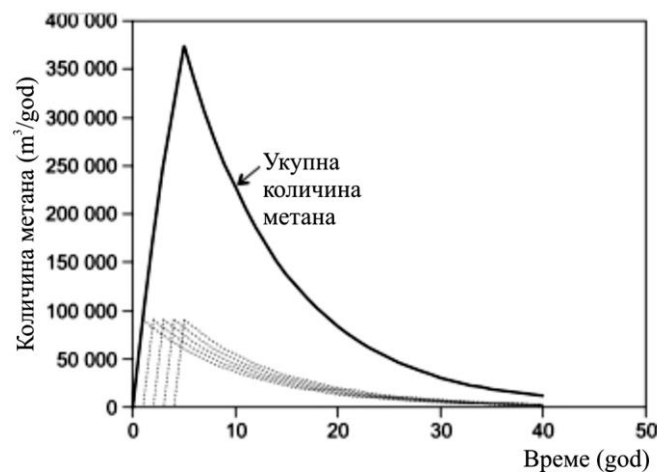
Највећи проблеми са аспекта животне средине, који се јављају код депоновања отпада је стварање депонијског гаса и процедурних вода. Депонијски гас настаје анаеробним распадањем органског отпада и састоји се од 45–60 % CH_4 , 40–60 % CO_2 , 2–5% N_2 и осталих гасова (O_2 , H_2 , NH_3 , CO , H_2S итд.) у траговима [8]. Количина депонијског гаса која се ствара зависи од много фактора: састава отпада, старости отпада, количине кисеоника, количине влаге и температуре. Просечна количина депонијског гаса износи 100–200 m^3/t отпада. За процену количине метана у депонијском гасу која се генерише у одређеном периоду, најчешће се користи FOD методологија (модел распадања првог реда) коју је развила Међународна организација

за климатске промене Уједињених нација [42] и која узима у обзир временски аспект одлагања отпада. Ова методологија је представљена једначином 2.3:

$$G = W L_o (e^{-kc} - e^{-kt}) \quad (2.3)$$

где је: G – количина генерисаног метана из целокупне количине отпада која је одложена на депонију ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{god}$); W – годишња количина депонованог отпада (t/god); L_o – принос метана ($\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t}$); k – период распада отпада ($1/\text{god}$); c – време од када је престало одлагање отпада; t – период година од када је депонија почела да прима отпад.

На слици 2.11 приказана је зависност количине генерисаног депонијског гаса од времена одлагања отпада.

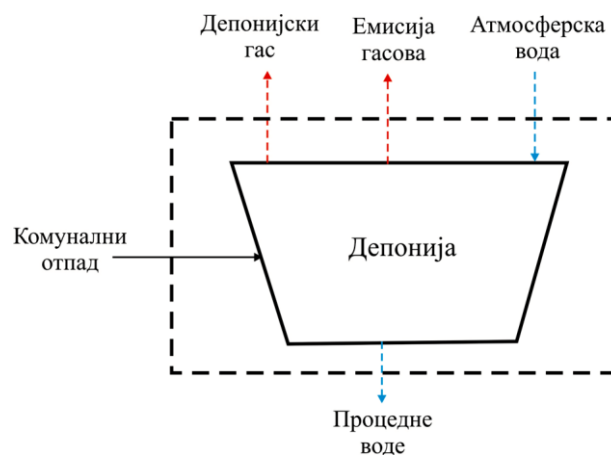


Слика 2.11 Зависност количине генерисаног депонијског гаса од времена одлагања отпада

Период стварања депонијског гаса превазилази време коришћења депоније: депоније се користе 25–30 година, а депонијски гас се ствара и у периоду до 100 година након одлагања отпада [13].

Због негативног утицаја депонијског гаса на животну средину: запаљивост и експлозивност, непријатни мириси, као и чињенице да су његове компоненте гасови са ефектом стаклене баште, као и да оштећује вегетацију [13], неопходно је постављање система за сакупљање депонијског гаса. Депонијски гас се, због високе топлотне моћи метана ($34 \text{ MJ}/\text{m}^3$), може користити као енергент, најчешће за добијање електричне и/или топлотне енергије (у гасним моторима, когенеративним постројењима, топланама итд.) [13].

Процедне воде су атмосферске воде у којима је растворен отпадни материјал. У процедурним водама се могу наћи, у зависности од састава отпада и старости депоније, растворена различита органска, неорганска једињења и тешки метали (Pb, Zn, Cd, Cr, Hg) [43] и због тога је неопходно постављање система за сакупљање и пречишћавање процедурних вода. Уколико претходно на депонији није постављен систем за сакупљање процедурних вода и њихово пречишћавање, процедурне воде се не могу контролисати и могу допрети до подземних вода и на тај начин негативно утицати на квалитет воде у водотоковима и квалитет земљишта. У прилогу 9.1, табела 9.6, приказане су просечне вредности директне емисије у ваздух и воду по тони отпада, приликом депоновања отпада. На слици 2.12 приказани су токови емисија у ваздух и воду приликом депоновања отпада.



Слика 2.12 Блок шема токова емисија у ваздух, воду и земљиште приликом депоновања отпада

Инвестициони трошкови депоновања крећу се од 11 до 75 €/t отпада, док оперативни трошкови износе од 5 до 50 €/t отпада [5; 37].

У табели 2.16 приказан је преглед генералних предности и недостатака депоновања са економског, друштвеног и аспекта заштите животне средине.

Табела 2.16 Предности и недостаци депоновања са аспекта одрживости

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са аспекта животне средине	
Могућност одлагања свих врста отпада	Потребна велика површина земљишта
Не постоји потреба за другим третманима отпада	Неконтролисано настајање депонијског гаса и процедурних вода
	Емисија гасова са ефектом стаклене баште
	Непријатни мириси
	Мало смањење запремине отпада



ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Са економског аспекта	
Нижи трошкови у односу на друге третмане отпада	Потреба за предtretманом опасног отпада пре депоновања
Не постоји потреба за селекцијом отпада што смањује трошкове	Немогућност остваривања прихода продајом секундарних сировина
	Високи почетни инвестициони трошкови
Са друштвеног аспекта	
	Трајно заузимање велике површине земљишта

3 ИНДИКАТОРИ КАО КРИТЕРИЈУМИ ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ

3.1 Одрживи развој

Са повећањем броја становника, убрзаним економским и технолошким развојем и повећањем животног стандарда, значајно се смањује количина природних и енергетских ресурса на планети. С друге стране, негативни утицаји људских активности на животну средину су све интензивнији, а такође се свакодневно повећава количина отпада која се генерише. Потреба за успостављањем равнотеже између економског и технолошког развоја и повећања животног стандарда са порастом броја становника и трошењем природних и енергетских ресурса створила је основу за потпуно нов приступ развоју човечанства – одрживи развој.

Овакав приступ развоју је, у извештају Уједињених нација „Наша заједничка будућност“ [44], дефинисан као „развој којим се иде у сусрет потребама садашњости тако да се не угрожава могућност будућих генерација да задовоље своје сопствене потребе.... У суштини одрживи развој је процес промена унутар кога су експлоатација ресурса, усмеравање инвестиција, оријентација технолошког развоја и институционалне промене у хармонији и омогућавању коришћења садашњих и будућих потенцијала како би се задовољиле људске потребе“. Овај концепт је проширен на Светском самиту о животној средини и развоју 1992. године одржаном у Рио де Женеиру, програмом познатим као Агенда 21 [45], када је установљено да је потребно да се интензивирају акције везане за одрживи развој и да су индикатори за праћење напретка одрживог развоја неопходни за подршку онима који доносе законе и који одлучују. Формално, читав концепт је заокружен на Светском самиту о одрживом развоју 2002, године, увођењем појма о три стуба (компоненте) одрживог развоја – економски, друштвени и стуб животне средине [46], док се у данашње време уводи и четврта компонента – институционална. Све компоненте одрживог развоја су



међусобно повезане и зависне и због тога захтевају да све активности које се предузимају на пољу развоја буду у складу са сваком од њих.

Компонента заштите животне средине у одрживом развоју представља основу одржавања дугорочног интегритета и продуктивности система и инфраструктуре којима се обезбеђује здрава животна средина и живот на планети. Достицање ових стандарда захтева улагања у инфраструктуру биосфере, како би се осигурао квалитет добара и услуга у сфери животне средине од којих зависи живот. Одрживост животне средине намеће такав начин поступања са овим добрима и услугама који неће угрозити могућност природе да се саморепродукује [47].

Економска компонента одрживог развоја заснива се на напору да друштва прате путеве економског развоја који као последицу имају повећање зарада у друштву, а не предузимање тренутних акција које на дужи рок доводе до повећавања сиромаштва.

Друштвена компонента одрживог развоја темељи се на претпоставци да једнакост и разумевање односа међу људима унутар заједнице представљају основни предуслов прихватљивог квалитета живота. Да би развој био дугорочно одржив, богатство, ресурси и могућности морају се расподелити на такав начин да сви грађани могу да уживају бар минималне стандарде безбедности, људских права и социјалних привилегија, као што су храна, здравље, образовање, становање и могућности за развој своје личности [47].

3.2 Индикатори одрживог развоја

Приликом оцене одрживости одређеног система или избора одрживог система, било да је то енергетски систем, систем управљања отпадом или неки други, доносиоци одлука морају да имају средство за мерење и оцену садашњих и будућих ефеката које изабрани системи имају на људско здравље, животну средину и друштво у целини. Они морају да знају тренутни статус њихове земље у вези енергетске и економске одрживости, шта треба побољшати и како се побољшања могу постићи. Због тога је важно за доносиоце одлука да схвате импликације изабраних енергетских, еколошких и економских програма, политика и планова и њихов утицај на развој државе и одрживост таквог развоја [48].

Појам „индикатор“ означава показивач или кратак садржај, тј. средство које показује извесно стање или промене у извесном стању [49]. Када се говори о

индикаторима одрживог развоја, постоје различите дефиниције. Европска агенција за заштиту животне средине (ЕЕА) дефинише индикатор као „посматрану вредност која представља испитивану појаву. У принципу, индикатори квантификују информације сабирањем различитих података“ [50]. Неки аутори дефинишу индикатор као „променљиву која описује стање система“ [51], али најчешће се индикатори дефинишу као показатељи који се користе за праћење услова и трендова у одређеном сектору.

Индикатори могу имати различите функције. Информације добијене индикаторима могу бити погодне за анализу од стране оних који се баве одлучивањем и на тај начин допринети доношењу бољих одлука. Они могу да помогну да се знање везано за физичке и друштвене науке спрегне у циљу просперитета целокупног друштва. Индикатори могу пружити рано упозорење за спречавање економских, друштвених или проблема у области животне средине [52]. По својој природи, индикатори могу бити квантитативни и/или квалитативни. Квантитативни индикатори су засновани на мерењу неке величине или количине и изражени су у различитим мерним јединицама, док се квалитативни индикатори често заснивају на мишљењу и оцени људи у вези неке теме и обично су изражени описно.

На конференцији Уједињених нација о животној средини и развоју одржаној у Рио де Жанеиру 1992. године, усвојен је акциони план везан за Поглавље 40 Агенде 21 [45] који је предвиђао израду скупа индикатора одрживог развоја. Националне, владине и невладине организације су позване да узму учешће у развоју индикатора одрживог развоја ради обезбеђивања чврсте основе за доносиоце одлука на свим нивоима одлучивања. Поглавље 40 Агенде 21 састоји се из две целине. Прва се односи на „Премошћавање недостајућих података“ и предвиђа следеће активности:

- развој индикатора одрживог развоја,
- промоцију глобалне употребе индикатора одрживог развоја,
- побољшање у прикупљању и употреби података,
- побољшање метода процене и анализе података,
- успостављање свеобухватне информационе основе,
- јачање капацитета за традиционално информисање.

Задатак да направи листу основних индикатора одрживог развоја добила је Комисија за одрживи развој (CSD) Уједињених нација формирана на Генералној Скупштини УН 1992. године. Тада се појавио први сет од 134 индикатора одрживог

развоја, који је ревидиран и тестиран у многим земљама, а 2007. године је објављена публикација „Индикатори одрживо развоја: смернице и методологије, треће издање“ [52] у којој је број индикатора смањен на основни сет који сада садржи 50 индикатора и који служи за развијање националних индикатора одрживог развоја. Ови индикатори су одабрани тако да задовоље три основна критеријума:

- да покривају питања која су од значаја за одрживи развој у већини земаља,
- да дају важне информације које нису доступне из других основних индикатора,
- да се могу израчунати од стране већине земаља на основу већ доступних података или на основу података који могу бити доступни у разумном времену и са разумним трошковима.

У табели 3.1 приказане су тематске целине у које је разврстан основни сет индикатора, као и основни индикатори неких тематских целина.

Табела 3.1 Тематске целине CSD индикатора и основни индикатори појединих тематских целина [52]

Тематска целина	Области	Основни индикатор	Остали индикатори
Сиромаштво			
Управљање			
Здравље			
Образовање			
Популација			
Природне несреће			
	Климатске промене	Емисија CO ₂	Емисија гасова са ефектом стаклене баште
Атмосфера	Уништавање озонског омотача	Коришћење супстанци које оштећују озонски омотач	
	Квалитет ваздуха	Концентрације загађујућих супстанци у ваздуху у насељеним местима	
	Коришћење и статус земљишта		Промена намене земљишта
Земљиште	Дезертификација		Деградација земљишта
	Пољопривреда		
	Шумарство		
Океани, мора и обале			
Вода	Количина воде	Процент коришћења	



Тематска целина	Области	Основни индикатор	Остали индикатори
		укупних водених ресурса	
		Интензитет коришћења воде према привредној активности	
	Квалитет воде	Присуство фекалних колиформа у води	Биохемијска потрошње кисеоника у водотоковима (БПК)
			Третман отпадних вода
Биодиверзитет			
Економски развој	Макроекономски учинак	Бруто домаћи производ (БДП) по глави становника	Бруто штедња
		Удео инвестиција у БДП	Прилагођена нето штедња као проценат бруто националног дохотка (БНД)
			Стопа инфлације
	Одрживе јавне финансије	Однос дуга у бруто националном доходу	
	Запосленост	Стопа запослености	Стопа незапослености
		Продуктивност рада и јединични трошкови рада	
		Удео жена у запошљавању у непољопривредном сектору	
	Информационе и комуникационе технологије		
	Истраживање и развој		
	Туризам		
Глобална економска сарадња			
Потрошња и производња	Потрошња материјала	Интензитет потрошње сировина у привреди	Потрошња домаћих сировина
	Коришћење енергије	Годишња потрошња енергије, укупна и по главним категоријама корисника	Учешће обновљивих извора енергије у укупној потрошњи енергије
		Интензитет употребе енергије, укупно и по привредној активности	
	Стварање отпада и управљање отпадом	Стварање опасног отпада	Стварање отпада
	Третман и одлагање отпада	Управљање радиоактивним отпадом	

Тематска целина	Области	Основни индикатор	Остали индикатори
	Транспорт	Удео врсте друмског путничког транспорта по пређеном km	Удео врсте транспорта робе по пређеном km Енергетска интензивност саобраћаја

Подела индикатора дуж линије четири "стуба одрживог развоја" (социјални, економски, стуб животне средине и институционални) више није експлицитна у ревидираном основном сету индикатора. Ова промена наглашава мултидимензионалност одрживог развоја и одражава значај интегрисања свих стубова одрживог развоја.

На основу овог основног сета индикатора, свака држава развија своје националне индикаторе који могу бити подељени у исте тематске целине, али наравно, свака држава има слободу да, у зависности од услова, доступности података и могућности, развија индикаторе за нове тематске целине које су њој од интереса.

3.2.1 Енергетски индикатори

Основни сет CSD индикатора одрживог развоја који је направљен од стране Комисије за одрживи развој, садржи само три индикатора која су везани за енергију: годишња потрошња енергије (укупна и по главним категоријама корисника), интензитет употребе енергије (укупно и по привредној активности) и учешће обновљивих извора енергије у укупној потрошњи енергије, и само четири индикатора везана за отпад: стварање опасног отпада; третман и одлагање отпада; стварање отпада и управљање радиоактивним отпадом.

У циљу да се што поузданије оцењује и прати одрживост система за производњу и потрошњу енергије, Међународна агенција за атомску енергију (IAEA) је 1999. године почела пројекат израде енергетских индикатора одрживог развоја. Овај пројекат је спроведен у сарадњи са другим међународним организацијама: Међународном агенцијом за енергију (IEA), Одељењем за економске и социјалне послове Уједињених нација (UNDESA), државама чланицама Међународне агенције за атомску енергију, Еуростатом и Европском агенцијом за животну средину (EEA). Као резултат овог пројекта, 2005. године добијен је сет од 30 основних енергетских индикатора одрживог развоја. Ових 30 индикатора су класификовани по компонентама одрживог развоја на: друштвене (4 индикатора), економске (16 индикатора) и индикаторе животне средине

(10 индикатора) [53]. У табели 3.2 приказан је сет енергетских индикатора подељен по компонентама одрживог развоја и тематским целинама.

Табела 3.2 Сет енергетских индикатора [53]

Тематска целина	Подгрупа	Ознака	Индикатор
Индикатори животне средине			
Атмосфера	Климатске промене	ENV1	Емисија гасова стаклене баште из производње енергије и коришћење по глави становника и по јединици БДП
	Квалитет ваздуха	ENV2	Амбијентална концентрација загађивача ваздуха у урбаним срединама
		ENV3	Емисија загађивача из енергетских система
Воде	Квалитет воде	ENV4	Испуштање загађујућих течних инфлуената из енергетских система укључујући и отпадна уља
Земљиште	Квалитет земљишта	ENV5	Површина земљишта на којој ацидификација прелази критичан ниво
	Шуме	ENV6	Стопа крчење шума због коришћења и енергетке сврхе
	Стварање и управљање отпадом	ENV7	Удео отпада који се користи за добијање енергије
		ENV8	Удео отпада одложеног на санитарне депоније
		ENV9	Удео радиоактивног отпада који се користи за добијање енергије
		ENV10	Удео радиоактивног отпада који се одлаже у односу на укупну количину радиоактивног отпада
Економски индикатори			
Производња и потрошња	Укупна потрошња	ECO1	Потрошња енергије по становнику
	Укупна продуктивност	ECO2	Потрошња енергије по јединици БДП
	Ефикасност снабдевања	ECO3	Ефикасност трансформације енергије и дистрибуција
	Производња	ECO4	Однос резерви и вршне производње
		ECO5	Однос ресурса и вршне производње
	Крајња потрошња	ECO6	Интензитет коришћења енергије у индустрији
		ECO7	Интензитет коришћења енергије у пољопривреди
		ECO8	Интензитет коришћења енергије у услужној делатности
		ECO9	Интензитет коришћења енергије у домаћинствима
		ECO10	Интензитет коришћења енергије у транспорту
	Диверзификација	ECO11	Удео горива у енергији и струји
		ECO12	Удео неорганске енергије у енергији и струји
		ECO13	Удео обновљиве енергије у енергији и струји
	Цене	ECO14	Цене произведене енергије по горивима и

Тематска целина	Подгрупа	Ознака	Индикатор
			делатностима
Сигурност	Увоз	ECO15	Зависност од увоза нето енергије
	Стратешке резерве горива	ECO16	Залихе критичних горива по одговарајућој потрошњи
			Друштвени индикатори
Правичност	Доступност	SOC1	Удео домаћинства (или становника) без струје или комерцијалних извора енергије, или у великој мери зависни од не комерцијалних извора енергије
	Пристапачност	SOC2	Удео прихода домаћинства који се троши на гориво и струју
	Диспаритет	SOC3	Коришћење енергије у домаћинству за сваку приходну групу и одговарајуће гориво
Здравље	Безбедност	SOC4	Фатални акциденти по количини произведене енергије

3.3 Индикатори одрживог развоја у Србији

Национална стратегија одрживог развоја Републике Србије (Стратегија) [54] донета је 2008. године. Циљ Стратегије је да уравнотежи три кључна фактора, тј. три стуба одрживог развоја: одрживи развој економије, привреде и технологије, одрживи развој друштва на бази социјалне равнотеже и заштиту животне средине уз рационално располагање природним ресурсима [54]. Истовремено, циљ Стратегије је да споји та три стуба у целину коју ће подржавати одговарајуће институције. За спровођење Стратегије и праћење предузетих мера одабран је сет индикатора одрживог развоја који је усклађен са основним CSD индикаторима, да би били међународно упоредиви.

У табели 3.3 приказане су тематске целине у које су сврстани национални индикатори одрживог развоја, као и индикатори неких тематских целина.

Табела 3.3 Тематске целине националних индикатора и основни индикатори појединих тематских целина [54]

Теме	Области	Кључни индикатори
Сиромаштво		
Управљање		
Здравље		
Образовање		
Популација		
Економски развој	Макроекономске перформансе	БДП по становнику
		Процент учешћа инвестиција у БДП-у
		Унутрашњи и спољни дуг

Теме	Области	Кључни индикатори
Глобално економско партнерство	Запосленост	Кретање индекса цена на мало
		Стопа незапослености
		Стопа запослености
		Стопа незапослености жена
		Стопа незапослености младих испод 28 година
	Информационе и комуникационе технологије	Кретање незапослености по регионима
		Број активних корисника интернета на 100 становника
	Истраживање и развој	Број претплатника мобилних телефона на 100 становника
		Трошкови за истраживање и развој као проценат БДП-а
	Потрошња и производња	Успостављање равнотеже текуће производње и потрошње
Коришћење енергије		Потрошња енергије по глави становника
		Енергетска интензивност (утрошена енергија по јединици БДП-а мерено у куповном паритету)
		Учешће обновљивих извора енергије у укупној потрошњи енергије
Стварање отпада и управљање		Стварање отпада
	Стварање опасног отпада	
Транспорт	Количина отпада који се подвргава третману	
Природне катастрофе	Климатске промене	Енергетска интензивност саобраћаја
		Емисија CO ₂ по глави становника
Атмосфера	Оштећење озонског омотача	Емисије гасова са ефектом стаклене баште
		Потрошња супстанци које оштећују озонски омотач
	Квалитет ваздуха	Амбијенталне концентрације загађујућих материја у урбаним областима
Земљиште	Коришћење земљишта и статус	Промена намене земљишта
		Деградација земљишта
	Дезертификација	Земљиште деградирано сушом
	Пољопривреда	Учешће сталних усева у структури укупно обрадивог земљишта
		Употреба минералних ђубрива
		Употреба пестицида

Теме	Области	Кључни индикатори
Воде	Шуме	Учешће шумског земљишта у укупном земљишту
	Риболов	Годишњи улов пет најзаступљенијих врста рибе
	Количина воде	Годишња количина исцрпене подземне и површинске воде, апсолутно и као део од укупне обновљиве количине воде
		Потрошња воде по секторима
	Квалитет вода	Присуство фекалних бактерија у води за пиће
		Биохемијска потрошња кисеоника (БПК) у водотоковима
Процент отпадних вода које се пречишћавају		
Биодиверзитет		

3.3.1 Национални индикатори заштите животне средине

У оквиру компоненте заштите животне средине, држава Србија установила је националну листу индикатора заштите животне средине. Индикатори су усвојени тако да задовољавају одређене критеријуме [55]. На основу критеријума „значај на националном и међународном нивоу“ изабрани индикатори пружају информације или описују појаве у области животне средине на националном нивоу и колико је могуће, индикатори су усклађени са међународно прихваћеним индикаторима ради поређења на том нивоу. По критеријуму „релевантност за извештавање коришћењем датог индикатора“, индикатори обезбеђују информације на нивоу погодном за креирање националне политике, стратегија, закона и подзаконских аката и представљају најбоље мерило узрока, стања, последица и ефеката програма управљања животном средином. По критеријуму „мерљивост и статистичка исправност индикатора“ развијени индикатори се мере и прате систематски и доследно током времена ради извештавања о одговарајућим трендовима и изведени су из података високог нивоа поузданости уз одговарајућу статистичку и методолошку исправност. По критеријуму „једноставност и лакоћа разумевања“ индикатори су једноставни и лаки за разумевање и промене вредности индикатора могу се једноставно повезати са побољшањем односно погоршањем посматране појаве у животној средини. По критеријуму „економска оправданост“, индикатори су, колико је могуће, базирани на већ постојећим подацима и информацијама при чему мониторинг и израда индикатора не доводи до неоправданих трошкова.

Правилником о националној листи индикатора заштите животне средине [55], листа индикатора подељена је у тематске целине:

- ваздух и климатске промене;
- воде;
- природа и биолошка разноврсност;
- земљиште;
- отпад;
- бука;
- нејонизујуће зрачење;
- шумарство, лов и риболов;
- одрживо коришћење природних ресурса;
- привредни и друштвени потенцијали и активности од значаја за животну средину;
- међународна и национална законска регулатива, као и мере (стратегије, планови, програми, споразуми), извештаји и остала документа и активности из области заштите животне средине;
- субјекти система заштите животне средине.

Индикатори развијени за поједине тематске целине (ваздух и климатске промене, воде, земљиште и отпад) приказани су у табели 3.4.

Табела 3.4 Поједине тематске целине и индикатори заштите животне средине [55]

Ваздух и климатске промене
Учестаност прекорачења дневних граничних вредности (ГВ) за SO ₂ , NO ₂ , PM ₁₀ , O ₃
Годишња температура ваздуха
Годишња количина падавина
Потрошња супстанци које оштећују озонски омотач
Емисија закисељавајућих гасова (NO _x , NH ₃ и SO ₂)
Емисија прекурсора озона (NO _x , CO, CH ₄ и NMVOC)
Емисија примарних суспендованих честица и секундарних прекурсора суспендованих честица (PM ₁₀ , NO _x , NH ₃ и SO ₂)
Емисија гасова са ефектом стаклене баште
Пројекција емисија гасова са ефектом стаклене баште
Емисија тешких метала
Емисија ненамерно испуштених дуготрајних органских загађујућих материја (UPOPs)
Воде
Индикатор потрошње кисеоника у рекама
Нутријенти у површинским и подземним водама
Индекс сапробности (SI)



Serbian Water Quality Index (SWQI)
Квалитет воде за пиће
Квалитет воде за купање
Процент становника прикључен на јавни водовод
Процент становника прикључен на јавну канализацију
Постројења за пречишћавање отпадних вода
Загађене (непречишћене) отпадне воде
Емисије загађујућих материја из тачкастих извора у водна тела
Земљиште
Промена начина коришћења земљишта
Ерозија земљишта
Садржај органског угљеника у земљишту
Управљање контаминираним локалитетима
Отпад
Укупна количина произведеног отпада
Производња отпада (комунални, индустријски, опасан)
Количина произведене амбалаже и амбалажног отпада
Количине посебних токова отпада
Количина произведеног отпада из објеката у којима се обавља здравствена заштита и фармацеутског отпада
Предузећа овлашћена за управљање отпадом
Депоније отпада
Количина издвојено прикупљеног, поновно искоришћеног и одложеног отпада
Прекогранични промет отпада

3.3.2 Национални индикатори везани за отпад

Стратегијом управљања отпадом Републике Србије за период 2010–2019. године [56] предвиђен је сет индикатора који се односе на питања отпада. Ови индикатори су типа притисака на животну средину, јер само постојање отпада који, када је већ једном произведен, захтева да на неки начин буде збринут, односно сакупљен, транспортован, третиран или одложен на депонију. Одговори друштва на те притиске, осим доношења прописа, укључују и економске инструменте, као и стратегије и планове управљања отпадом, од којих се очекује да утичу на смањење настајања отпада и обезбеђење прихватљивих мера за поступање са отпадом [56]. Развијени индикатори служе за праћење спровођења Стратегије управљања отпадом и оцену предузетих мера и активности (табела 3.5).

Табела 3.5 Индикатори који се односе на отпад [56]

A	Настајање отпада
1	Укупна количина произведеног отпада
2	Интензитет производње отпада
3	Количина произведеног комуналног отпада
4	Количина произведеног опасног отпада
5	Количина произведеног индустријског отпада
6	Количина произведеног амбалажног отпада
7	Количина произведеног биоразградивог отпада
8	Количина произведеног отпада од грађења и рушења
9	Количина произведеног електронског отпада
10	Количина отпадних возила
11	Количина отпадних гума
12	Количина произведеног отпадног уља
13	Количина произведеног отпадног муља из уређаја за пречишћавање отпадних вода
14	Количина медицинског и отпада сличног медицинском
B	Инфраструктура (објекти, привредни субјекти)
15	Санитарне депоније
16	Овлашћени привредни субјекти за управљање отпадом
C	Управљање отпадом
17	Количина рециклираног отпада
18	Количина биоразградивог отпада
19	Количина издвојено прикупљеног отпада
D	Прекогранично кретање отпада
20	Прекогранично кретање отпада

3.4 Индикатори за оцену одрживости третмана отпада

Мерење одрживости одређених система је главни проблем и покретачка сила у дискусијама о одрживом развоју. Развој алата за поуздано мерење одрживости је предуслов за идентификацију неодрживих процеса, информисање доносиоца одлука о квалитету производа и мониторинг утицаја на друштвену средину. Мноштво индикатора и алата за мерење који су развијени, показује значај рада у овој области. Развој и избор индикатора захтева параметре везане за поузданост, прикладност, практичност и мерљивост [57].

Оцена одрживости система управљања отпадом и усвајање критеријума (индикатора) за оцену одрживости је сложен задатак због саме технологије третмана отпада и производа који се добијају овим третманима, због различитих утицаја отпада

на животну средину, трошкова који су неопходни за адекватно решавање проблема отпада, због утицаја на људско здравље, потребе учешћа шире друштвене заједнице и многих других разлога.

Као што је у поглављу 2 наглашено, третманима отпада се поред смањења запремине отпада врши и искоришћење секундарних сировина и добија енергија из отпада, па се отпад све чешће третира као обновљив извор енергије. Из тог разлога се одрживост система управљања отпадом, који су због карактеристика и састава отпада, увек комбинација више третмана отпада, не може оцењивати коришћењем само индикатора за отпад (који су у свим поделама сврстани у компоненту заштите животне средине), нити само енергетских индикатора (без обзира што енергетски индикатори садрже индикаторе из све три компоненте одрживог развоја), већ је, да би се оценила одрживост оваквих система са довољном поузданошћу, потребно користити сет индикатора који описују и енергетске системе и системе за третман отпада.

Из претходног се може закључити да је до сада у свету и у Републици Србији развијен велики број индикатора, који се користе за оцену одрживости одређених система, али један од највећих изазова је избор сета индикатора који јасно и потпуно описују најважније утицајне факторе, а карактеристични су за одређену територију и локалну заједницу и чијим коришћењем се са довољном поузданошћу може оценити одрживост неког система, у овом случају система управљања отпадом. Ово је важан и не тако једноставан корак од кога зависи коначни резултат вредновања. Индикатори одрживог развоја који се користе у свету углавном се односе на услове који нису специфични за Србију и зато је неопходно идентификовати и дефинисати индикаторе који се могу мерити на локалном нивоу и који су битни доносиоцима одлука у Србији.

Приликом избора индикатора јављају се два проблема. Први је идентификација индикатора који су битни доносиоцима одлука за избор и оцену одрживости система управљања отпадом, а други је избор довољног минималног броја индикатора којима се са прихватљивом поузданошћу може оценити одрживост система управљања отпадом.

У циљу решавања првог задатка, избор сета индикатора се врши тако да индикатори задовољавају одређене критеријуме. Предложени критеријуми су дефинисани на основу литературних извора [58; 59] и прилагођени локалним приликама:

- 1) значај индикатора за оцену одрживости система управљања отпадом у Републици Србији;
- 2) могућност мерења и израчунавања индикатора на локалном нивоу и за локалне услове;
- 3) способност локалне самоуправе да измени исходе мерене индикаторима.

Као *индикатори који се односе на отпад* могу се користити индикатори из сета индикатора препознатих у Стратегији управљања отпадом Републике Србије за период 2010–2019. године описаних у поглављу 3.3.2, који служе за праћење спровођења Стратегије управљања отпадом и оцену предузетих мера и активности и који се већ прате:

- удео рециклираног отпада,
- удео депонованог отпада,
- удео отпада који се користи за добијање енергије,
- смањење запремине отпада,
- површина коришћеног земљишта.

Изабрани индикатори који се односе на отпад су у складу са најчешће коришћеним индикаторима у досадашњим истраживањима. Приликом квантитативне оцене и упоређења различитих система управљања отпадом, неки аутори [60] су користили индикаторе као што су: удео рециклираног отпада (по тони, удео у укупној количини, по становнику), удео депонованог отпада (по тони, удео у укупној количини, по становнику), удео прерађеног отпада (по тони, удео у укупној количини, по становнику), уштеда енергије. При оцени утицајних фактора на перформансе система управљања отпадом, као критеријуми су коришћени: удео рециклираног отпада, удео депонованог отпада и проценат учесника у систему управљања отпадом [61]. Неки аутори [62] су развили сет индикатора који се може користити за упоређивање интегралних система управљања отпадом и као квантитативни индикатори препоручени су: проценат покривености територије са које се сакупља отпад, удео депонованог отпада и удео рециклираног отпада.

Као *индикатори животне средине* за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, могу се користити индикатори из сета индикатора Националне листе индикатора заштите животне средине [55] описани у поглављу 3.3.1, који служе за

праћење стања животне средине у Републици Србији, јер се ови индикатори такође већ прате:

- емисија CO₂ у ваздух,
- емисија закисељавајућих гасова у ваздух,
- емисија суспендованих честица у ваздух,
- емисија тешких метала у ваздух,
- биолошка потрошња кисеоника у води (БПК),
- концентрација укупног органског угљеника у води,
- концентрација тешких метала у земљишту.

Као *економски индикатори* могу бити коришћени индикатори из следећег сета индикатора, који су изабрани по претходно наведеним критеријумима, а често коришћени за избор одрживих сценарија управљања отпадом са добијањем енергије и препознати као индикатори који су значајни доносиоцима одлука у Србији за избор сценарија управљања отпадом обзиром на економске прилике у Србији:

- инвестициони трошкови,
- оперативни трошкови,
- приходи од продаје произведене енергије и секундарних сировина из отпада,
- трошкови горива,
- трошкови енергије.

Као *друштвени индикатори* могу се користити индикатори из сета индикатора, који су такође изабрани по претходно наведеним критеријумима, а често коришћени за избор одрживих сценарија управљања отпадом са добијањем енергије и препознати као индикатори који су значајни доносиоцима одлука у Србији за избор сценарија управљања отпадом с обзиром на прилике у Србији:

- број новотворених радних места,
- друштвена прихватљивост третмана отпада.

Предложени економски, друштвени и индикатори животне средине су такође у складу да индикаторима који су коришћени у претходним истраживањима и који се могу наћи у литератури. Када је у питању оцена одрживости енергетских система, као и система управљања отпадом са добијањем енергије коришћени су различити економски, друштвени и индикатори животне средине. Као индикатори животне

средине најчешће су коришћени [63]: емисија киселих и гасова са ефектом стаклене баште (NO_x , CO_2 , SO_2) и честица, површина земљишта која се користи, бука. Као економски индикатори: инвестициони трошкови, оперативни и трошкови одржавања, трошкови горива, трошкови електричне енергије, нето садашња вредност, период повраћаја средстава, док су као друштвени индикатори најчешће коришћени: друштвена прихватљивост, број новоотворених радних места, друштвена корист.

У циљу избора одрживог сценарија управљања отпадом неки аутори [64] користили су следеће индикаторе: нето трошкове по тони, емисија гасова са ефектом стаклене баште, техничка поузданост, локални и регионални ефекти на здравље (емисија тешких метала у ваздух и воду), емисије закисељавајућих гасова, испуштања процедурних вода, број запослених, количина отпада која се може третирати. Тсилему (Tsilemou) и Панајотакопулос (Panagiotakopoulos) [65] користили су: трошење абиотичких ресурса, климатске промене, токсичност, формирање фото-оксиданата, ацидификација и еутрофикација, количина биоразградивих фракција отпада који се третира, трошкови по тони отпада, приходи, удео трошкова у БДП, трошкови по становнику као % минималне зараде, трошкови по становнику као % просечне зараде, друштвена прихватљивост, непријатни мириси, бука, комплексност система. Самах (Samah) и други [66] користили су следеће индикаторе: локација, друштвена прихватљивост, изводљивост, искуство, загађење воде, здравље, инвестициони и оперативни трошкови, управљање финансијама, сарадња. Неки аутори [67] користили су следеће индикаторе: трошкови третмана отпада (инвестициони трошкови, оперативни трошкови, транспортни трошкови, трошкови депоновања), емисија гасова са ефектом стаклене баште (CO_2 и N_2O), коришћење воде приликом третмана отпада, ефикасност уништења микроорганизама, тип отпада који се третира, смањење емисије загађивача у ваздух, друштвена прохватљивост. Такође су у неким истраживањима за оцену третмана отпада коришћени инвестициони трошкови, оперативни трошкови, емисије загађујућих гасова и смањење запремине отпада [4].

4 ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКА АНАЛИЗА КАО АЛАТ ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ

4.1 Методе за оцену одрживости

Од када је уведен концепт одрживог развоја и дефинисани индикатори одрживог развоја за мерење одрживости, развијане су и различите методе за оцену одрживости одређених система. До данас су у свету развијене и користе се различите методе за оцену одрживости система. Све оне се могу поделити по хронологији у неколико категорија [68]:

- 1) методе које користе индикаторе и индексе,
- 2) методе везане за производ,
- 3) интегрисане методе.

Методе које користе индикаторе и индексе су алати за оцену одрживости који користе различите индикаторе или, уколико је у питању агрегација индикатора, индексе. Ове методе се даље могу поделити у:

- методе које користе неинтегрисане индикаторе (индикатори притиска на животну средину, CSD индикатори),
- методе које користе регионалне индикаторе протока енергије и материјала,
- методе које користе интегрисане индикаторе (одрживи национални приход, еколошки отисак, индекс благостања, индекс одрживости животне средине, индекс развоја људског друштва итд.).

Методе везане за производ су алати за оцену одрживости који су везани за производњу и потрошњу материјала и услуга. Ове методе оцењују коришћење ресурса и њихов утицај на животну средину током производног процеса или током животног циклуса производа. Ове методе не интергишу природне и друштвене системе и највише су фокусиране на аспект животне средине. У ове методе спадају:

- анализа животног циклуса,

- анализа трошкова животног циклуса,
- анализа токова произведених материјала,
- анализа произведене енергије.

Интегрисане методе се користе за подршку одлучивању у одређеном региону и на локалном нивоу. У контексту оцене одрживости, интегрисани алати су фокусирани више на прогнозу него на тренутне резултате и често се примењују у облику сценарија. Многи од ових алата су базирани на приступу анализе система и интегришу природне и друштвене аспекте. Постоји широк спектар интегрисаних алата који се користе за оцену одрживости комплексних система:

- концептуално моделовање,
- динамика система,
- вишекритеријумска анализа,
- анализа ризика,
- анализа неизвесности,
- кост-бенефит анализа,
- процена утицаја (процена утицаја на животну средину, стратешка процена утицаја, ЕУ процена утицаја на одрживост).

4.2 Вишекритеријумска анализа

Вишекритеријумска анализа (ВКА) је, као што је претходно речено, интегрисана метода која се користи за подршку одлучивању приликом оцене одрживости различитих система. Разлог због чега се методе вишекритеријумске анализа често користе као алат за оцену одрживости лежи у чињеници да ове методе омогућавају учешће различитих група доносиоца одлука чак и са супротним циљевима, а такође омогућавају коришћење великог броја различитих критеријума (индикатора одрживог развоја), који могу бити и квалитативни и квантитативни, делимично или потпуно конфликтни и по природи веома разноврсни и изражени у различитим јединицама.

Код вишекритеријумских проблема, обично не постоји једно универзално оптимално решење (алтернатива) и неопходно је да доносилац одлуке постави своје преференције како би се решења могла разликовати. Решавање вишекритеријумског проблема подразумева избор најбоље алтернативе из скупа дефинисаних алтернатива, где „најбоље“ доносилац одлуке може тумачити као најпожељније. Методе ВКА се

могу користити при идентификацији оптималне алтернативе, за рангирање алтернатива, за добијање одређеног броја алтернатива или за разликовање прихватљивих од неприхватљивих алтернатива [69].

Вишекритеријумски проблеми се одликују неким заједничким карактеристикама [70]:

- Већи број критеријума које дефинишу један или више доносилаца одлука,
- Конфликти критеријума – као најчешћи случај код реалних проблема,
- Неупоредиве мерне јединице – некомпарабилност критеријума (критеријуми често имају различите мерне јединице),
- Решење проблема вишекритеријумског одлучивања може бити рангирање алтернатива, идентификација најбоље (најпожељније) алтернативе или скуп алтернатива које испуњавају одређене услове.

Без обзира на постојање великог броја метода ВКА које се разликују по приступу проблему, код свих се могу препознати исти кораци у процедури [69; 63]:

1. корак: идентификација проблема и дефинисање алтернатива,
2. корак: дефинисање критеријума,
3. корак: квантификација релативног значаја сваког критеријума (додељивање тежинских фактора критеријумима),
4. корак: оцена перформанси сваке алтернативе према идентификованим критеријумима,
5. корак: рангирање алтернатива,
6. корак: анализа осетљивости.

Последњи корак у ВКА је анализа осетљивости, када се улазни подаци мењају у малој мери и посматра се утицај на резултате. Уколико се ранг алтернатива не мења, закључује се да су добијени резултати робусни и поуздани [71]. Анализа осетљивости се може применити када две или више алтернатива имају малу разлику ранга, а такође је корисна приликом решавања конфликта између доносилаца одлука [72]. Додељивање тежинских фактора критеријумима често је спорна област која, такође захтева анализу осетљивости. Анализом осетљивости може се испитати осетљивост резултата на промене тежинских фактора критеријума, што је значајно код метода где се врши субјективно вредновање, као што је метода Аналитичких хијерархијских процеса (АХП). Често се у пракси за један вишекритеријумски проблем паралелно

користе неколико метода ВКА како би се испитала осетљивост добијених резултата и да би се обезбедила контрола конзистентности одлучивања [73].

4.2.1 Методе вишекритеријумске анализе

До сада је развијен велики број метода ВКА и без обзира на карактеристике и фазе у одлучивању, које су заједничке за све методе ВКА, међу њима постоје и значајне разлике, које се огледају у начину избора оптималне алтернативе, начину избора критеријума, начину додељивања тежинских фактора критеријумима. Генерално, све методе ВКА се могу поделити у две групе [74]:

- 1) Методе вишеатрибутног одлучивања и
- 2) Методе вишециљног одлучивања.

Методe вишеатрибутног одлучивања представљају огранак опште класе оперативних истраживачких метода које се користе за доношење одлука у присуству одређеног броја критеријума. Карактеришу се потребом избора најприхватљивије алтернативе, из скупа унапред дефинисаних алтернатива. Постоји коначан број унапред задатих алтернатива за избор, при чему не постоје експлицитно дефинисана ограничења, већ су она укључена у критеријуме. Уобичајени начин представљања проблема при вишеатрибутном одлучивању је матрична форма (матрица перформанси или матрица одлучивања). Решавање проблема употребом ових метода као резултат даје рангирање алтернатива. У табели 4.1 приказана је даља подела метода вишеатрибутног одлучивања и неке најчешће коришћене методе.

Табела 4.1 Методе вишеатрибутног одлучивања [75]

Скраћеница	Назив методе
Методe корисности	
SAW или WSM	Метода адитивних тежинских фактора (адитивна метода)
SMART	Једноставна вишеатрибутивна техника рангирања
SPW или WPM	Метода продуктивних тежинских фактора
AHP	Метода аналитичких хијерархијских процеса
RC	Метода редукционих коефицијената
Методe рангирања	
ELECTRE	Метод елиминације и избора у прихватању реалности
PROMETHEE	Метод одређивања ранга алтернатива
NAIADE	Нови приступ непрецизној процени и одлукама окружења
Методe компромиса	
TOPSIS	Техника одређивања приоритета на основу сличности идеалних решења



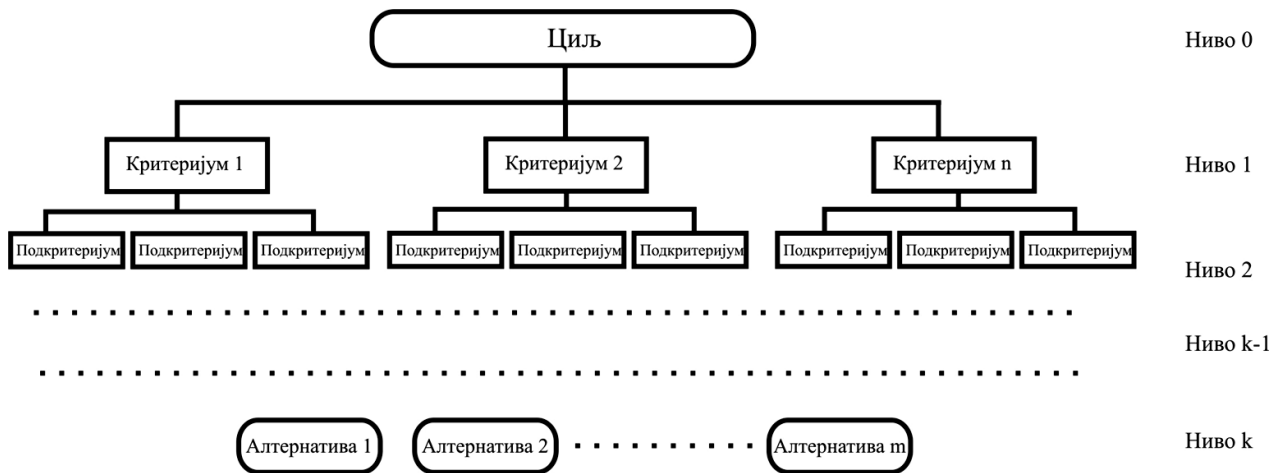
Скраћеница	Назив методе
VIKOR	Вишекритеријумска оптимизација и компромисно решење
CP	Метода компромисног програмирања

Методe вишециљног одлучивања су методе код којих, за разлику од метода вишеатрибутног одлучивања, нису унапред дефинисане алтернативе у одлучивању. Уместо тога, вишециљно одлучивање обезбеђује математички оквир за формирање алтернатива у одлучивању. Свака, једном дефинисана алтернатива, се оцењује у односу на то колико добро задовољава један или више циљева. Број потенцијалних алтернатива у вишециљном одлучивању може бити велики, а решење подразумева селекцију.

4.1 Метода аналитичких хијерархијских процеса

Метода аналитичких хијерархијских процеса (АХП метода) је метода вишеатрибутног одлучивања коју је развио Томас Сати [76; 77]. АХП метода је предмет истраживања и коришћења многих истраживача и инжењера, углавном због добрих математичких особина и чињенице да су потребни улазни подаци лако доступни. По многим ауторима, АХП метода је најчешће коришћена метода у вишекритеријумском одлучивању и по многима се сматра, најпоузданијом вишекритеријумском методом [78].

АХП метода је алат за подршку одлучивању која се може користити за решавање сложених проблема одлучивања. Она користи хијерархијску структуру, састављену из више нивоа: циљ, критеријуми, подкритеријуми и алтернативе. Тежински фактори критеријума се добијају међусобним поређењем парова критеријума, које врше експерти или доносиоци одлука. Та поређења се користе за добијање релативних перформанси алтернатива у односу на сваки критеријум. Ако поређења нису сасвим доследна, метода обезбеђује механизам за побољшање доследности. Као резултат се добија рангирање унапред дефинисаних алтернатива.



Слика 4.1 Хијерархијска структура у АХП методи

Хијерархијска структура у АХП методи у општем случају, приказана је на слици 4.1 и састоји се од циља (ниво 0), критеријума (ниво 1), неколико нивоа подкритеријума (нивои 2 до $k-1$) и алтернатива (ниво k). На врху хијерархије је циљ, на нивоу 1 је n критеријума који се у паровима, свако са сваким, пореде у односу на непосредно надређени елемент на вишем нивоу. Исти поступак се примењује идући кроз хијерархиску структуру ка нижим нивоима, све док се на последњем нивоу k не изврше поређења свих алтернатива у односу на критеријуме на претпоследњем $k-1$ нивоу.

АХП метода предвиђа четири основна корака [79].

1. Дефинисање проблема и одређивање потребне врсте знања.
2. Формирање хијерархијаске структуре проблема одлучивања с циљем на врху, критеријума и подкритеријума на нижим нивоима и алтернативама на дну модела.
3. Формирање сета матрица поређења. Сваки елемент у горњем нивоу се користи за поређење са елементима у нивоу непосредно испод, у односу на њега.
4. Коришћење приоритета добијених поређења парова, за одређивање приоритета у нивоу непосредно испод. Ово се понавља за сваки елемент, а затим се за сваки елемент нивоа испод додаје његова добијена вредност и добија његов укупан или глобални приоритет. Са овим поступком се наставља до добијања приоритета алтернатива у најнижем нивоу.

Теоријски, могуће је рангирати неограничен број алтернатива коришћењем такође неограниченог броја критеријума. Међутим, у пракси, а такође и према

препоруци аутора који је развио АХП методу [80], максималан број алтернатива, као и максималан број критеријума који се могу користити не треба да прелази број 9.

Разлози за овакво ограничење су следећи:

- 1) Први разлог је везан за капацитет људског мозга да обради велики број информација, односно ограничење да људски мозак може да обради 7 (+/-2) информација [81],
- 2) Други разлог произилази из претходног: број парова који се пореди повећава се са повећањем бројем критеријума, тј. $n(n-1)/2$. На пример, 7 критеријума захтева 21 поређење, док 12 критеријума захтева 66 поређења. За велики број поређења лако се јављају логичке недоследности и степен конзистентности (CR) прелази вредност 10%, што доводи у питање конзистентност сопствених вредности матрице поређења А и поузданост добијених резултата.

У табели 4.2 приказане су препознате предности и недостаци АХП методе.

Табела 4.2 Предности и недостаци АХП методе [82; 83; 84; 85]

ПРЕДНОСТИ	НЕДОСТАЦИ
Једна од најпознатијих и најчешће коришћених метода ВКА	Због агрегације, може се појавити компензација добрих оцена критеријума и лоших оцена осталих критеријума
Подржава индивидуално и групно доношење одлука	Имплементација је тешка због сложености
Применљивља за квалитативне и квантитативне критеријуме	Временски захтевна метода
Примена хијерархијске структуре за представљање сложених проблема одлучивања	Не постоји могућност примене граничних вредности
Ранг алтернатива исказан бројном вредношћу пружа боље разумевање резултата	Проблеми због међусобне зависности критеријума и алтернатива
Проблем одлучивања може бити разложен у мање елементе	Промена ранга алтернатива додавањем нове алтернативе или критеријума
Израчунавање коефицијента неконзистентности помаже доносиоцима одлука	Може да пореди ограничени број алтернатива: ако се пореди велики број опција, поређење парова је неизводљиво
Постоји софтверска подршка методи са адекватним графичким приказима	
Поређење само два елемента у исто време	
Једноставна за примену, није захтевна за подацима	

4.1.1 Математичке основе АХП методе

Нека се структура типичног вишекритеријумског проблема састоји од m алтернатива и n критеријума. Свака алтернатива може се проценити у односу на сваки критеријум и такође се може проценити релативан значај (или тежина) сваког критеријума. Нека a_{ij} ($i = 1, 2, 3, \dots, m$, и $j = 1, 2, 3, \dots, n$) означавају вредности i -те алтернативе (тј. A_i) у смислу j -тог критеријума (тј. C_j). Такође, са w_j означимо тежинске факторе критеријума C_j . На основу претходно наведеног, типичан вишекритеријумски проблем може се представити следећом матрицом одлучивања:

Алтернатива	Критеријум				
	C_1	C_2	C_3	...	C_n
	w_1	w_2	w_3	...	w_n
A_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
A_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	...	a_{2n}
A_3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	...	a_{3n}
:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:
A_m	a_{m1}	a_{m2}	a_{m3}	...	a_{mn}

Аксиоми на којима се АХП метода заснива су следећи [85]:

Аксиом 1: Реципрочност – Доносилац одлука мора бити у стању да изврши поређења и покаже своје преференције. Интензитет ових преференција морају задовољити услове реципрочности: Ако је елемент А x пута значајнији од елемента Б, тада је елемент Б $1/x$ пута значајнији од елемента А.

Аксиом 2: Хомогеност – Преференције се представљају помоћу ограничене скале.

Аксиом 3: Независност – Када се одређују преференције, претпоставља се да су критеријуми независни од особина алтернатива.

Аксиом 4: Очекивања – Ради доношење одлуке, претпоставља се да је хијерархијска структура комплетна.

Пошто је поређење парова срж овог процеса одлучивања, правилно квантификовање је најважнији корак у вишекритеријумском одлучивању које користе квалитативне податке. Поређење парова се квантификује коришћењем скале (тзв. Сатијева скала). Таква скала је један-на-један пресликавање између скупа дискретних

језичких опција које су на располагању доносиоцима одлука и дискретном скупу бројева који представљају значај или тежину, претходних језичких избора (табела 4.3).

Табела 4.3 Сатијева скала вредновања [77]

Значај	Дефиниција	Објашњење
1	Истог значаја	Два елемента су индентичног значаја у односу на циљ
3	Слаба доминантност	Искуство или расуђивање незнатно фаворизују један елемент у односу на други
5	Јака доминантност	Искуство или расуђивање фаворизују један елемент у односу на други
7	Демонстрирана доминантност	Доминантност једног елемента у односу на други
9	Апсолутна доминантност	Доминантност највишег степена
2, 4, 6, 8	Међувредности	Потребан компромис или даља подела
Реципрочне вредности		Ако једна активност има неки од горњих бројева у поређењу са другом активношћу, онда друга активност има реципрочну вредност, када се пореди са првом.

Када се пореди пар критеријума, поставља се питање шта је важније или шта има већи утицај, чиме се утврђује коефицијент њиховог релативног значаја. Ако је приликом поређења два критеријума додељен велики број, то означава већу разлику у нивоу посматраних критеријума. У случају поређења две алтернативе у односу на неки критеријум утврђује се шта се више преферира. Општа преференција неке алтернативе се израчунава као пондерисани збир пондера критеријума и резултата алтернативе за тај критеријум. Поређења парова се у АХП методи приказују у форми квадратне матрице (матрице поређења), која даје информације о доминацији сваког елемента проблема одлучивања у односу на сваки други елемент истог нивоа проблема одлучивања. Из скупа матрица поређења генерише се скуп локалних приоритета који изражавају релативни утицај скупа елемената на елемент у нивоу непосредно изнад. На тај начин се открива релативна снага, вредност или пожељност сваког елемента који се пореди, решавањем матрица поређења. За n елемената одлучивања потребно је извршити $n(n-1)/2$ поређења.

Следећи корак у АХП методи је одређивање тежинских фактора различитих елемената у хијерархији. Пошто су са C_1, C_2, \dots, C_n обележени елементи (критеријуми) и са a_{ij} додељени приоритети, онда се матрица поређења (A) може написати у облику:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Ако се са w_1, w_2, \dots, w_n означе релативни тежински фактори, а $w_i/w_j = a_{ij}$, у случају савршене конзистентности поређења парова, матрица A , у којој се смештају резултати поређења, била би иста као матрица X :

$$X = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Пошто, приликом процењивања вредности или односа квалитативних елемената у хијерархији ретко постоји конзистентност, онда је потребно одређеним математичким апаратом, из матрице A одредити вредности вектора тежинских фактора w . Постоје различити начини да се из матрице A одреде вредности вектора тежинских фактора $w^T = \{w_1, \dots, w_n\}$ које би биле блиске апроксимације одговарајућих елемената матрице X .

Један од начина [77] је да се за матрицу A најпре одреди њена максимална сопствена вредност, λ_{max} , а затим се одговарајући вектор сопствених вредности матрице узима за вектор приближних вредности тежинских фактора, w^T , јер важи:

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

Вектор w се може добити решавањем система хомогених линеарних једначина:

$$Aw = nw \text{ или } (A - nI)w = 0 \quad (4.4)$$

Систем има нетривијално решење ако и само ако је n сопствена вредност матрице A , тј. ако је детерминанта матрице $(A - nI)$ једнака нули. Да би се постигло да w буде јединствено, његови елементи се нормализују тако што се поделе са њиховом сумом.

Исти аутор [86] предложио је још један начин за одређивање вектора тежинских фактора w , који укључују сумирање редова матрице поређења (по редовима или колонама) и нормализовање добијених сума:

$$\sum_{j=1}^n \frac{w_i}{w_j} = w_i \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{w_j} \right) \text{ или } \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{w_j} = \frac{1}{w_j} \left(\sum_{i=1}^n w_i \right) \quad (4.5)$$

Након одређивања вектора тежинских фактора, w се затим множи са тежинским фактором елемента са вишег нивоа који је коришћен као критеријум при поређењу. Процедура се понавља идући ка нижим нивоима хијерархије и на крају се одређују композитни тежински фактори свих алтернатива.

Доносилац одлуке, на крају процеса располаже са две кључне информације [87]:

- 1) познат је релативан значај сваке алтернативе у односу на циљ на врху хијерархије (оцена значајности),
- 2) утврђен је редослед алтернатива по значају (рангирање).

4.1.2 Конзистентност

Једна од најпрактичнијих особина АХП методе је да она дозвољава одређену неконзистентност у поређењу парова. Доносилац одлука је ретко конзистентан при процењивању вредности или односа квалитативних елемената у хијерархији. АХП метода поседује математичке инструменте којима идентификује и анализира неконзистентности доносиоца одлука у процесу расуђивања и вредновања елемената хијерархије и о томе обавештава доносиоца одлука.

Када би постојала могућност да се прецизно одреде вредности тежинских фактора свих елемената који се међусобно пореде на датом нивоу хијерархије, сопствене вредности матрице A биле би потпуно конзистентне. Међутим, због поређења великог броја парова, АХП метода није превише осетљива на грешке у расуђивању. АХП метода такође даје могућност да се мере грешке у расуђивању тако што се прорачунава степен конзистентности.

Степен конзистентности (CR) представља однос индекса конзистентности (CI) и случајног индекса (RI):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.6)$$

Даље, индекс конзистентности се рачуна према једначини:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.7)$$

Вредност случајног индекса (RI) зависи од реда матрице и приказан је у табели 4.4, где први ред представља ред матрице поређења, а други вредности случајних индекса.

Табела 4.4 *Случајни индекси (RI) [77]*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,0	0,0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Ако је степен конзистентности (CR) мањи од 0,10, резултат је довољно тачан и нема потребе за корекцијама у поређењима и понављању прорачуна [77]. Ако је степен конзистентности већи од 0,10 резултате би требало поново анализирати и установити разлоге неконзистентности, уклонити их делимичним понављањем поређења парова. Ако понављање процедуре у неколико корака не доведе до снижења степена конзистентности до толерантне границе од 0,10 треба поновити цео поступак.

4.1.3 Одређивање тежинских фактора при групном доношењу одлука

Значајна предност АХП методе је да се она може користити у групном доношењу одлука. У том случају се као проблем јавља начин одређивања тежинских фактора, односно сумирање индивидуалних одлука. У литератури се могу наћи различити начини одређивања тежинских фактора [88]:

- a) консензус доносиоца одлика;
- b) компромис или гласање када није могуће постизање консензуса;
- c) сумирање индивидуалних ставова;
- d) сумирање индивидуалних приоритета;
- e) разматрање интервала ставова.

Најчешће коришћени начини су сумирање индивидуалних ставова и сумирање индивидуалних приоритета.

4.1.3.1 Сумирање индивидуалних ставова

Коришћење ове методе подразумева да група доносиоца одлука постаје „нова индивидуа“ [89]. У овом случају, појединци су спремни да се одрекну својих преференција за добробит организације, они делују заједнички и обједињују своје ставове на такав начин да група доносиоца одлука постаје нови "појединац" и понаша се као један. Појединачни идентитети су изгубљени у свакој фази агрегације и синтеза хијерархије производи групне приоритете. Пошто не постоје појединачни приоритети,

сваки појединац не мора чак ни да има став за сваки пар критеријума, јер нема синтезе за сваког појединца – индивидуални приоритети су ирелевантни или непостојећи.

Сумирање индивидуалних ставова врши се на следећи начин. Нека је A_i , $i \in \{1, n\}$, где је n број алтернатива. Нека је r број доносиоца одлуке и k је k -ти доносиоц одлуке, тако да је $1 \leq k \leq r$. Нека је матрица поређења за k -тог доносиоца одлуке обележена са $A^{[k]} = (a_{ij}^{[k]})$, $i, j \in \{1, n\}$ и нека је одговарајући вектор приоритета $w^{[k]} = (w_1^{[k]}, w_2^{[k]}, \dots, w_n^{[k]})$ такав да је $w_1^{[k]} > 0$, $\sum_{i=1}^n w_i^{[k]} = 1$. Нека је β_k тежински фактор k -тог доносиоца одлуке у оквиру групне одлуке, такав да је $\sum_{k=1}^r \beta_k = 1$, $\beta_k \geq 0$. Тада је матрица поређења групе доносиоца одлуке:

$$A^{[G]} = (a_{ij}^{[G]}), \text{ где је } a_{ij}^{[G]} = \prod_{k=1}^r (a_{ij}^{[k]})^{\beta_k}, \quad i, j \in \{1, n\} \quad (4.8)$$

која се добија сумирањем индивидуалних ставова. Вектор приоритета $w^{[G/P]}$ се добија из ове матрице коришћењем једне од постојећих метода: методом геометријске средине или геометријске средине врсте.

4.1.3.2 Сумирање индивидуалних приоритета

Коришћењем ове методе доносиоци одлука делују као индивидуе са различитим системом вредности што резултира различитим рангирањем алтернатива [89].

У овом случају вектор приоритета се израчунава за сваког појединачног доносиоца одлуке, $w^{[k]} = (w_i^{[k]})$, $k = 1, \dots, r$, а затим се сумирају да би се добио вектор приоритета групе доносиоца одлука.

$$w_i^{[G/P]} = \prod_{k=1}^r (w_i^{[k]})^{\beta_k}, \quad i = 1, \dots, n \quad (4.9)$$

Сумирање индивидуалних приоритета свих доносиоца одлука може се извршити коришћењем геометријске или аритметичке средине.



5 СИСТЕМ ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ ПРИ ОЦЕНИ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ

Модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом развијен је као систем за подршку одлучивању, са циљем да омогући доносиоцима одлука избор најбољег сценарија управљања отпадом са аспекта одрживости, с обзиром на изабране критеријуме, односно индикаторе одрживог развоја.

Доношење одлука је процес избора између два или више алтернативних путева деловања ради постизања циља или циљева [90]. Доношење одлука је сложен процес који се разматра кроз неколико фаза:

1. Дефинисање проблема,
2. Конструкција модела који описује реалан проблем,
3. Идентификација и оцена могућих решења моделираног проблема и
4. Поређење, избор и препорука могућих решења проблема.

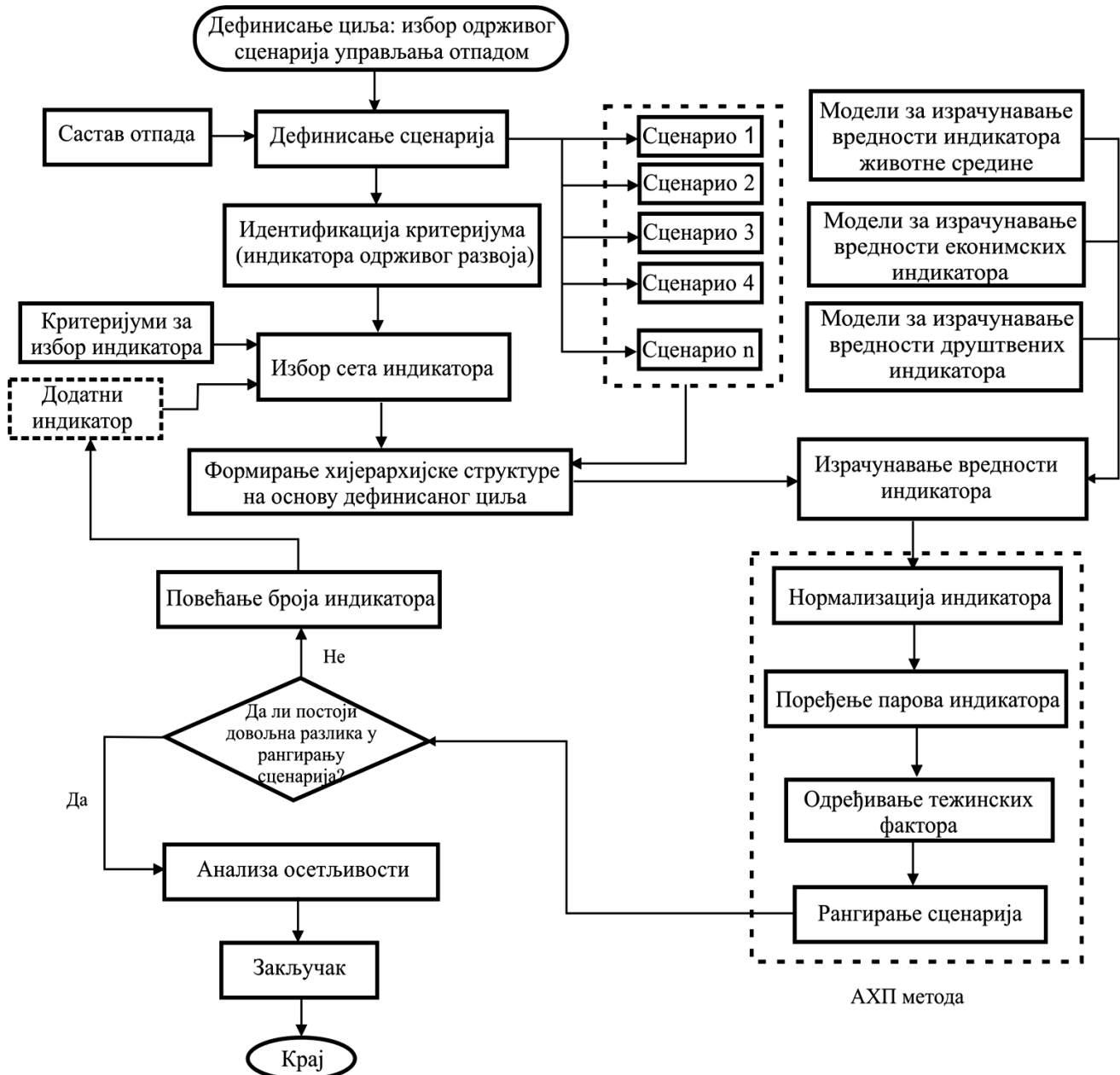
Систем за подршку одлучивању заснован је на моделима или знању, чија је намена подршка доносиоцима одлука у доношењу одлука у полуструктурираним и неструктурираним ситуацијама. Овакав систем не замењује људе, већ само побољшава њихову способност доношења одлука [91]. Сви системи за подршку одлучивању имају одређене заједничке елементе, од којих је најважнији постојање модела, који омогућава анализу и интерпретацију података у конкретним проблемским ситуацијама. Треба истаћи да модел представља поједностављену слику или апстракцију стварности, чија је основна намена смањење сложености система који се разматра, чиме се омогућава усмеравање пажње само на битне елементе система. Моделирање процеса доношења одлуке олакшава подршку одлучивању и поједностављује сам процес одлучивања.



5.1 Модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом

На основу свега описаног у претходним поглављима (особина отпада, особина различитих третмана отпада, врста индикатора одрживог развоја, критеријума за избор индикатора, као и особина различитих метода ВКА), развијен је модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом (у даљем тексту: модел) применом вишекритеријумске анализе – АХП методе, као систем за подршку одлучивању, који би доносиоцима одлука омогућио избор одрживог сценарија управљања отпадом [92]. Модел (слика 5.1) подразумева неколико корака у процедури оцене одрживости:

1. корак: идентификација циља и дефинисање сценарија управљања отпадом на основу количина и састава отпада,
2. корак: идентификација критеријума (индикатора одрживог развоја),
3. корак: избор сета индикатора на основу дефинисаних критеријума,
4. корак: формирање хијерархијске структуре на основу дефинисаног циља,
5. корак: израчунавање вредности индикатора применом развијених математичких модела,
6. корак: одређивање тежинских фактора критеријума АХП методом,
7. корак: рангирање сценарија,
8. корак: провера да ли су сценарији ранжирани са довољном разликом у приоритетима,
9. корак (опционо): повећавање броја критеријума (за случај да не постоји довољна разлика у рангирању сценарија),
10. корак: анализа осетљивости.



Слика 5.1 Модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом применом ВКА

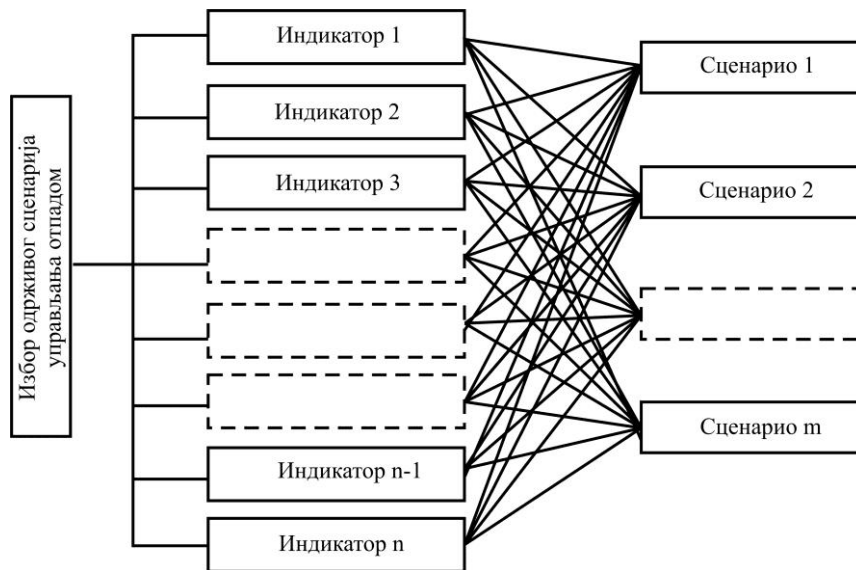
Модел у првом кораку, након дефинисања циља који у овом случају представља избор одрживог сценарија управљања отпадом, предвиђа дефинисање сценарија управљања отпадом. Како је у поглављу 2 речено, интегрални систем управљања отпадом подразумева да се проблем отпада решава комбинацијом више третмана отпада [7]. Обзиром да се отпад састоји од различитих фракција и да особине фракција отпада одређују њихову погодност за коришћење у одређеним третманима, могуће је комбинацијом различитих третмана решити проблем отпада. У поглављу 2, приликом описа третмана отпада, наведене су фракције отпада које су погодне за одређене третмане. На основу састава и количине отпада која се генерише на одређеној

територији, као и на основу намера доносиоца одлука, стратешких докумената из области управљања отпадом и законске регулативе врши се дефинисање сценарија управљања отпадом (различите комбинације третмана отпада којима се решава питање отпада у оквиру интегралног система управљања отпадом).

У другом кораку, предвиђена је идентификација критеријума (индикатора одрживог развоја) на основу којих се оцењује одрживост сценарија управљања отпадом. У поглављу 3 описан је широк спектар индикатора одрживог развоја са посебним освртом на енергетске индикаторе и индикаторе везане за отпад. У поглављу 3.4 идентификовани су индикатори који се могу користити за оцену одрживости сценарија управљања отпадом у Републици Србији, а који су груписани у неколико целина (група): индикатори заштите животне средине, индикатори који се односе на отпад, економски индикатори и друштвени индикатори.

Од идентификованих индикатора, врши се избор сета индикатора. Сет индикатора се бира тако да осликава приоритете доносиоца одлука, као и да јасно и потпуно описују најважније утицајне факторе појединих третмана отпада, као комбинација енергетских и индикатора везаних за отпад. Избор сета индикатора врши се на основу предложених критеријума за избор индикатора (наведених у поглављу 3.4).

У следећем кораку се формира хијерархијска структура на основу дефинисаног циља (слика 5.2): избор одрживог сценарија управљања отпадом, а на основу дефинисаних сценарија управљања отпадом и изабраног сета индикатора одрживог развоја, као критеријума за оцену одрживости. На првом, највишем нивоу хијерархијске структуре је циљ, на другом нивоу су групе индикатора: индикатори заштите животне средине, индикатори који се односе на отпад, економски индикатори и друштвени индикатори, на трећем нивоу су изабрани индикатори одрживог развоја и на четвртном, најнижем нивоу се налазе дефинисани сценарији управљања отпадом.



Слика 5.2 Хијерархијска структура АХП методе

Наредни корак је израчунавање вредности индикатора. Вредности индикатора се рачунају помоћу модела за израчунавање или се усвајају на основу литературних података.

Када су у питању вредности индикатора животне средине, до сада су развијени и у литератури се могу наћи, различити модели за њихово израчунавање: IWM – Integrated Waste Management Model for Municipalities [93], WARM – Waste Reduction Model [94], WASTED – Waste Analysis Software Tool for Environmental Decision model [95], ORWARE – Organic Waste research model [96], LCA-IMW – Municipal Solid Waste Management System (MSWMS) Assessment Tool [97] који на основу количине и састава отпада, као и примењеног третмана отпада пружају могућност израчунавања количине емитованих загађивача у ваздух, воду и земљиште, смањење запремине отпада итд.

Приликом израчунавања економских индикатора (наведени у поглављу 3.4: инвестициони трошкови, оперативни трошкови, приходи од продаје произведене енергије и секундарних сировина из отпада, трошкови горива и трошкови енергије), мора се узети у обзир структура трошкова и прихода, као и локалне економске прилике и важеће тржишне цене. У литератури се могу наћи различити подаци о трошковима везаним за елементе система управљања отпадом, али се они не могу применити у свим случајевима, јер поред економских прилика зависе и од важеће законске регулативе. Због тога ће у наредним поглављима (поглавља 5.2, 5.3 и 5.4) бити представљени математички модели који су развијени у оквиру овог модела и који се могу применити за израчунавање економских индикатора (инвестициони трошкови,



оперативни трошкови и приходи) појединих третмана отпада пошто омогућују укључивање економских прилика који важе на одређеној територији.

Када су у питању друштвени индикатори (наведени у поглављу 3.4: број новотворених радних места, друштвена прихватљивост третмана отпада), израчунавање њихових вредности је комплексан задатак, јер су они често квалитативног карактера. Поред тога, приликом оцене одрживости система, тек се задњих година у обзир узима и друштвена компонента одрживости, па се модели за израчунавање вредности друштвених индикатора ретко могу наћи у литератури. Једино се могу наћи искуствени подаци о броју радних места потребних за рад одређених постројења за третман отпада. У наредном поглављу (поглавље 5.5) ће бити представљен математички модел који је такође развијен у оквиру овог модела и који се може применити за израчунавање друштвеног индикатора “друштвена прихватљивост”.

У шестом кораку спроводи се процедура вишекритеријумске анализе АХП методом, која предвиђа одређивање тежинских фактора критеријума поређењем парова, која је објашњена у поглављу 4.1. Приликом поређења парова и одређивања релативног приоритета индикатора, модел предвиђа учешће групе доносиоца одлука различитих профила, па се одређивање тежинских фактора критеријума у моделу врши методама представљеним у поглављу 4.1.3.

На основу одређених тежинских фактора, врши се одређивање релативног значаја сваког сценарија у односу на циљ на врху хијерархије (оцена значајности) и утврђује редослед сценарија по значају (рангирање).

У случају да је релативни значај два сценарија у односу на циљ приближно исти, модел предвиђа повећање броја индикатора, укључивањем додатног индикатора из групе претходно идентификованих индикатора и понављањем процедуре, почев од 3. корака.

Последњи корак који је предвиђен у развијеном моделу је анализа осетљивости, којом се мењају вредности тежинских фактора критеријума у циљу утврђивања њиховог утицаја на редослед рангирања сценарија. Уколико се резултат рангирања не мења, сматра се да су резултати поуздани [98].

5.2 Математички модели за израчунавање економских индикатора

Ко што је речено у поглављу 3.4, сет економских индикатора из кога ће бити изабрани индикатори за оцену одрживости сценарија управљања отпадом састоји се од следећих индикатора: инвестициони трошкови, оперативни трошкови, приходи од продаје произведене енергије и секундарних сировина из отпада, трошкови горива и трошкови енергије.

С обзиром да сви горе наведени индикатори у великој мери зависе од локалних економских услова, неопходно је да се приликом њиховог израчунавања изврши анализа структуре трошкова и прихода и укључе тржишне цене које важе на одређеној територији, како би се добиле тачне (или приближно тачне) вредности индикатора који се користе у оцени одрживости сценарија управљања отпадом.

У наредним подпоглављима биће приказани развијени математички модели за израчунавање инвестиционих трошкова, оперативних трошкова и прихода.

5.2.1 Претпоставке у оквиру модела и границе система

Приликом развијања модела за израчунавање економских индикатора усвојене су одређене претпоставке, као и границе система за које су модели развијени:

- Као улазне променљиве за развијање модела узете су количина генерисаног отпада (m_o) и састав отпада.
- Капацитет постројења за третман отпада за које се рачунају трошкови и приходи зависи од улазне променљиве (количина отпада), пројектованог времена трајања постројења, броја становника која генерише улазну количину отпада и израчунава се по једначини 5.1 [99]:

$$x = PP (1 + GR_{PP})^n w_c (1 + GR_{KF})^n \quad (5.1)$$

где је x – прогнозирана количина отпада за задњу годину рада постројења (капацитет постројења), PP – број становника која генерише улазну количину отпада, GR_{PP} – стопа пораста броја становника, w_c – количина отпада по становнику ($w_c = \frac{m_o}{PP}$), GR_{KF} – пораст количине отпада по становнику за време трајања рада постројења, n – пројектовано времен трајања постројења.

- Границе система третмана отпада приказане су на сликама у поглављу 2: слика 2.3 за инсинерацију, слика 2.5 за анаеробну дигестију, слика 2.6 за компостирање, слика 2.7 за сепарацију мешаног отпада и слика 2.11 за депоновање отпада.
- Претпостављено је да се састав отпада током пројектованог времена трајања постројења не мења.
- Доња топлотна моћ отпада (H_d) израчунава се на основу једначине 2.1.
- Састав биогаса који се добија анаеробном дигестијом израчунава се на основу једначине 2.2.
- Добитак енергије из биогаса израчунава се под претпоставком да је доња топлотна моћ метана у биогасу 36 MJ/m^3 или 10 kWh/m^3 и да се 80 % органске фракције отпада разложи.
- Пројектовано време трајања постројења зависи од врсте постројења и креће се од 20 – 40 година. За потребе развијања модела усвојено је за сва постројења исто пројектовано време трајања.
- Као претпоставка при развијању модела за израчунавање економских индикатора узето је да постоји једнакост између прихода и прилива новца, као и расхода и одлива новца.
- Модел за израчунавање прихода остварених инсинерацијом отпада, анаеробном дигестијом отпада, као и искоришћењем депонијског гаса при депоновању отпада урађен је на основу претпоставке да се продукти сагоревања при инсинерацији, биогас добијен анаеробном дигестијом, односно депонијски гас користе у системима когенерације за добијање електричне и топлотне енергије.

5.2.2 Математички модел за израчунавање индикатора – инвестициони трошкови

Анализом структуре трошкова закључено је да инвестициони трошкови ($IT(x)$) изградње и набавке постројења за третман отпада зависе од капацитета постројења. Структура трошкова која је представљена једначином 5.2 садржи најопштије елементе у циљу поједностављења модела за израчунавање инвестиционих трошкова и састоји се, у највећој мери, од:

- пројектних и трошкова добијања дозвола ($PT(x)$),

- трошкова куповине земљишта ($TZ(x)$),
- трошкова припреме терена ($TT(x)$),
- трошкови изградње објеката за смештај постројења и опреме ($GT(x)$) и
- трошкова набавке постројења и опреме ($TO(x)$).

$$IT(x) = PT(x) + TZ(x) + TT(x) + GT(x) + TO(x) \quad (5.2)$$

Пројектни и трошкови добијања дозвола, у највећој мери зависе од површине објеката за смештај постројења и опреме ($PO(x)$) и цене пројектовања и добијања дозвола по m^2 (C_p) (једначина 5.3).

$$PT(x) = PO(x) C_p \quad (5.3)$$

Трошкови куповине земљишта зависе од укупне површине земљишта потребне за изградњу објеката, прилазних путева и потребне инфраструктуре, складишта за отпад и производе третмана отпада ($PZ(x)$), као и тржишне цене земљишта по m^2 (C_z) (једначина 5.4).

$$TZ(x) = PZ(x) C_z \quad (5.4)$$

Трошкови припреме терена (ископавања, нивелисање, изградња приступних путева, прикључци на комуналну инфраструктуру) зависе, у највећој мери, такође од укупне површине земљишта потребне за изградњу објеката, прилазних путева и потребне инфраструктуре, складишта за отпад и производе третмана отпада ($PZ(x)$), као и цене припреме терена по m^2 (C_{pt}), која зависи од врсте радова који се врше приликом припреме терена (једначина 5.5).

$$TT(x) = PZ(x) C_{pt} \quad (5.5)$$

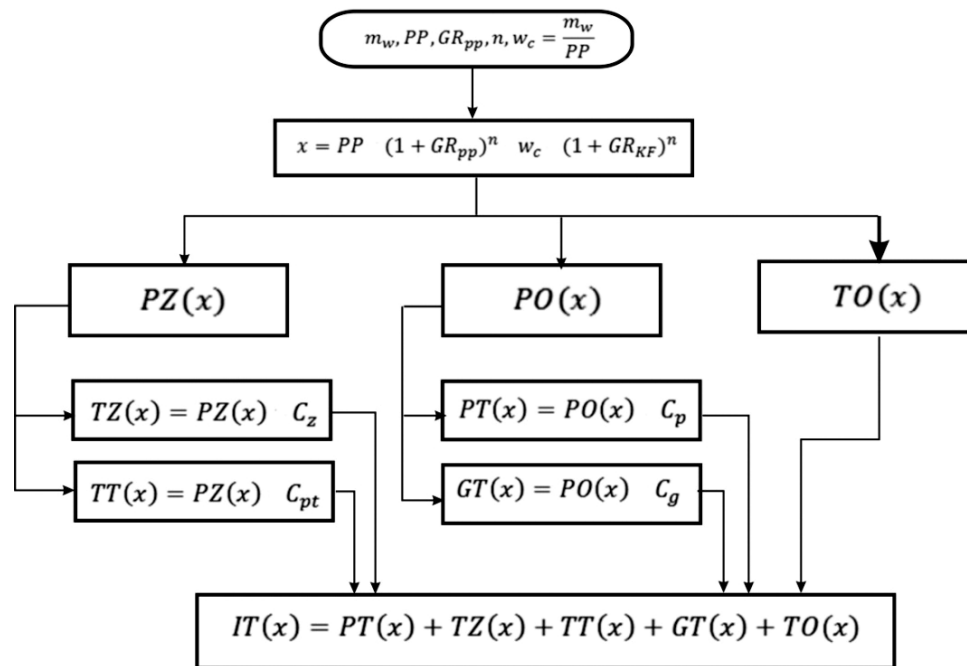
Површина земљишта ($PZ(x)$) потребна за изградњу објеката, прилазних путева и потребне инфраструктуре, складишта за отпад и производе третмана отпада, као и објеката за смештај постројења и опреме ($PO(x)$) зависе од капацитета постројења за третман отпада, али првенствено зависе од врсте постројења за третман отпада. Пошто у Србији не постоје постројења за третман отпада, за потребе овог рада, а на основу података из литературе и података из светске праксе, развијене су једначине и релације за израчунавање потребне површине земљишта и површине објеката у зависности од капацитета постројења, које су приказане у наредним подпоглављима, за различите третмане отпада.

Трошкови изградње објеката за смештај постројења и опреме зависе од површине објеката за смештај постројења и опреме ($PO(x)$) и цене изградње по m^2 (C_g) (једначина 5.6).

$$GT(x) = PO(x) C_g \quad (5.6)$$

Из истог разлога непостојања постројења за третман отпада у Србији, не постоје подаци за трошкове набавке постројења и опреме ($TO(x)$), па су за потребе овог рада усвојене емпиријске једначине из литературе у зависности од врсте постројења које су такође приказане у наредним подпоглављима.

На слици 5.1 приказан је блок дијаграм математичког модела за израчунавање инвестиционих трошкова третмана отпада [100].



Слика 5.3 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање инвестиционих трошкова

5.2.2.1 Инсинерација

Увидом у литературу, сакупљени су подаци о површини земљишта и површини објеката потребној за смештај постројења за инсинерацију отпада у зависности од капацитета постројења који су приказани у табели 5.1.

Табела 5.1 Потребна површина земљишта и објеката за смештај постројења за инсинерацију отпада [101; 102; 103; 5]

Капацитет постројења (x(t/год))	Површина земљишта PZ (ha)	Површина објеката PO (m ²)
90.000	1,7	5.850
150.000	3,2	15.750
210.000	3,7	9.435
240.000	6,6	8.468
250.000	2-5	7.200
250.000	4	6.600
292.000	1,6	

На основу података из табеле 5.1 развијена је једначина за потребну површину земљишта у зависности од капацитета постројења (једначина 5.7).

$$PZ(x) = (1,25 \div 2,00) \frac{x}{100.000} \quad (5.7)$$

Такође је на основу података из табеле 4.1 развијена једначина за потребну површину објеката за смештај постројења у зависности од капацитета постројења (једначина 5.8).

$$PO(x) = (2.640 \div 6.500) \frac{x}{100.000} \quad (5.8)$$

Као што је претходно речено, обзиром да у Србији не постоји ниједно постројење за инсинерацију отпада, нити се у Србији производи, подаци о трошковима набавке оваквог постројења ($TO(x)$) морају се усвојити из литературе или светске праксе. За потребе овог рада усвојене су емпиријске једначине из литературе [37] добијене статистичком обрадом података из земаља Европске уније, које дају разумно прецизну апроксимацију трошкова набавке постројења и опреме у зависности од капацитета постројења (једначина 5.9).

$$TO(x) = 4.900 x^{0,8} \quad (5.9)$$

5.2.2.2 Анаеробна дигестија

Литературни подаци о потребној површини земљишта и површини објеката за смештај постројења за анаеробну дигестију отпада у зависности од капацитета постројења приказани су у табели 5.2.

Табела 5.2 Потребна површина земљишта и објеката за смештај постројења за анаеробну дигестију отпада [101; 104; 105; 106; 5]

Капацитет постројења (x(t/год))	Површина земљишта PZ (ha)	Површина објеката PO (m ²)
5.000		2.500
38.000	1,5	
40.000	0,6	2.420
40.000	0,6	2.420
60.000	1,8	
164.000		5.420
300.000		35.000

На основу података из табеле 5.2 развијене су једначине за потребну површину земљишта у зависности од капацитета постројења (једначина 5.10) и једначина за потребну површину објеката за смештај постројења у зависности од капацитета постројења (једначина 5.11).

$$PZ(x) = (1,50 \div 3,00) \frac{x}{100.000} \quad (5.10)$$

$$PO(x) = (2.400 \div 11.500) \frac{x}{100.000} \quad (5.11)$$

Такође, у Србији не постоји ниједно постројење за анаеробну дигестију отпада, нити се у Србији производи, па се подаци о трошковима набавке оваквог постројења ($TO(x)$) морају усвојити из литературе или светске праксе. Због тога су, за потребе овог рада усвојене емпиријске једначине из литературе [37] добијене статистичком обрадом података из земаља Европске уније, које дају разумно прецизну апроксимацију трошкова набавке постројења и опреме у зависности од капацитета постројења (једначина 5.12).

$$TO(x) = 34.200 x^{0,55} \quad (5.12)$$

5.2.2.3 Компостирање

Обзиром на различите технологије које се могу применити приликом компостирања отпада, значајно се разликују и потребне површине земљишта и објеката. На основу сакупљених података о површини земљишта и објеката потребној за компостирање отпада, увидом у литературу [107; 8; 106], сакупљени су подаци о површини земљишта и објеката потребној за смештај постројења за компостирање отпада. На основу доступних података закључује се да је за компостирање отпада статичком методом потребна површина земљишта (PZ) од 0,5 – 1,5 m²/t/год, за

компостирање отпада методом агитације потребна површина земљишта (PZ) од 0,5–1,45 m²/t/год, а за компостирање отпада у суду потребна површина земљишта (PZ) од 0,1–0,8 m²/t/год и 200 m² за само постројење.

У Србији постоји мали број постројења за компостирање отпада, која су углавном малог капацитета и заснована на технологији статичких метода или метода са агитацијом. Због тога се подаци о трошковима набавке постројења ($TO(x)$) за компостирање било које технологије морају усвојити из литературе или светске праксе. За потребе овог рада усвојене су емпиријске једначине из литературе [37] добијене статистичком обрадом података из земаља Европске уније, које дају разумно прецизну апроксимацију трошкова набавке постројења и опреме. Једначином 5.13 представљени су инвестициони трошкови набавке постројења за компостирање на отвореном (статичке или методе са агитацијом) у зависности од капацитета постројења.

$$TO(x) = 4.000 x^{0,66} \quad (5.13)$$

Једначином 5.14 представљени су инвестициони трошкови набавке постројења за компостирање у суду у зависности од капацитета постројења.

$$TO(x) = 2.100 x^{0,76} \quad (5.14)$$

5.2.2.4 Селекција и сепарација отпада

Као што је наведено у поглављу 2.4.2 постоје различите врсте постројења за сепарацију отпада, па се и потребне површине земљишта и објеката значајно разликују. Увидом у литературу [38; 107], сакупљени су подаци о површини земљишта и објеката потребној за смештај постројења за сепарацију отпада. На основу доступних података закључује се да је за селекцију и сепарацију отпада потребна површина земљишта (PZ) од 0,1 – 0,3 m²/t/год.

У литератури се такође могу наћи подаци о трошковима набавке постројења и опреме за сепарацију отпада. За потребе овог рада усвојене су емпиријске једначине из литературе [108] добијене статистичком обрадом података из земаља Европске уније, које дају разумно прецизну апроксимацију трошкова набавке постројења и опреме. Једначином 5.15 представљени су инвестициони трошкови набавке постројења за сепарацију мешаног отпада у зависности од капацитета постројења.

$$TO(x) = 183.416 x^{0,76} \quad (5.15)$$

5.2.2.5 Депоновање

Површина земљишта (PZ) потребна за изградњу депоније зависи од пројектованог времена рада депоније, броја становника, количине отпада по једном становнику, топографије терена (висине тела депоније), степена сабијања отпада (густине сабијеног отпада), количине материјала за покривање отпада.

Количина отпада која се генерише и коју треба депоновати у пројектованом времену рада депоније, одређује се на основу броја становника и коефицијена пораста броја становника по једначини 5.16:

$$S_b = S_p (1 + K_p/100)^n \quad (5.16)$$

где је: S_b – будући број становника, S_p – постојећи број становника, K_p – коефицијент пораста броја становника за једну годину (%), n – пројектовано време рада депоније.

Запремина отпада и инертног материјала коју треба депоновати (V) израчунава се на основу једначине 5.17:

$$V = \frac{G_o}{\rho_o} + \frac{G_{pm}}{\rho_{pm}} \quad (5.17)$$

где је: G_o – тежина отпада који се депонује (t), G_{pm} – тежина покривног материјала (t), ρ_o – средња густина сабијеног отпада (t/m^3), ρ_{pm} – густина сабијеног покривног материјала (t/m^3).

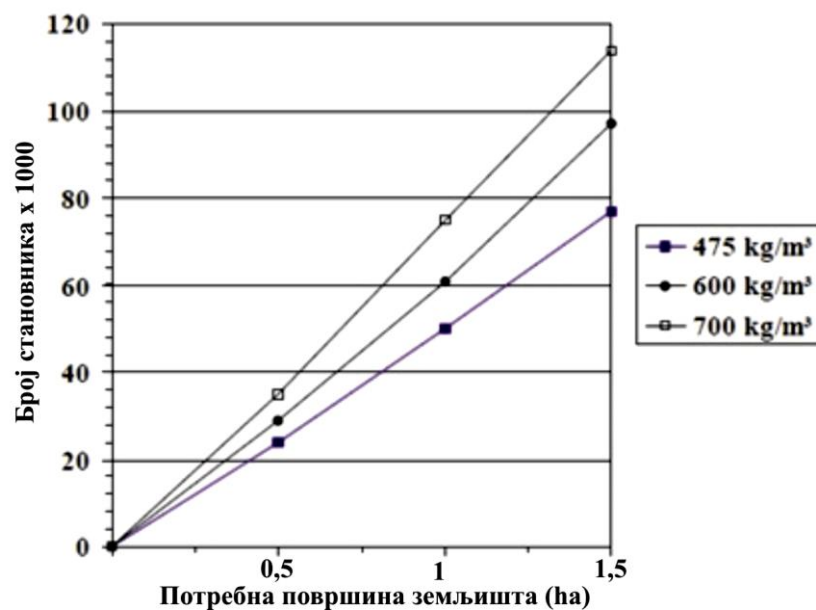
Површина земљишта потребна за изградњу депоније израчунава се на основу једначине 5.18:

$$PZ = \frac{V}{h} \quad (5.18)$$

где је h – висина тела депоније и креће се од 10 – 20 m, а ретко преко 30 m.

Овако добијена површина се увећава за 15% за смештај пратеће инфраструктуре.

У литератури се могу наћи приближне корелације (у облику дијаграма) које дају зависност између броја становника и површине земљишта потребног за изградњу депоније. На слици 5.4 приказана је зависност потребне површине земљишта за изградњу депоније од броја становника и степена сабијања отпада [109].



Слика 5.4 Зависност потребне површине земљишта од броја становника и степена сабијања отпада

У циљу поједностављења поступка израчунавања елемената инвестиционих трошкова, аутор предлаже употребу емпиријске једначине из литературе [37] за инвестиционе трошкове набавке опреме за депоновање отпада, добијене статистичком обрадом података из земаља Европске уније, које дају разумно прецизну апроксимацију трошкова набавке постројења и опреме. Једначинама 5.16а и 5.16б представљени су инвестициони трошкови опреме за депоновања отпада у зависности од капацитета депоније.

Инвестициони трошкови изградње тела депоније капацитета 500 – 60.000 t годишње (једначина 5.19а):

$$TO(x) = 5.700 x^{0,61} \quad (5.19a)$$

Инвестициони трошкови изградње тела депоније капацитета 60.000 – 1.500.000 t годишње (једначина 5.19б):

$$TO(x) = 3.300 x^{0,71} \quad (5.19б)$$

5.2.3 Математички модел за израчунавање индикатора – оперативни трошкови

Анализом структуре оперативних трошкова закључено је да се оперативни трошкови ($OT(x)$) састоје од (једначина 5.20):

- фиксних оперативних трошкова, који не зависе од количине третираног отпада ($OT_{\text{фик}}$),

- варијабилних оперативних трошкова, који зависе од количине третираног отпада ($OT_{var}(x)$).

$$OT(x) = OT_{fix} + OT_{var}(x) \quad (5.20)$$

Ради поједностављења модела, у обзир је узето да се фиксни оперативни трошкови састоје од (једначина 5.21):

- трошкова зараде (који зависе од броја запослених, процента квалификоване и неквалификоване радне снаге и нивоа зарада) (T_z),
- трошкова одржавања објеката (T_{ob}) и
- трошкова одржавања опреме (T_{oo}).

$$OT_{fix} = T_z + T_{ob} + T_{oo} \quad (5.21)$$

Трошкови зараде зависе од броја запослених (B_z) и нивоа зарада (C_r) (једначина 5.22).

$$T_z = B_z C_r \quad (5.22)$$

Увидом у литературу и примере из светска праксе могу се наћи подаци о броју запослених потребних за опслуживање постројења за третман отпада. Овај број се углавном односи на запослене директно везане за процес третмана отпада. У табели 5.4 приказан је оквирни број потребних запослених за опслуживање постројења за третман отпада.

Табела 5.3 Број запослених потребних за третман отпада [5; 110; 111]

Третман отпада	Број запослених (B_z) за третман 100.000 t отпада
Инсинерација	25 – 40
Анаеробна дигестија	9 – 22
Компостирање	10 – 20
Сепарација отпада	100 – 400
Депонување	8 – 12

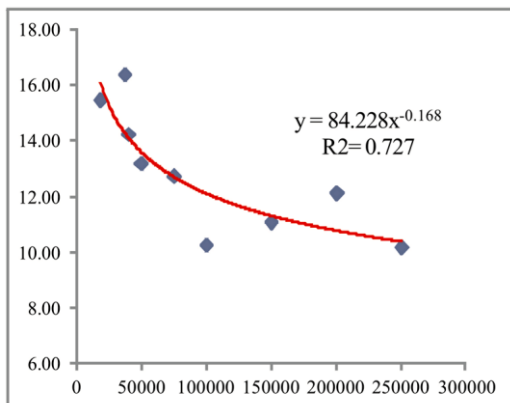
Трошкови одржавања се у литератури, у циљу лакшег израчунавања, углавном изражавају као проценат инвестиционих трошкова. Генерално, трошкови одржавања објеката (T_{ob}) износе 1% инвестиционих трошкова, док трошкови одржавања опреме (T_{oo}) износе 4% инвестиционих трошкова [5; 99; 103].

Варијабилни оперативни трошкови ($OT_{var}(x)$) зависе од врсте третмана отпада, типа постројења за третман отпада, врсте и елемената система за контролу емисије

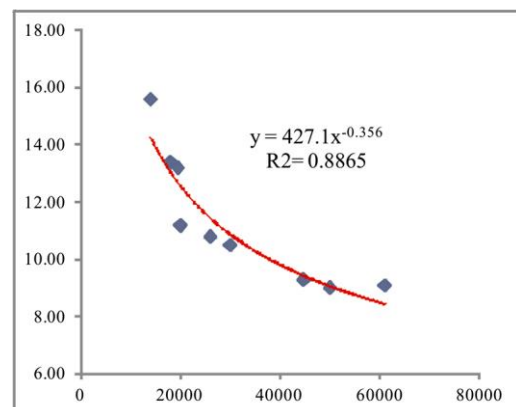
гасова (када је у питању инсинерација), важеће законске регулативе у области заштите животне средине и многих других фактора. Такође је, ради поједностављења узето да се варијабилни оперативни трошкови (зависно од третмана отпада) састоје од:

- трошкова набавке хемикалија за третман издувних гасова (код термичких третмана отпада),
- трошкова енергената,
- трошкова за потрошњу воде,
- трошкова третмана отпадних вода и
- трошкова третмана остатака након третмана отпада.

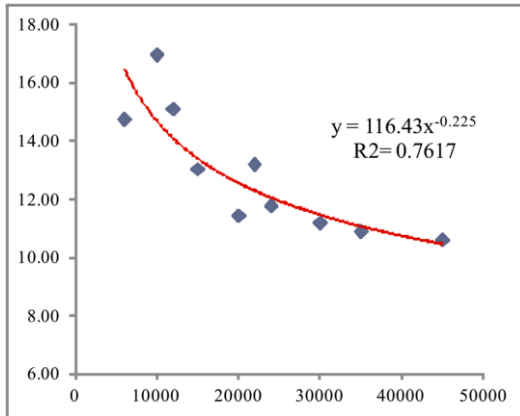
Као што је претходно наглашено, с обзиром да се у Србији осим депоновања, не примењују остали третмани отпада, у оквиру развијања математичког модела за израчунавање оперативних трошкова, статистичком анализом и обрадом података доступних у литератури за варијабилне оперативне трошкове различитих третмана отпада у земљама ЕУ, добијене су једначине које се могу применити за израчунавање варијабилних оперативних трошкова у зависности од количине отпада. С обзиром на различите економске услове у земљама ЕУ, проблем уједначавања цена варијабилних трошкова третмана отпада се решава применом тзв. исправљених цена (цена у сенци). Анализом је утврђено да изостанак примене ове методологије, обзиром на њену компликованост, у конкретном случају неће утицати на квалитет добијених резултата. На слици 5.5 а)-д) приказана је зависност варијабилних оперативних трошкова третмана отпада од количине третираног отпада.



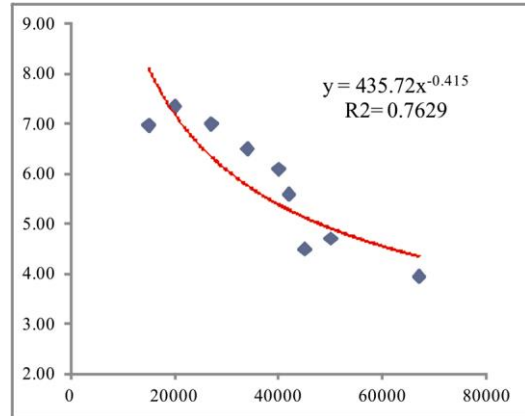
а)



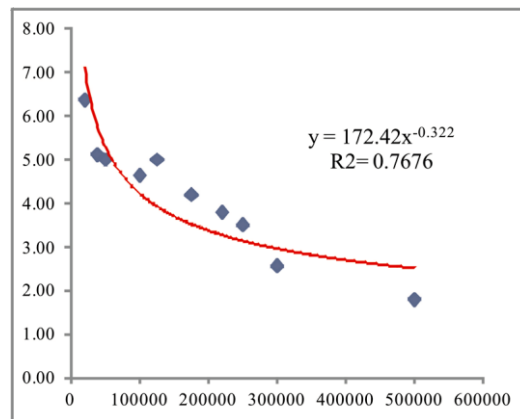
б)



в)



г)



д)

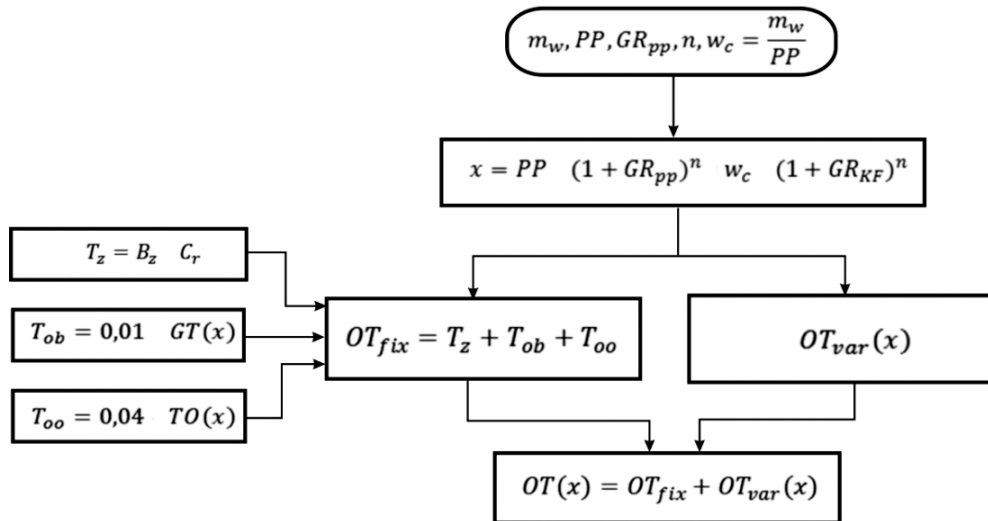
Слика 5.5 Варијабилни оперативни трошкови третмана отпада: а) инсинерација, б) анаеробна дигестија, в) компостирање, г) сепарација отпада, д) депоновање

У табели 5.5 приказане су добијене функције варијабилних оперативних трошкова третмана отпада у зависности од количине третираног отпада, на основу којих се могу израчунати варијабилни оперативни трошкови.

Табела 5.4 Функције варијабилних оперативних трошкова третмана отпада

Третман отпада	Функција варијабилних трошкова $OT_{var}(x)$ (€/t)	Количина отпада (t)
Инсинерација	$OT_{var}(x) = 84,23 x^{-0,168}$	$18700 \leq x \leq 250000$
Анаеробна дигестија	$OT_{var}(x) = 427,10 x^{-0,356}$	$14000 \leq x \leq 61000$
Компостирање	$OT_{var}(x) = 116,43 x^{-0,225}$	$6000 \leq x \leq 45000$
Сепарација отпада	$OT_{var}(x) = 435,72 x^{-0,415}$	$15000 \leq x \leq 67000$
Депоновање	$OT_{var}(x) = 172,42 x^{-0,322}$	$20000 \leq x \leq 500000$

На слици 5.6 приказан је блок дијаграм математичког модела за израчунавање оперативних трошкова третмана отпада.



Слика 5.6 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање оперативних трошкова

5.2.4 Математички модел за израчунавање индикатора – приходи

Приходи од третмана отпада (P) зависе од врсте третмана и остварују се продајом производа добијених третманом отпада. У поглављу 2, идентификовани су производи који се добијају различитим третманима отпада. Генерално, од третмана отпада могу се остварити следећи приходи (једначина 5.23):

- приходи од таксе за третман отпада (P_t),
- приходи од продаје произведене електричне енергије (P_{ee}),
- приходи од продаје произведене топлотне енергије (P_{te}),
- приходи од продаје компоста (P_k) и
- приходи од продаје секундарних сировина (P_{ss}).

$$P = P_t + P_{ee} + P_{te} + P_k + P_{ss} \quad (5.23)$$

Приход од таксе за третман отпада зависи од висине таксе (T_{to}) (разликује се од врсте третмана отпада и економских прилика) и количине отпада која се предаје на третман (m_o) (једначина 5.24).

$$P_t = T_{to} m_o \quad (5.24)$$

Начин израчунавања осталих прихода зависи од третмана отпада и биће детаљније разматрани у наредним подпоглављима.

5.2.4.1 Инсинерација

Приходи од продаје производа добијених инсинерацијом отпада састоје се од прихода од таксе за третман отпада (P_t) (једначина 5.24), прихода од продаје електричне енергије (P_{ee}) и прихода од продаје топлотне енергије (P_{te}) (једначина 5.25).

$$P = P_t + P_{ee} + P_{te} \quad (5.25)$$

Приходи од продаје произведене електричне енергије зависе од састава отпада, односно од доње топлотне моћи отпада H_d (једначина 2.1), ефикасности система за производњу електричне енергије (η_e), степена продаје произведене електричне енергије (α_e) (произведена електрична енергија се може продати 100% једноставним прикључењем система за производњу на дистрибутивну мрежу), цене произведене електричне енергије по kWh (C_e) и количине отпада која се предаје на третман (m_o) (једначина 5.26).

$$P_{ee} = H_d \eta_e \alpha_e C_e m_o \quad (5.26)$$

Слично претходном, приходи од продаје произведене топлотне енергије зависе од састава отпада, односно од доње топлотне моћи отпада H_d (једначина 2.1), ефикасности система за производњу топлотне енергије (η_t), степена продаје произведене топлотне енергије (β_t), цене произведене топлотне енергије по kWh (C_t) и количине отпада која се предаје на третман (m_o) (једначина 5.27).

$$P_{te} = H_d \eta_t \beta_t C_t m_o \quad (5.27)$$

На слици 5.6 приказан је блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених инсинерацијом [100]



Слика 5.7 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених инсинерацијом

5.2.4.2 Анаеробна дигестија

Приходи од продаје производа добијених анаеробном дигестијом отпада (једначина 5.28) састоје се од прихода од таксе за третман отпада (P_t) (једначина 5.24), прихода од продаје електричне енергије (P_{ee}), прихода од продаје топлотне енергије (P_{te}) и прихода од продаје компоста (P_k).

$$P = P_t + P_{ee} + P_{te} + P_k \quad (5.28)$$

Приходи од продаје произведене електричне енергије произведене коришћењем биогаза који је продукт анаеробне дигестије, зависе од количине и састава отпада, односно од количине и састава биогаза (једначина 2.2) и добитка енергије из биогаза (E_b), ефикасности система за производњу електричне енергије (η_e), степена продаје произведене електричне енергије (α_e) (произведена електрична енергија се може продати 100% једноставним прикључењем система за производњу на дистрибутивну мрежу), цене произведене електричне енергије по kWh (C_e) и количине отпада која се предаје на третман (m_o) (једначина 5.29).

$$P_{ee} = E_b \eta_e \alpha_e C_e m_o \quad (5.29)$$

Слично претходном, приходи од продаје произведене топлотне енергије зависе од количине и састава отпада, односно од количине и састава биогаза (једначина 2.2) и добитка енергије из биогаза (E_b), ефикасности система за производњу топлотне енергије (η_t), степена продаје произведене топлотне енергије (β_t), цене произведене

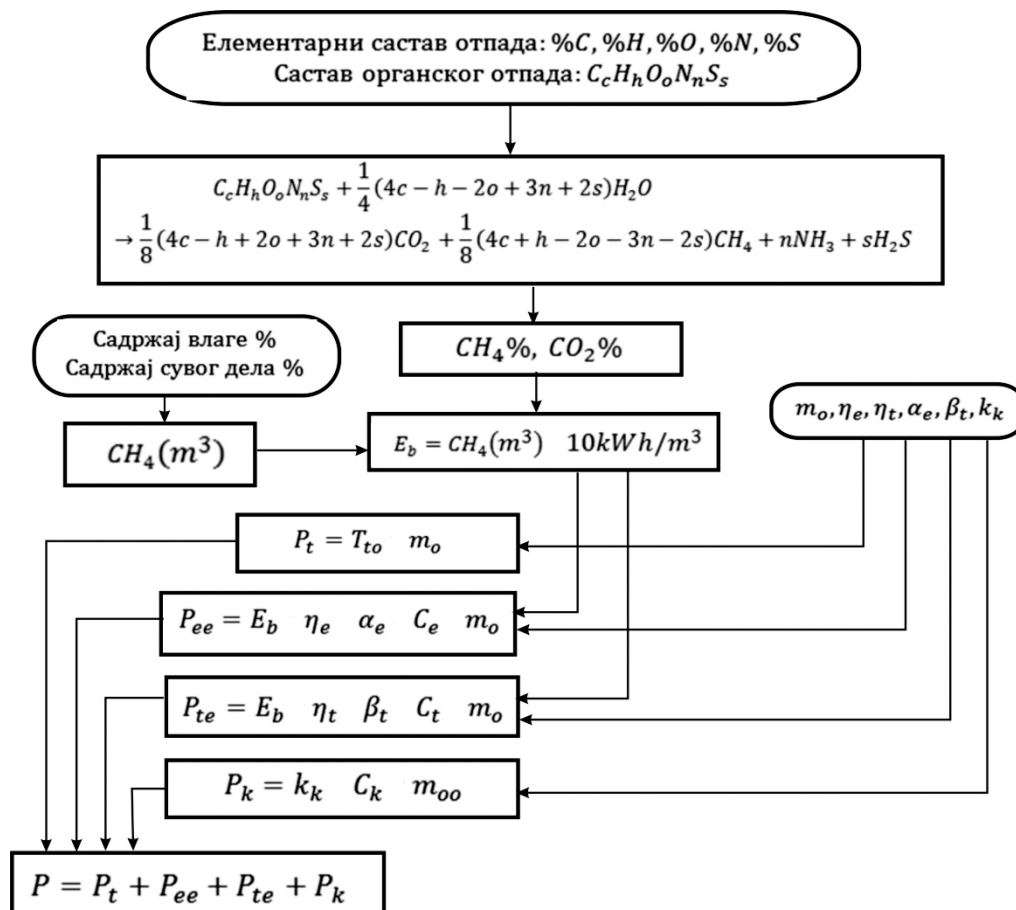
топлотне енергије по kWh (C_t) и количине отпада која се предаје на третман (m_o) (једначина 5.30).

$$P_{te} = E_b \eta_t \beta_t C_t m_o \quad (5.30)$$

Приходи од продаје компоста зависе од количине компоста (k_k) која се добије компостирањем 1 t органског отпада, цене компоста (C_k) и количине органског отпада који се компостира (m_{oo}) (једначина 5.31).

$$P_k = k_k C_k m_{oo} \quad (5.31)$$

На слици 5.7 приказан је блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених анаеробном дигестијом [100]



Слика 5.8 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених анаеробном дигестијом

5.2.4.3 Компостирање

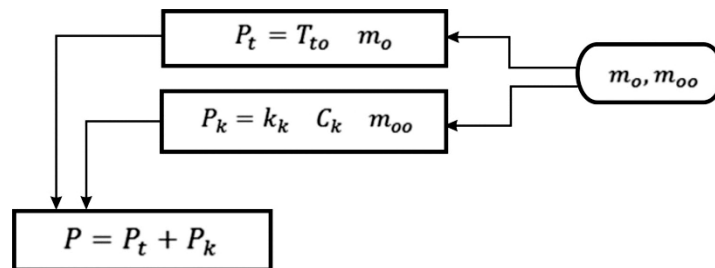
Приходи од продаје производа добијених компостирањем отпада (једначина 5.32) састоје се од прихода од таксе за третман отпада (P_t) (једначина 5.24) и прихода од продаје компоста (P_k).

$$P = P_t + P_k \quad (5.32)$$

Количина компоста која се добије компостирањем отпада зависи у највећој мери од састава отпада. У просеку се од 1 t органског отпада са садржајем влаге од 60 %, може добити 415 kg компоста [3].

Приходи од продаје компоста зависе од количине компоста (k_k) која се добије компостирањем 1 t органског отпада, цене компоста (C_k) и количине органског отпада који се компостира (m_{oo}) као што је приказано у једначини 5.31.

На слици 5.9 приказан је блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених компостирањем.



Слика 5.9 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених компостирањем

5.2.4.4 Селекција и сепарација отпада

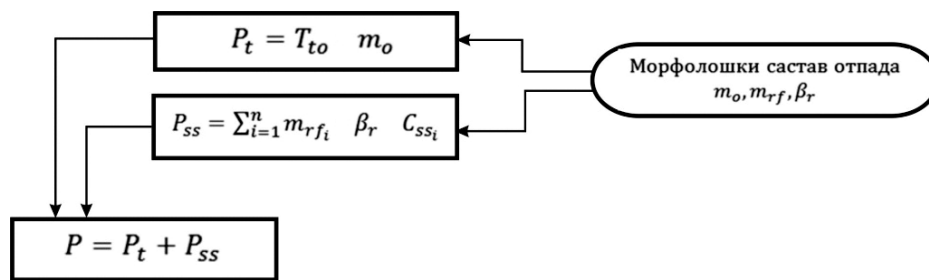
Приходи од продаје производа добијених сепарацијом отпада (једначина 5.33) састоје се од прихода од таксе за третман отпада (P_t) (једначина 5.24) и прихода од продаје секундарних сировина (P_{ss}).

$$P = P_t + P_{ss} \quad (5.33)$$

Приходи од продаје секундарних сировина зависе од количине рециклабилних фракција (m_{rf}), степена искоришћења количине отпада (β_r) и цене секундарних сировина (C_{ss}) (једначина 5.34).

$$P_{ss} = \sum_{i=1}^n m_{rf_i} \beta_r C_{ss_i} \quad (5.34)$$

На слици 5.10 приказан је блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених селекцијом и сепарацијом отпада.



Слика 5.10 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених селекцијом и сепарацијом отпада

5.2.4.5 Депоновање

Приходи од продаје производа добијених депоновањем отпада са искоришћењем биогаса (једначина 5.35) састоје се од прихода од таксе за третман отпада (P_t) (једначина 5.24), прихода од продаје електричне енергије (P_{ee}), прихода од продаје топлотне енергије (P_{te}).

$$P = P_t + P_{ee} + P_{te} \quad (5.35)$$

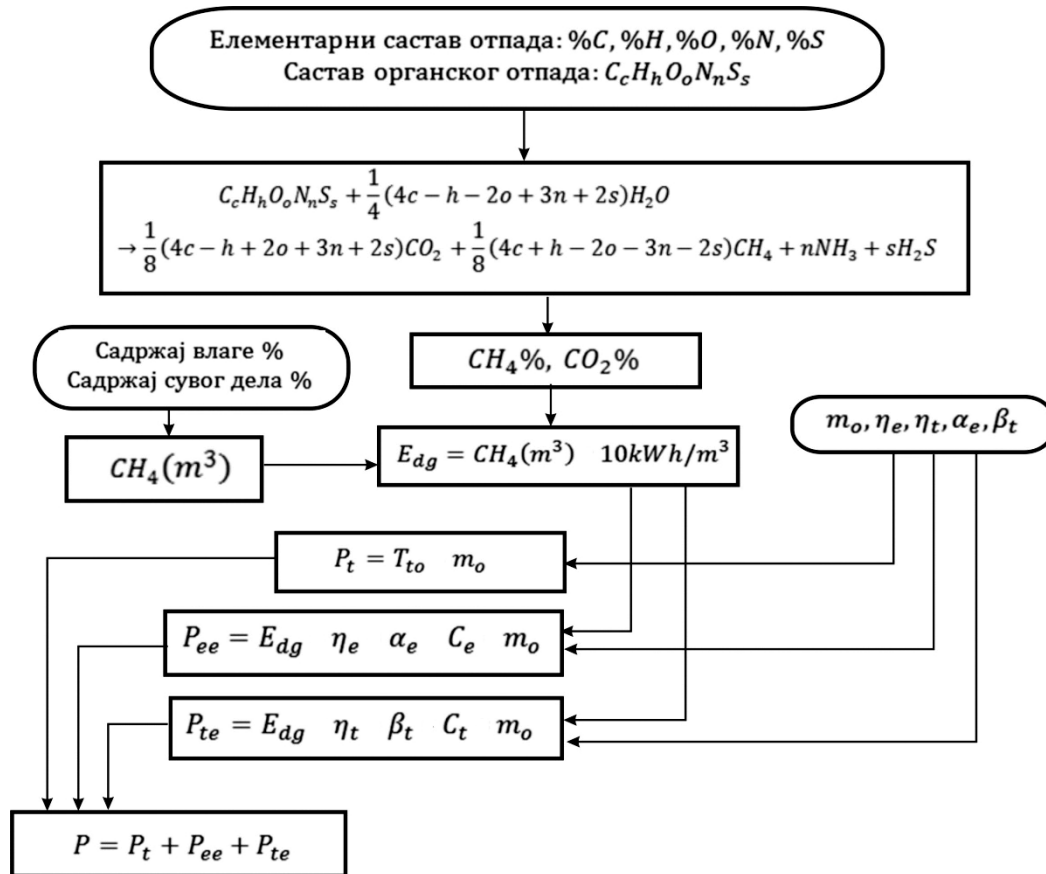
Приходи од продаје произведене електричне енергије произведене коришћењем депонијског гаса који је продукт распадања органског дела отпада, зависе од количине и састава депонијског гаса и добитка енергије из депонијског гаса (E_{dg}), ефикасности система за производњу електричне енергије (η_e), степена продаје произведене електричне енергије (α_e) (произведена електрична енергија се може продати 100% једноставним прикључењем система за производњу на дистрибутивну мрежу), цене произведене електричне енергије по kWh (C_e) и количине отпада (m_o) (једначина 5.29).

$$P_{ee} = E_{dg} \eta_e \alpha_e C_e m_o \quad (5.29)$$

Слично претходном, приходи од продаје произведене топлотне енергије зависе од количине и састава депонијског гаса и добитка енергије из депонијског гаса (E_{dg}), ефикасности система за производњу топлотне енергије (η_t), степена продаје произведене топлотне енергије (β_t), цене произведене топлотне енергије по kWh (C_t) и количине отпада (m_o) (једначина 5.30).

$$P_{te} = E_{dg} \eta_t \beta_t C_t m_o \quad (5.30)$$

На слици 5.11 приказан је блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених депоновањем са искоришћењем енергије из депонијског гаса.



Слика 5.11 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених депоновањем са искоришћењем енергије из депонијског гаса

5.3 Математички модел за израчунавање друштвених индикатора

5.3.1 Друштвена прихватљивост третмана отпада

Мерење одрживости и квантификовање друштвене компоненте одрживости је врло тежак задатак. Први проблем се јавља у дефинисању друштвене компоненте одрживости, јер још увек није постигнут консензус о свим елементима које треба сагледати при оцени одрживости са друштвеног аспекта. На пример, да би један третман отпада био одржив са друштвеног аспекта, треба да буде прихваћен од стране шире друштвене заједнице. Дакле, друштвена компонента одрживости се у овом случају сагледава кроз друштвену прихватљивост [112]. У циљу развијања и дефинисања сета друштвених индикатора за оцену одрживости енергетских система, неки аутори консултовали су експерте из Француске, Немачке, Италије и Швајцарске. Сет индикатора био је састављен од четири главна критеријума: безбедност и поузданост снабдевања електричном енергијом; политичка стабилност и легитимитет; друштвене и личне ризике и квалитет живота [113]. Међутим, приликом оцене одрживости са друштвеног аспекта, доносиоци одлука треба да узму у обзир не само

оно што стручњаци знају, већ и оно што јавност мисли и осећа. Врло често у зависности од околности, постоји веза између мишљења јавног мњења и његовог знања. Различити нивои перцепција, изражен страх на јавном нивоу, могу да доведу до велике дистанце између времена када доносиоци одлука изразе интерес да спроведу предложено иницијативу и времена када јавност прихвати предлог [112]. Ова врста кашњења може се манифестовати у било којој фази спровођења иницијативе. На пример, било је потребно више од 20 година да се међу становницима Шведске смањи страх од увођења нуклеарних електрана, иако се ова технологија није променила током тог периода [114].

Имплементација нових техничких система, захтева прихватање од стране шире друштвене заједнице. Друштвено прихватање скраћује време између првих иницијатива око увођења нових техничких система и њиховог спровођења и чини систем одрживим. Друштвена прихватљивост не представља само став појединца о томе да ли прихвата иницијативу доносиоца одлука о увођењу нових технологија или одређеног пројекта, већ врло често она захтева активно учешће појединаца у спровођењу такве одлуке. Друштвена прихватљивост је од изузене важности када је у питању увођење и имплементација одређених третмана отпада, управо из разлога што је у циљу успешне примене система управљања отпадом неопходно и активно учешће јавности. Једна студија [115] која је рађена у девет европских градова који имају уведен систем управљања отпадом који се сматра успешно спроведеним, закључила је да успешни програми управљања отпадом имају једну главну заједничку карактеристику: сви програми су озбиљно узели у обзир питање друштвене прихватљивости система управљања отпадом. Научна јавност се слаже да је друштвена прихватљивост од кључног значаја за ефикасност и имплементацију било ког интегрисаног система управљања отпадом. Упркос чињеници да "постаје евидентно да је систем управљања отпадом, а посебно технологије третмана отпада, који игнорише друштвене аспекте, осуђен на пропаст" [116], тек последњих година се приликом увођења система управљања отпадом узима у обзир и друштвени аспект одрживости и развијени су друштвени индикатори одрживости за отпад. Ови друштвени аспекти укључују проблеме у комуникацији, друштвену прихватљивост, учешће јавности у планирању и спровођењу, понашања потрошача итд.

Међутим, врло је тешко испитати и одредити друштвену прихватљивост одређених третмана отпада, као и система управљања отпадом. У том циљу су рађена различита истраживања, а нарочито када су у питању третмани отпада са добијањем енергије (инсинерација, гасификација, пиролиза), због свуда у свету присутног синдрома "Не у мом дворишту" (NIMBY), односно не прихватања јавности да се у близини места становања изгради постројење за термички третман отпада [117]. До сада нису развијени модели за одређивање друштвене прихватљивости, односно за израчунавање индикатора „друштвена прихватљивост“, обзиром да је овај индикатор квалитативног карактера. У зависности од тога за који се елемент система управљања отпадом анализира друштвена прихватљивост, разликују се методе испитивања. Најчешће коришћена метода за утврђивање друштвене прихватљивости је анкетирање. У различитим студијама анкетирањем је утврђивана друштвена прихватљивост одређених третмана отпада и елемената система управљања отпадом: у Њу Мексику изградња постројења за одлагање нуклеарног отпада [114], у Грчкој изградња постројења за термички третман отпада у урбаним срединама [117], у Шангају друштвени чинилац који утиче на прихватање плаћања сепарације отпада. Анкетирањем је такође утврђиван ниво знања о управљању отпадом, третманима отпада и селекцији отпада у циљу утврђивања територија и старосних група са ниским нивоом знања [118], а такође и понашање и мишљење јавности о селекцији отпада у срединама са високим степеном селекције отпада [119]. Истом методом утврђивано је мишљење јавности везано за загађење околине и развијање непријатних мириса код депоновања и постројења за третман отпада [120].

Међутим, анкетирање није метода којом се једноставно може утврдити степен друштвене прихватљивости одређеног третмана отпада, односно израчунати индикатор друштвена прихватљивост, пошто не постоји једно генерално питање које даје одговор на то који је третман отпада најприхватљивији. Ово је углавном због тога што се анкетирани врло често декларативно изјашњавају о прихватању или не прихватању одређеног третмана отпада или селекције отпада, али када је у питању спровођење у дело и активно учествовање, онда је степен реализације врло низак. Због тога је приликом израчунавања индикатора друштвена прихватљивост потребно примењивати модел који у себи имплементира различите елементе друштвене прихватљивости.

Као што је напред речено, због свог карактера (квалитативни), одређивање вредности индикатора друштвена прихватљивост подразумева велики ниво несигурности, јер се ни за један третман отпада не може рећи да је потпуно друштвено прихватљив или да уопште није друштвено прихватљив, већ се само може говорити о степену прихватљивости. Управо због тога ће као алат за развијање модела за израчунавање индикатора друштвена прихватљивост, у овом раду бити коришћена теорија фази скупова и фази логика.

5.3.2 Теорија фази скупова и фази логика

Свет око нас често садржи информације о систему које се не могу апсолутно прецизно репрезентовати као тачно или нетачно. Тачније, много је више ситуација у којима користимо непрецизне констатације, као на пример: скуп аутомобил, лепа хаљина или добра оцена. Употреба класичне (бинарне) логике, подразумева рад са информацијама које су или потпуно тачне или потпуно нетачне. Непрецизним или некомплетним информацијама није могуће управљати помоћу класичне логике. Многе реалне ситуације се боље приказују речима него математичким формулацијама, а управо фази логика кроз своје изразе обезбеђује једноставније моделирање стварности. Фази (расплинута) логика представља природнији концепт у односу на класичну логику, па је њена употреба у реалним системима понекад једноставнија него употреба класичних метода. Теорија фази скупова представља погодни математички апарат за израду модела различитих процеса у којима доминира неизвесност, вишезначност, субјективност, неодређеност итд [121].

Појам фази скупова први пут је дефинисао Заде још 1965. године [122]. Фази логика је 1974. године први пут експериментално примењена у вођењу и управљању парном машином (Ebrahim Mamdani). Од тада су фази системи у великој мери постали замена конвенционалним технологијама у великом броју научних апликација и инжењерских система. У информационим технологијама и експертским системима, фази логика се користи као подршка одлучивању.

Елемент у неком дискретном скупу може имати два стања: елемент припада или не припада скупу. Математички дефинисано степен припадности скупу је 1 ако припада и 0 ако не припада скупу. Фази скупови су скупови са непрецизним границама. Они садрже механизам да изразе степен припадности скупу, а не припадање или неприпадање скупу. Значи, код фази скупова елементи могу и

делимично да припадају скупу, односно степен припадности елемента неком фази скупу креће се од неприпадања или 0, преко делимичног припадања или неког броја из интервала $[0,1]$, до потпуног припадања или 1.

За описивање припадности неког елемента фази скупу A , користи се фази функција припадности μ_A , чији је кодомен реални интервал $[0,1]$ уместо класичне карактеристичне функције која одговара класичном скупу и чији је кодомен скуп $\{0,1\}$. Функција припадности фази скупа пресликава сваки елемент универзалног скупа у поменути интервал реалних бројева.

Концепт фази скупова математички се дефинише на следећи начин:

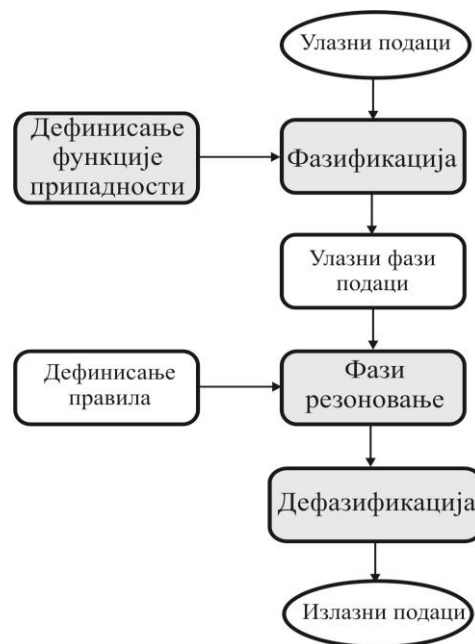
Фази скуп A из скупа U може се дефинисати као скуп уређених парова $(x, \mu_A(x))$,

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in U\}, \quad \mu_A(x) \in [0,1] \quad (5.25)$$

где је U скуп позитивних реалних бројева, а μ_A функција припадности скупа A и при том $\mu_A(x)$ представља степен припадности елемента x фази скупу A . Уколико је $\mu_A(x)$ веће, утолико има више истине у тврдњи да елемент x припада фази скупу A .

5.3.2.1 Процес закључивања у фази логици

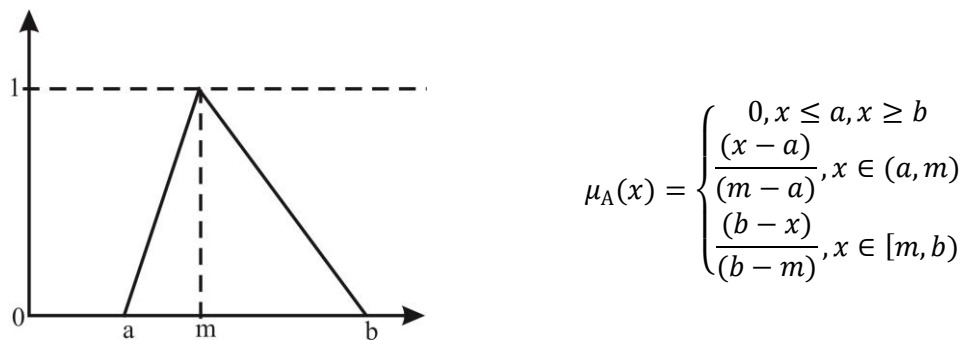
Процес закључивања у фази логици се састоји од четири корака (слика 5.12): дефинисање функције припадности, фазификација, фази резонување (закључивање) и дефазификација [123].



Слика 5.12 Блок дијаграм процеса закључивања у фази логици

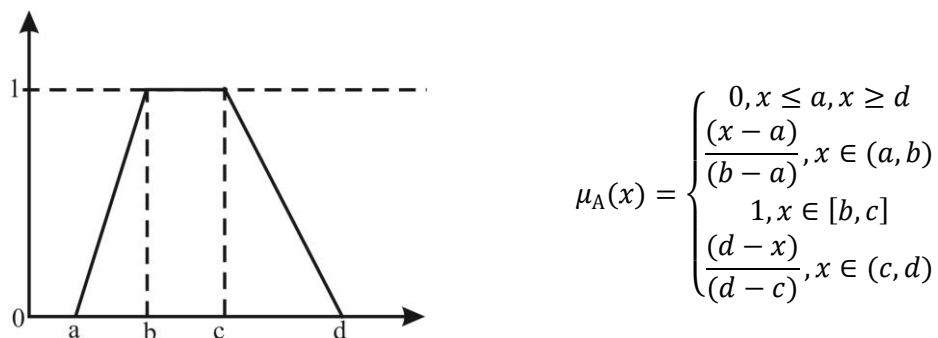
Функција припадности служи за описивање припадности неког елемента фази скупу. Вредности функције припадности крећу се између 0 и 1. Сама функција може имати било који дефинисан облик. Функција припадности представља континуално мерило сигурности да ли је променљива класификована као лингвистичка вредност. Најчешће коришћене функције припадности су: троугаона, трапезоидна и Гаусова функција.

1. Троугаона функција припадности приказана је на слици 5.13.



Слика 5.13 Троугаона функција припадности

2. Трапезоидна функција припадности приказана је на слици 5.14.



Слика 5.14 Трапезоидна функција припадности

1. Гаусова функција припадности приказана је на слици 5.15.



Слика 5.15 Гаусова функција припадности

Фазификација је процес претварања класичних вредности у фази вредности. У овом кораку улазном параметру приписује се степен припадности фази скупу. Овом операцијом, врши се нормализација вредности променљивих у интервалу $[0,1]$, тако да је могуће правити поређења између различитих променљивих. Степен припадности се описује додељивањем атрибута који се користе у свакодневном говору, као што су: „мали“, „средњи“ или „велики“. Ови изрази називају се лингвистичке вредности. Лингвистичка променљива је променљива чије су дозвољене вредности речи природног језика [124]. Она представља променљиву чије је стање изражено фази скуповима за које се везују лингвистички изрази и омогућава да се добије квалитативна оцена квантитативних података.

Фази резоновање (закључивање) је корак у коме се примењују фази правила и у коме је могуће извести закључак. Фази правила су лингвистички изрази који су претворени у математичке форме коришћењем израза „АКО – ОНДА“. Фази правила представљају ефикасан начин да се укључи експертско знање и стечено искуство о процесу. Она повезују улазне променљиве са закључком и називају се „АКО – ОНДА“ правила. „АКО“ део правила се назива још и хипотеза (премиса) правила и садржи услов за примену истог. На основу тврдње, доноси се закључак који је дефинисан „ОНДА“ делом правила.

Дефазификација представља избор једне вредности излазне променљиве. Сврха дефазификације је да се фази закључак претвори у један реалан број. Овај број није произвољан – он је реалан представник фази закључка који је добијен применом фази правила [124].

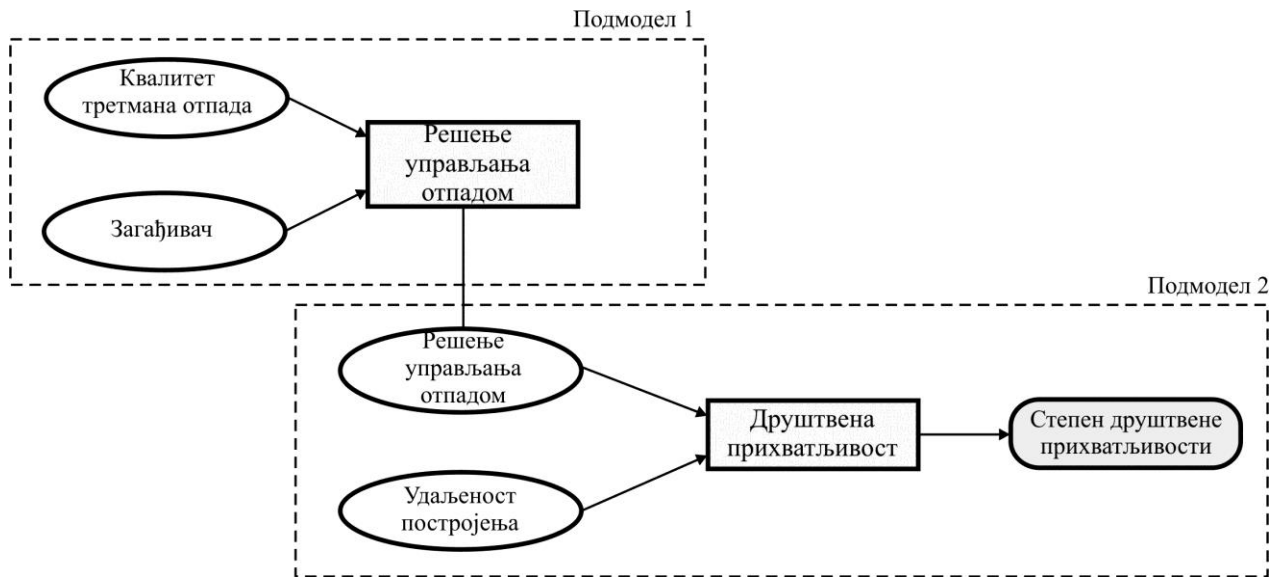
5.3.3 Математички модел за израчунавање индикатора – друштвена прихватљивост

За развијање фази модела изабране су три улазне променљиве на основу којих се може израчунати степен друштвене прихватљивости појединих третмана отпада. Изабране улазне променљиве су:

1. Квалитет третмана отпада,
2. Загађивач и
3. Удаљеност постројења.

Развијени фази модел састоји се од два фази подмодела (слика 5.16), која су дефинисана због поједностављења и смањења броја потребних фази правила. За улазне

променљиве првог фази подмодела су узете лингвистичке променљиве: „Квалитет третмана отпада“ и „Загађивач“. Излаз из првог фази подмодела је „Решење управљања отпадом“, која уједно представља улазну променљиву у други фази подмодел. Друга улазна променљива у другом фази подмоделу је „Удаљеност постројења“. Излаз из другог фази подмодела је уједно и излаз из фази модела и представља „Друштвена прихватљивост“ [125].



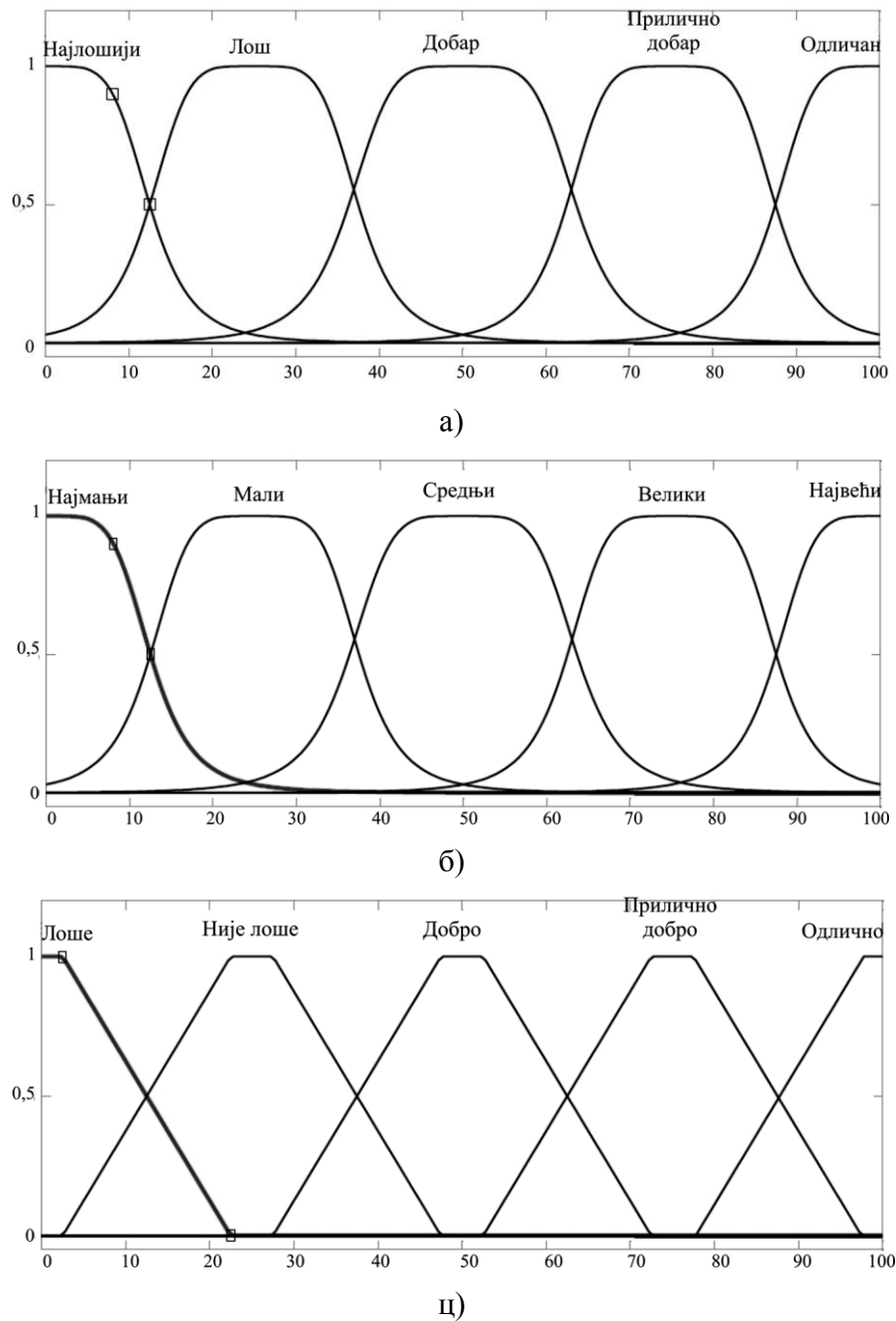
Слика 5.16 Концепт фази модела за израчунавање степена друштвене прихватљивости

Лингвистичке вредности додељене улазним и излазним променљивим приказане су у табели 5.6.

Табела 5.5 Лингвистичке вредности додељене улазним и излазним променљивим

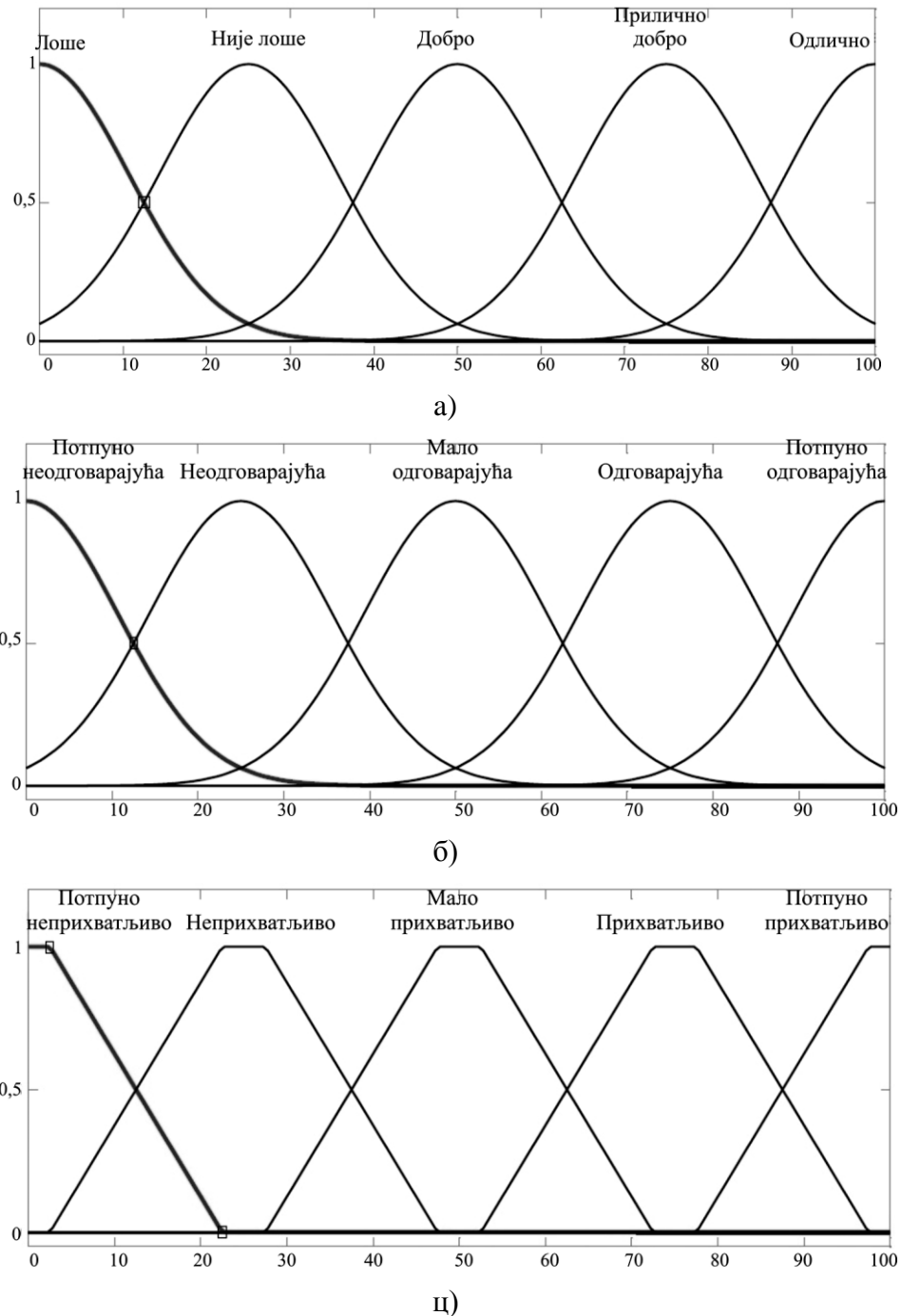
Лингвистичка променљива	Лингвистичка вредност				
Квалитет третмана отпада	Најлошији	Лош	Добар	Прилично добар	Одличан
Загађивач	Најмањи	Мали	Средњи	Велики	Највећи
Решење управљања отпадом	Није лоше	Лоше	Добро	Прилично добро	Одлично
Удаљеност постројења	Потпуно неогдговарајућа	Неогдговарајућа	Мало огдговарајућа	Огдговарајућа	Потпуно огдговарајућа
Друштвена прихватљивост	Потпуно неприхватљиво	Неприхватљиво	Мало прихватљиво	Прихватљиво	Потпуно прихватљиво

Функције припадности улаза и излаза првог фази подмодела приказане су на слици 5.17.



Слика 5.17 Функције припадности улазних и излазних променљивих првог фази подмодела: а) Улаз „Квалитет третмана отпада“, б) Улаз „Загађивач“, ц) Излаз „Решење управљања отпадом“

Функције припадности улаза и излаза другог фази подмодела приказане су на слици 5.18.



Слика 5.18 Функције припадности улазних и излазних променљивих првог фази подмодела: а) Улаз „Решење управљања отпадом“, б) Улаз „Удаљеност постројења“, ц) Излаз „Степен друштвене прихватљивости“

Као следећи корак у развијању фази модела, дефинисана су фази правила за сваки фази подмодел, на основу експетског знања и стеченог искуства, која су приказана у табелама 5.7 и 5.8. Приликом дефинисања фази правила одређено је да побољшање решења управљања отпадом, фаворизује малог загађивача и добар квалитет третмана

отпада. На пример, ако је квалитет третмана „прилично добар“ и загађивач „мали“, онда је решење управљања отпадом „добро“.

Табела 5.6 Фази правила првог фази подмодела

Решење третмана отпада					
Загађивач	Квалитет третмана отпада				
	Најлошији	Лош	Добар	Прилично добар	Одличан
Најмањи	Није лоше	Није лоше	Добро	Прилично добро	Одлично
Мали	Лоше	Није лоше	Добро	Добро	Прилично добро
Средњи	Лоше	Лоше	Није лоше	Није лоше	Добро
Велики	Лоше	Лоше	Лоше	Лоше	Није лоше
Највећи	Лоше	Лоше	Лоше	Лоше	Лоше

Са друге стране, у другом фази подмоделу, приликом дефинисања фази правила, одређено је да је повећање степена друштвене прихватљивости фаворизовано добрим решењем управљања отпадом и одговарајућом удаљеношћу постројења. На пример, ако је решење управљања отпадом „прилично добро“ и удаљеност постројења „одговарајућа“, онда је степен друштвене прихватљивости „прихватљиво“.

Табела 5.7 Фази правила другог фази подмодела

Степен друштвене прихватљивости					
Удаљеност постројења	Решење управљања отпадом				
	Лоше	Није лоше	Добро	Прилично добро	Одлично
Потпуно неодговарајућа	Потпуно неприхватљиво	Потпуно неприхватљиво	Неприхватљиво	Неприхватљиво	Неприхватљиво
Неодговарајућа	Неприхватљиво	Неприхватљиво	Неприхватљиво	Мало прихватљиво	Мало прихватљиво
Мало одговарајућа	Неприхватљиво	Мало прихватљиво	Мало прихватљиво	Прихватљиво	Прихватљиво
Одговарајућа	Мало прихватљиво	Мало прихватљиво	Прихватљиво	Прихватљиво	Потпуно прихватљиво
Потпуно одговарајућа	Мало прихватљиво	Прихватљиво	Прихватљиво	Потпуно прихватљиво	Потпуно прихватљиво

Коначни резултат се добија дефазификацијом, која генерише нумеричку вредност између 0 и 100% и која представља степен друштвене прихватљивости одређеног третмана отпада.

6 ПРОВЕРА И ПОТВРДА РАЗВИЈЕНОГ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ

Као што је претходно речено, циљ моделирања је да се добије такав модел који се у одређеним условима понаша исто (или слично) као и систем кога модел приказује. Корисници модела, доносиоци одлука који користе информације добијене из резултата модела, су заинтересовани да ли су модел и резултати које модел даје поуздани и тачни. Због тога саставни део процеса развоја модела представља и провера (верификација) и потврда (валидација) модела. Провера модела представља испитивање слагања понашања модела према поставкама модела и испитивање исправности модела, док потврда модела представља испитивање да ли модел адекватно представља стварни систем.

У овом поглављу провера модела биће извршена на случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Нишу, а потврда модела на случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Софија.

6.1 Оцена одрживости сценарија управљања отпадом у граду Нишу

На случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Нишу извршена је провера развијеног модела. Град Ниш је трећи по величини град у Републици Србији (после Београда и Новог Сада). Подручје града Ниша обухвата 596,71 km² и подељено је у пет општина: Медијана, Палилула, Пантелеј, Црвени Крст и Нишка Бања [126]. Град Ниш, према попису из 2011. године, има 260.237 становника, од чега су 215.381 пунолетни становници [127]. Град Ниш је један од најважнијих индустријских центара у Србији, познат по електронској и машинској индустрији, као и по текстилној и дуванској индустрији. Град Ниш је такође и образовни центар: око 50.000 ученика/студената похађају 32 основне и 21 средњу школу, као и 13 факултета.

У већини градова у Србији, отпад се одлаже на несанитарне депоније које угрожавају животну средину и здравље људи. У Србији, тренутно постоји само седам санитарних и 164 несанитарне регионалне депоније [128]. Слична ситуација је и у граду Нишу. У овом тренутку, град има несанитарну депонију и управљање отпадом своди на сакупљање и одлагање отпада на депонију. Јавно комунално предузеће врши сакупљање, транспорт и одлагање отпада. У граду постоји неколико приватних предузећа која се баве рециклажом отпада (углавном метал, папир, пластика и електрични и електронски отпад). Постоји неколико локација са контејнерима за прикупљање рециклабилног отпада (пластика, стакло, алуминијумске лименке, папир). Комунални отпад се сакупља и транспортује једном недељно. Сакупљање, транспорт и депоновање отпада се наплаћује по површини стамбене јединице.

6.1.1 Количина и састав отпада у граду Нишу

На основу података добијених из Јавно комуналног предузећа „Медијана“, у граду Нишу је у 2014. години генерисано 65.348 тона отпада [129]. Морфолошки и елементарни састав отпада приказан је у табели 6.1.

Табела 6.1 Морфолошки и елементарни састав отпада у граду Нишу [129]

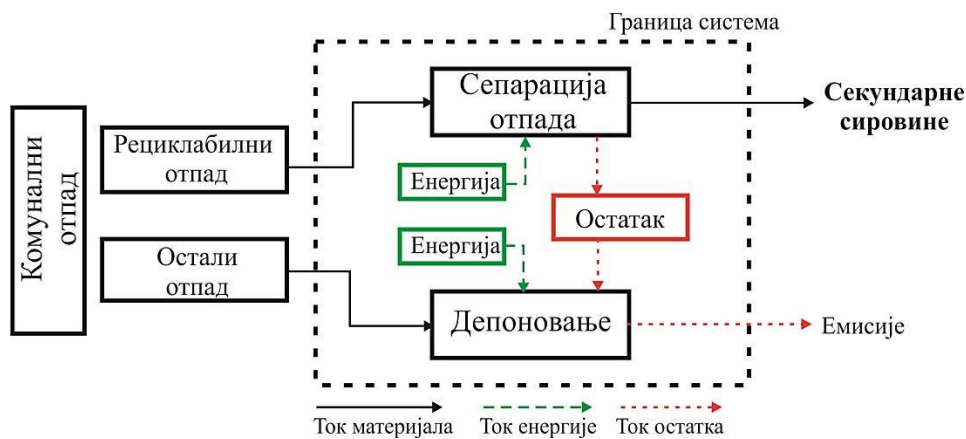
Фракције отпада	Количина (t)	Масени удео (%)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Влага (%)	Пепео (%)
Отпад од хране	9.011,49	13,79	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	70,0	5,0
Папир	4.744,26	7,26	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0	6,0
Картон	2.770,76	4,24	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0	5,0
Пелене	2.287,18	3,50	35,5	5,67	44,0	<0,1	-		
Пластика	14.265,47	21,83	60,0	7,2	22,8	-	-	2,0	10,0
Текстил	1.718,65	2,63	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15	10,0	2,5
Гума	3.430,77	5,25	78,0	10,0	-	2,0	-	2,0	10,0
Кожа	398,62	0,61	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0	10,0
Отпад из дворишта	8.854,65	13,55	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	60,0	4,5
Стакло	3.522,26	5,39	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	2,0	98,9
Метал	1.058,64	1,62	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	3,0	90,5
Прашина, пепео итд.	13.285,25	20,33	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	8,0	68,0
Укупно	65.348,00	100,00							

6.1.2 Развијање сценарија управљања отпадом

На основу података датих у поглављу 2, о погодности коришћења одређених фракција отпада за третман отпада, као и података о саставу отпада у граду Нишу, датих у табели 6.1 развијени су могући сценарији управљања отпадом.

6.1.2.1 Сценарио 1

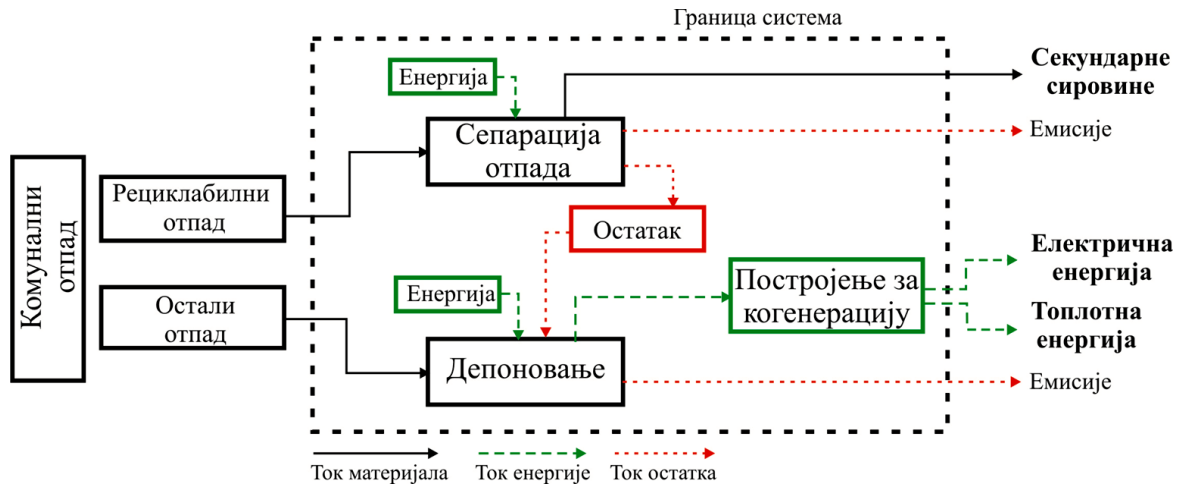
Сценарио 1 одговара постојећој ситуацији управљања отпадом у граду Нишу: Мале количине рециклабилних фракција отпада (папир, картон, пластика, стакло и метал) у количини од 9.500 t се издвајају и шаљу на даљу рециклажу. Остали отпад од 55.848 t одлаже се на депонију. На слици 6.1 приказани су токови материјала и енергије, као и границе система за сценарио 1.



Слика 6.1 Блок шема сценарија 1

6.1.2.2 Сценарио 2

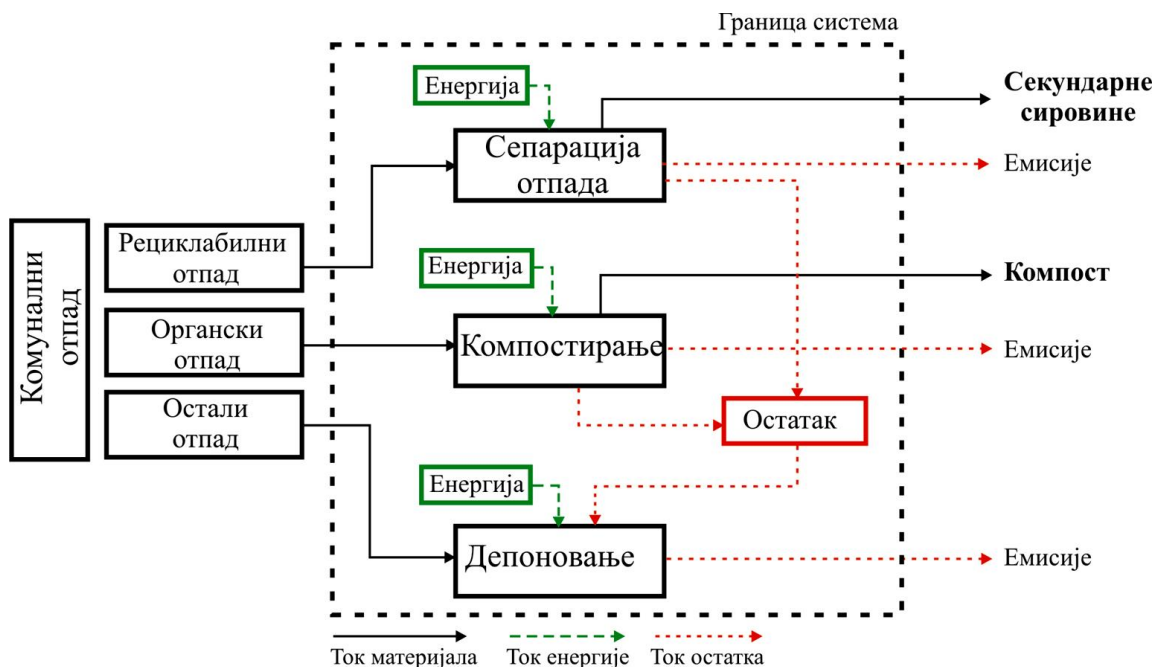
Рециклабилне фракције отпада (папир, картон, пластика, гума, стакло, и метал) у количини од 29.792,16 t се издваја у постројењу за сепарацију отпада и шаље на даљу рециклажу. Остали отпад од 35.555,84 t одлаже се на депонију. Депонијски гас који се ствара распадањем органског отпада се сакупља и у постројењу за когенерацију користи за добијање електричне и топлотне енергије. На слици 6.2 приказани су токови материјала и енергије, као и границе система за сценарио 2.



Слика 6.2 Блок шема сценарија 2

6.1.2.3 Сценарио 3

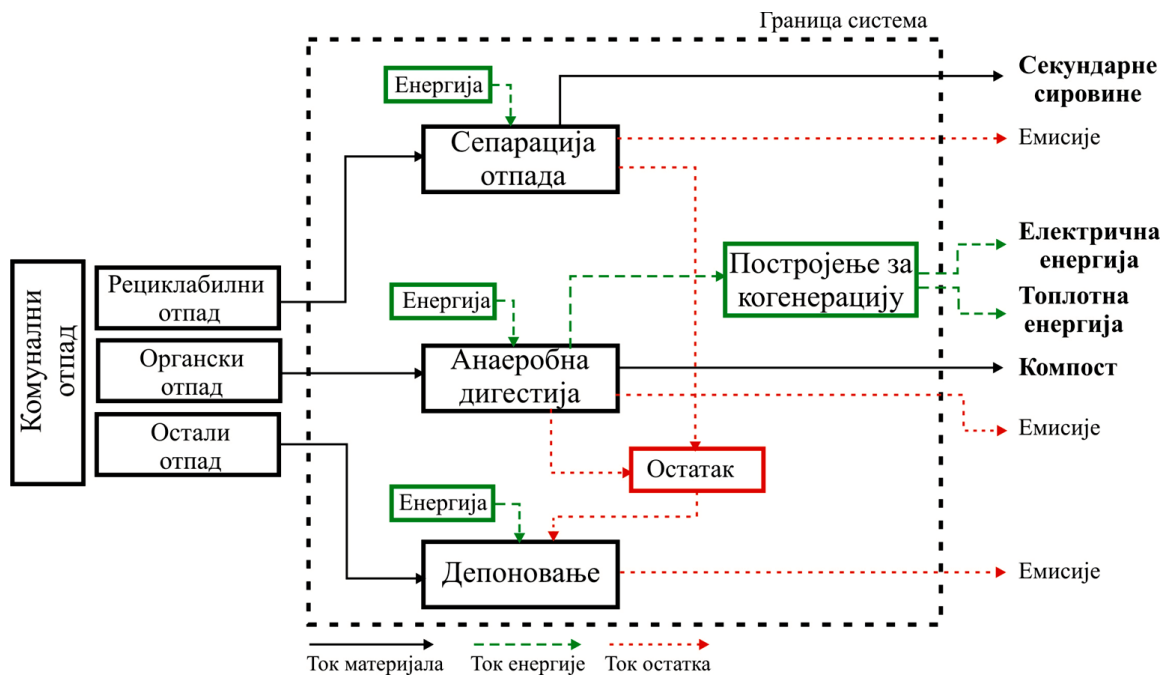
Рециклабилне фракције отпада (папир, картон, пластика, гума, стакло, и метал) у количини од 29.792,16 t се издваја у постројењу за сепарацију отпада и шаље на даљу рециклажу. Органски отпад (отпад из дворишта, део отпада од хране и прашина) у количини од 22.140 t се компостира, док се остали отпад од 13.415,84 t одлаже на депонију. На слици 6.3 приказани су токови материјала и енергије, као и границе система за сценарио 3.



Слика 6.3 Блок шема сценарија 3

6.1.2.4 Сценарио 4

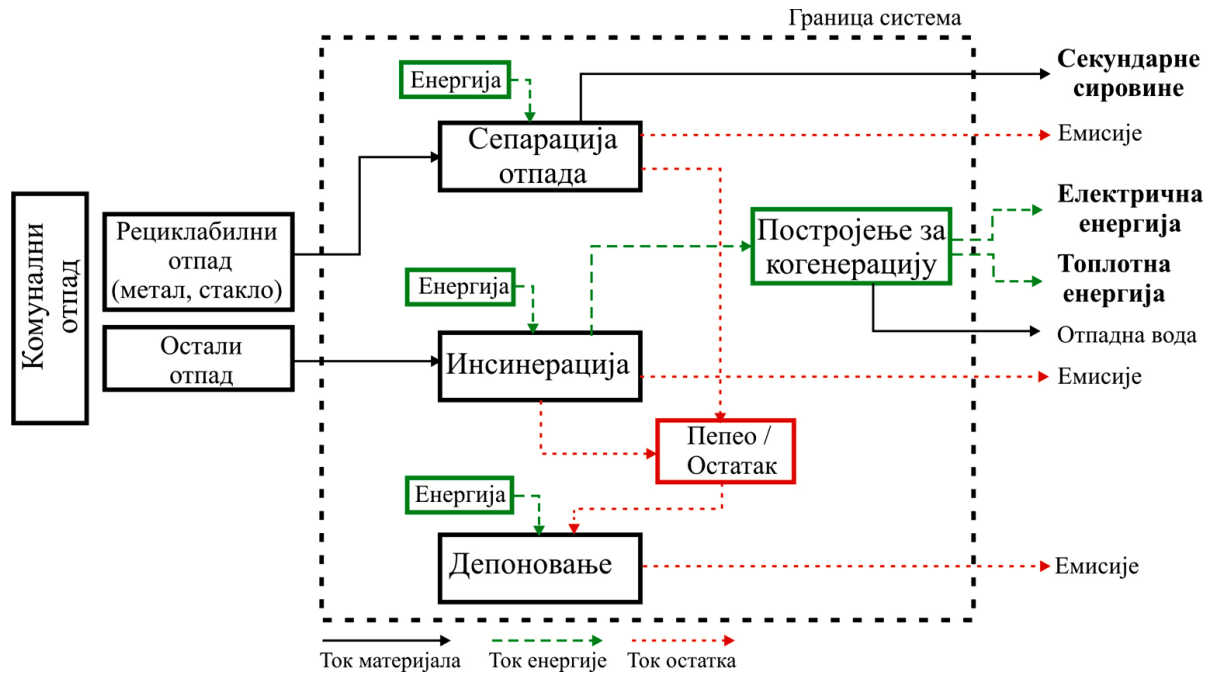
Одређене рециклабилне фракције отпада (пластика, гума, стакло и метал) у количини од 22.277,14 t се издвајају у постројењу за сепарацију отпада и шаљу на даљу рециклажу. Фракције отпада погодне за анаеробну дигестију (отпад од хране, папир, картон, текстил, кожа, отпад из дворишта) у количини од 29.665,06 t се шаљу на анаеробну дигестију, док се остали отпад од 13.415,84 t одлаже на депонију. Произведени биогаз у процесу анаеробне дигестије се, у постројењу за когенерацију користи за добијање електричне и топлотне енергије. Компост који се добија као нуспроизвод у процесу анаеробне дигестије се користи као ђубриво у пољопривредној производњи. На слици 6.4 приказани су токови материјала и енергије, као и границе система за сценарио 4.



Слика 6.4 Блок шема сценарија 4

6.1.2.5 Сценарио 5

Стакло и метал у количини од 4.580,90 t се се издвајају у постројењу за сепарацију отпада и шаљу на даљу рециклажу. Остали отпад у количини од 60.767,10 t се шаље на инсинерацију. Гасовити продукти сагоревања се, у постројењу за когенерацију користе за добијање електричне и топлотне енергије. На слици 6.5 приказани су токови материјала и енергије, као и границе система за сценарио 5.



Слика 6.5 Блок шема сценарија 5

6.1.3 Избор сета индикатора

На основу идентификованих индикатора у поглављу 3.4, извршен је избор сета индикатора, који ће се користити као критеријуми за оцену одрживости претходно развијених сценарија управљања отпадом.

Као *индикатори животне средине* изабрани су:

- емисија CO₂ у ваздух,
- емисија кисељавачућих гасова (SO₂, NO_x) у ваздух,
- емисија суспендованих честица у ваздух,
- биолошка потрошња кисеоника у води (БПК),
- концентрација укупног органског угљеника у води,
- емисија тешких метала (Pb, Cr) у земљиште,

Као *индикатори који се односе на отпад* изабрани су:

- удео рециклираног отпада,
- удео депонованог отпада,
- удео отпада који се користи за добијање енергије,
- смањење запремине отпада,
- површина коришћеног земљишта.

Као *економски индикатори* изабрани су:

- инвестициони трошкови,

- оперативни трошкови,
- приходи од продаје произведене енергије и секундарних сировина из отпада.

Као *друштвени индикатори* изабрани су:

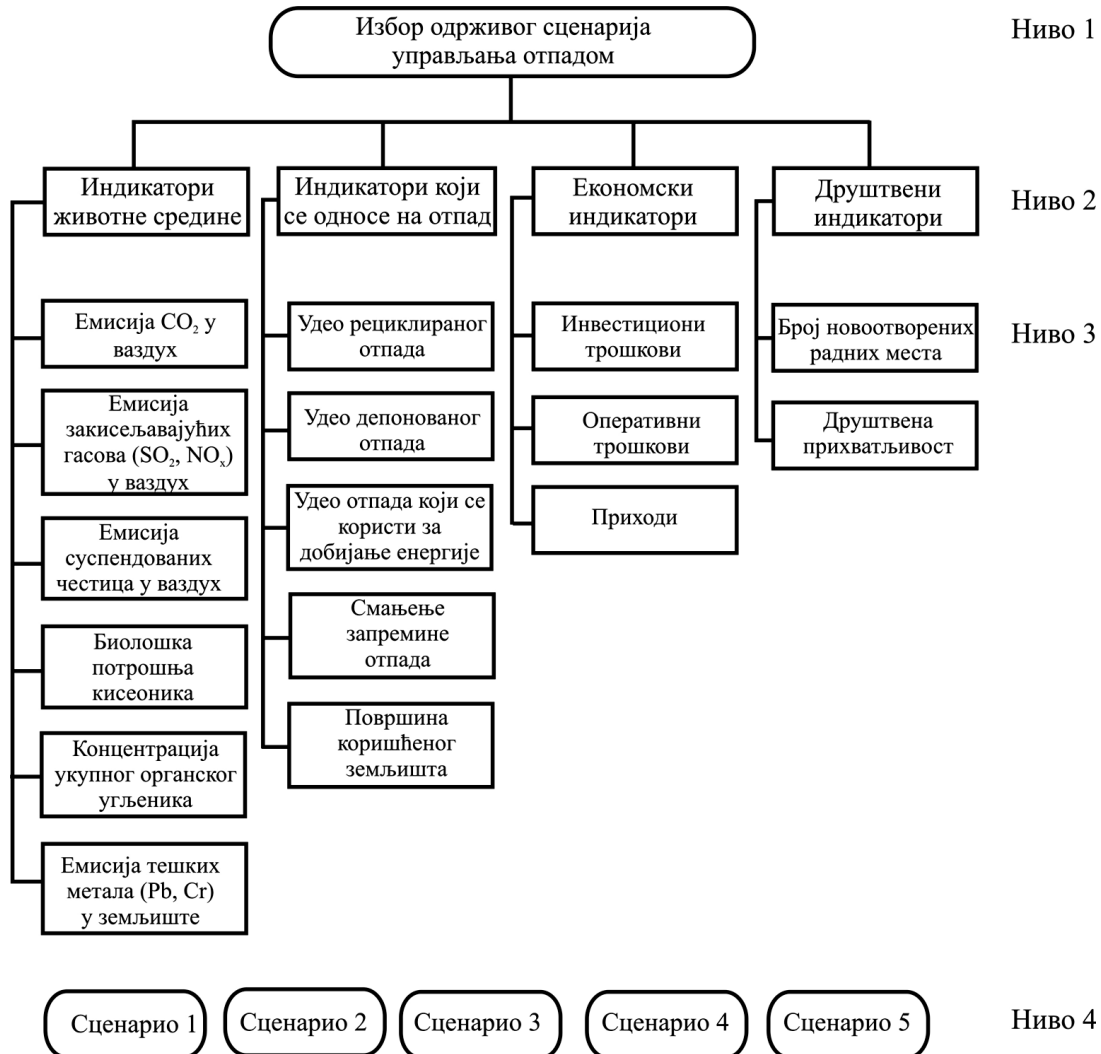
- број новотворених радних места,
- друштвена прихватљивост третмана отпада.

6.1.4 Формирање хијерархијске структуре

На основу дефинисаних сценарија управљања отпадом и изабраног сета индикатора одрживог развоја, као критеријума за оцену одрживости формирана је хијерархијска структура за постизање предвиђеног циља.

На врху хијерархијске структуре је циљ: избор одрживог сценарија управљања отпадом. На другом нивоу хијерархијске структуре су групе индикатора: индикатори заштите животне средине, индикатори који се односе на отпад, економски индикатори и друштвени индикатори. На трећем нивоу су изабрани индикатори одрживог развоја, наведени у претходном подпоглављу и на четвртм, најнижем нивоу се налазе развијени сценарији управљања отпадом (сценарио 1, сценарио 2, сценарио 3 и сценарио 4).

Хијерархијска структура је приказана на слици 6.1.



Слика 6.6 Хијерархијска структура при избору одрживог сценарија у граду Нишу

6.1.5 Израчунавање вредности индикатора

6.1.5.1 Индикатори животне средине

За израчунавање вредности индикатора животне средине коришћен је модел LCA-IMW [111] који се базира на методологији анализе животног циклуса приликом одређивања утицаја отпада на животну средину. Модел процењује утицај отпада на животну средину, почев од тренутка генерисања отпада до тренутка када је отпад претворен у енергију или секундарну сировину или коначно одложен на депонију. Основне улазни параметри модела су количина и састав отпада.

У табели 6.2. приказане су израчунате вредности изабраних индикатора животне средине коришћењем модела LCA-IMW.

Табела 6.2 Вредности индикатора животне средине за град Ниш

Индикатор	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4	Сценарио 5
Емисија CO ₂ у ваздух (kg/t)	79,70	71,30	69,54	69,54	109,00
Емисија закисељавајућих гасова (SO ₂ , NO _x) у ваздух (g/t)	26,26	57,19	21,36	649,60	822,81
Емисија суспендованих честица у ваздух (g/t)	0,44	0,39	0,00	6,66	8,51
Биолошка потрошња кисеоника у води (БПК) (kg/t)	0,67	0,69	3,59	10,30	0,00001
Концентрација укупног органског угљеника у води (kg/t)	1,56	1,63	7,17	35,40	0,0004
Емисија тешких метала (Pb, Cr) у земљиште (g/t)	2,13	2,18	2,69	3,03	11,49

6.1.5.2 Индикатори који се односе на отпад

У табели 6.3. приказане су израчунате вредности изабраних индикатора који се односе на отпад на основу количина отпада дефинисаних у сценаријима, коришћењем модела LCA-IMW и литературних података за површине потребног земљишта.

Табела 6.3 Вредности индикатора који се односе на отпад за град Ниш

Индикатор	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4	Сценарио 5
Удео рециклираног отпада (%)	14,50	45,60	45,60	34,40	7,50
Удео депонованог отпада (%)	85,50	54,40	20,50	20,50	4,80
Удео отпада који се користи за добијање енергије – Wte (%)	0,00	54,40	0,00	65,90	92,98
Смањење запремине отпада (%)	10,00	40,00	75,00	97,00	95,00
Површина коришћеног земљишта (ha)	20,00	15,00	7,37	4,27	2,80

6.1.5.3 Економски индикатори

При израчунавању економских индикатора коришћењем развијеног модела коришћени су следећи улазни подаци: количина и састав генерисаног отпада као што је приказано у табели 6.1. Број становника града Ниша према последњем попису из 2011. године, природни прираштај 0,5%. Пројектовани период рада свих постројења за третман отпада је 20 година.

Доња топлотна моћ отпада од 11.832,62 kJ/kg је израчуната коришћењем једначине 2.1. За израчунавање приноса енергије из биогаса, састав биогаса је израчунат на основу Басвелове једначине (једначина 2.2), где је коришћена формула за органски део комуналног чврстог отпада $C_{32}H_{54}O_{16}N$ [130]. Израчунати састав биогаса је 57,42% CH_4 , 42,58% CO_2 и 3,13% NH_3 , а количина метана по тони отпада је израчуната као 290 m^3/t , док је принос енергије из биогаса израчунат као 2.905,35 kWh/t. Просечан износ компоста добијеног од 1 t органског отпада је 0.415 t.

Цена земљишта у граду Нишу урачуната је у распону од 1.000 – 3.000 €/ha, трошкови припреме терена 20 €/m², пројектни и трошкови добијања дозвола 40 €/m² и трошкови изградње објеката за смештај постројења и опреме 450 €/m². Такса за третман отпада урачуната је у износу од 20 €/t за све третмане отпада, а цена произведене електричне енергије из отпада усвојена је на основу Уредбе Владе Републике Србије [131] као 6,91 с€/kWh за електране на депонијски гас, 8,57 с€/kWh за електране на отпад и 12,31–15,66 с€/kWh за електране на биогас. Ефикасност система за производњу електричне енергије након инсинерације и анаеробне дигестије је узета као 27% и 30%, респективно, а ефикасност система за производњу топлотне енергије као 55% и 45%, респективно. Степен продаје произведене електричне енергије је усвојен као 1, а степен продаје произведене топлотне енергије је усвојен као 0,55. Усвојене цене секундарних сировина су: папир – 87 €/t, пластика – 250 €/t, стакло – 18 €/t, метал – 210 €/t, а цена компоста – 60 €/t. Приликом израчунавања прихода од продаје електричне и топлотне енергије произведене коришћењем депонијског гаса, у сценарију 2, приход је рачунат за репрезентативну годину (годину пуног радног капацитета).

У прилогу 9.2 табеле 9.7 – 9.9 приказане су израчунате вредности свих елемената у структури економских индикатора (инвестиционих, оперативних трошкова и прихода) за развијене сценарије.

У табели 6.4. приказане су израчунате вредности економских индикатора коришћењем развијеног математичког модела.

Табела 6.4 Вредности економских индикатора за град Ниш

Индикатор	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4	Сценарио 5
Инвестициони трошкови (€/t)	144,29	238,66	122,72	238,58	468,90
Оперативни трошкови (€/t)	9,87	24,80	34,81	42,45	60,79
Приходи (€/t)	50,53	102,89	117,90	136,93	158,70

6.1.5.4 Друштвени индикатори

6.1.5.4.1 Број новоотворених радних места

На основу количине отпада предвиђене за третман, у развијеним сценаријима, као и на основу података приказаних у табели 5.4 о броју потребних запослених за опслуживање постројења за третман отпада, израчунат је број новоотворених радних места по сценаријима и приказан у табели 6.5.

Табела 6.5 Вредност индикатора „број новоотворених радних места“ за град Ниш

Индикатор	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4	Сценарио 5
Број новоотворених радних места	15	33	35	27	24

6.1.5.4.2 Друштвена прихватљивост

У циљу утврђивања знања, мишљења и ставова јавности о појединим третманима отпада у граду Нишу, и као база за израчунавање индикатора друштвена прихватљивост појединих третмана отпада на основу развијеног фази модела, дизајниран је упитник (прилог 9.3, табела 9.10). Поред основних демографских података, упитник се састојао од 14 питања (тврдњи) са унапред понуђеним одговорима: 1 – Уопште се не слажем; 2 – Не слажем се; 3 – Нити се слажем, нити се не слажем; 4 – Слажем се; 5 – Потпуно се слажем.

Одређени број питања дизајниран је у циљу утврђивања мишљења јавности: питања број 1, 2, 5, 6, 9, 11, 12, а одређена питања у циљу утврђивања знања о појединим третманима отпада: питања број 3, 7, 8, док су следећа питања дизајнирана у циљу утврђивања ставова јавности: питања број 4, 10, 13, 14.

Структура узорка испитаника одређена је на основу података из пописа становништва 2011. године [127] и представљена у табели 6.6.

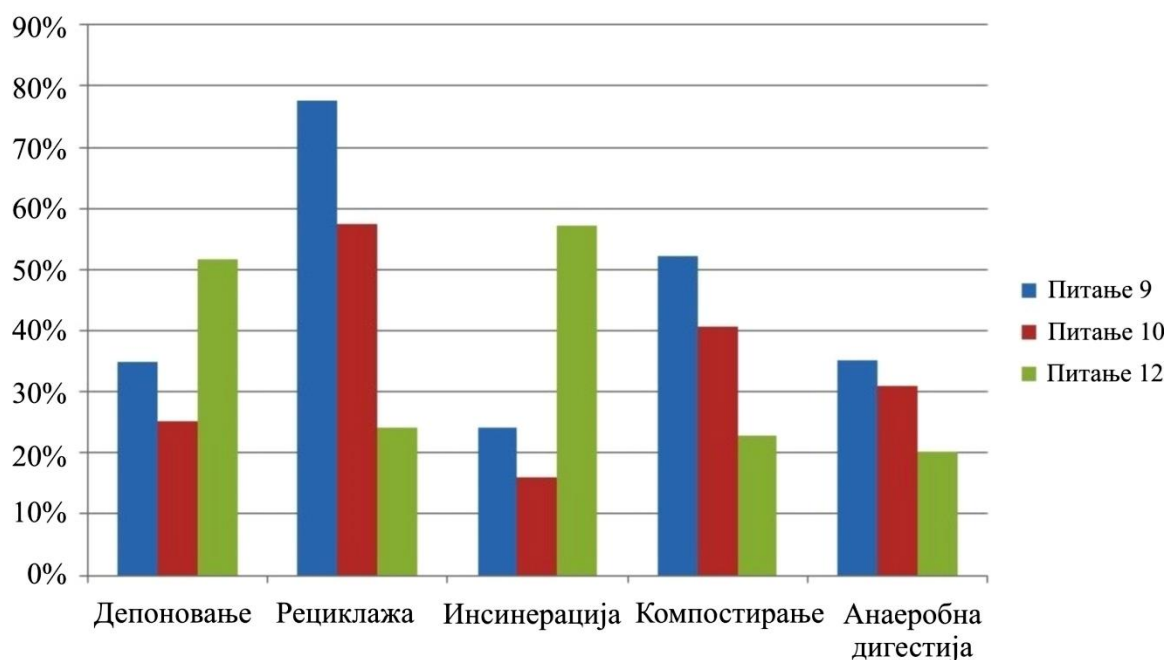
Табела 6.6 Демографске карактеристике становништва града Ниша и узорка испитаника

Демографске карактеристике становништва града Ниша												
Пол	Мушки	103.519	48,06%	Старост	18-24	25-39	40-54	>55	Образовање	Основно	Средње	Високо
	Женски	111.862	51,94%		22.155	56.471	53.307	83.448		46.131	115.902	49.481
	Укупно	215.381			10,29%	26,22%	24,75%	38,74%		21,42%	53,81%	22,97%
Демографске карактеристике узорка испитаника												
Пол	Мушки	340	52,71%	Старост	18-24	25-39	40-54	>55	Образовање	Основно	Средње	Високо
	Женски	305	47,29%		222	163	130	130		80	382	183
	Укупно	645			34,41%	25,27%	20,16%	20,16%		12,40%	59,22%	28,37%

У циљу израчунавања степена друштвене прихватљивости на основу развијеног фази модела изабрана су три питања, чији ће одговори представљати улазне променљиве у фази модел. Изабрана питања су следећа:

1. Као улазна променљива „Квалитет третмана отпада“, питање број 9: Најбољи начин за решавање проблема отпада је: одлагање на депонију, рециклажа отпада, спаљивање отпада, компостирање, анаеробна дигестија отпада.
2. Као улазна променљива „Загађивач“, питање број 12: Највише загађује животну средину: санитарна депонија, центар за рециклажу отпада, спалионица отпада, постројење за компостирање отпада, постројење за анаеробну дигестију.
3. Као улазна променљива „Удаљеност постројења“, питање број 10: Прихватио бих да се на удаљености од 10 км од насеља где живим изгради: санитарна депонија, центар за рециклажу отпада, спалионица отпада, постројење за компостирање отпада, постројење за анаеробну дигестију.

На слици 6.7 приказан је проценат испитаника који су на горе наведена питања одговорили са „Потпуно се слажем“ и „Слажем се“ за третмане: депоновање, рециклажа, инсинерација, компостирање и анаеробна дигестија, што је искоришћено као улазни податак за израчунавање степена друштвене прихватљивости применом развијеног фази модела.



Слика 6.7 Одговори испитаника на питања 9, 10 и 12

У табели 6.7. приказане су вредности улазних променљивих добијених анкетањем становника Ниша, као и вредности излазне променљиве – индикатора друштвена прихватљивост, израчунате на основу развијеног модела.

Табела 6.7 Вредност индикатора „друштвена прихватљивост“ за град Ниш

	Депонување	Рециклажа	Инсинерација	Компостирање	Анаеробна дигестија
Квалитет третмана отпада (%)	36,96	77,54	24,09	52,09	35,14
Загађивач (%)	51,63	24,09	57,07	22,83	20,27
Удаљеност постројења (%)	25,18	57,43	16,12	40,58	31,08
Друштвена прихватљивост (%)	24,61	55,32	17,87	50,65	29,39

6.1.6 Одређивање тежинских фактора критеријума АХП методом

Одређивање тежинских фактора извршено је групним доношењем одлуке, применом методе сумирања (агрегације) индивидуалних ставова. Групу доносиоца одлуке сачињавали су: један експерт из области заштите животне средине, један експерт из области управљања отпадом, један експерт из области економије и два представника управе града Ниша задужена за комуналне делатности.

Група доносиоца одлука је вршила упоређење парова индикатора за различит број индикатора у циљу рангирања сценарија, као и утврђивања минималног довољног

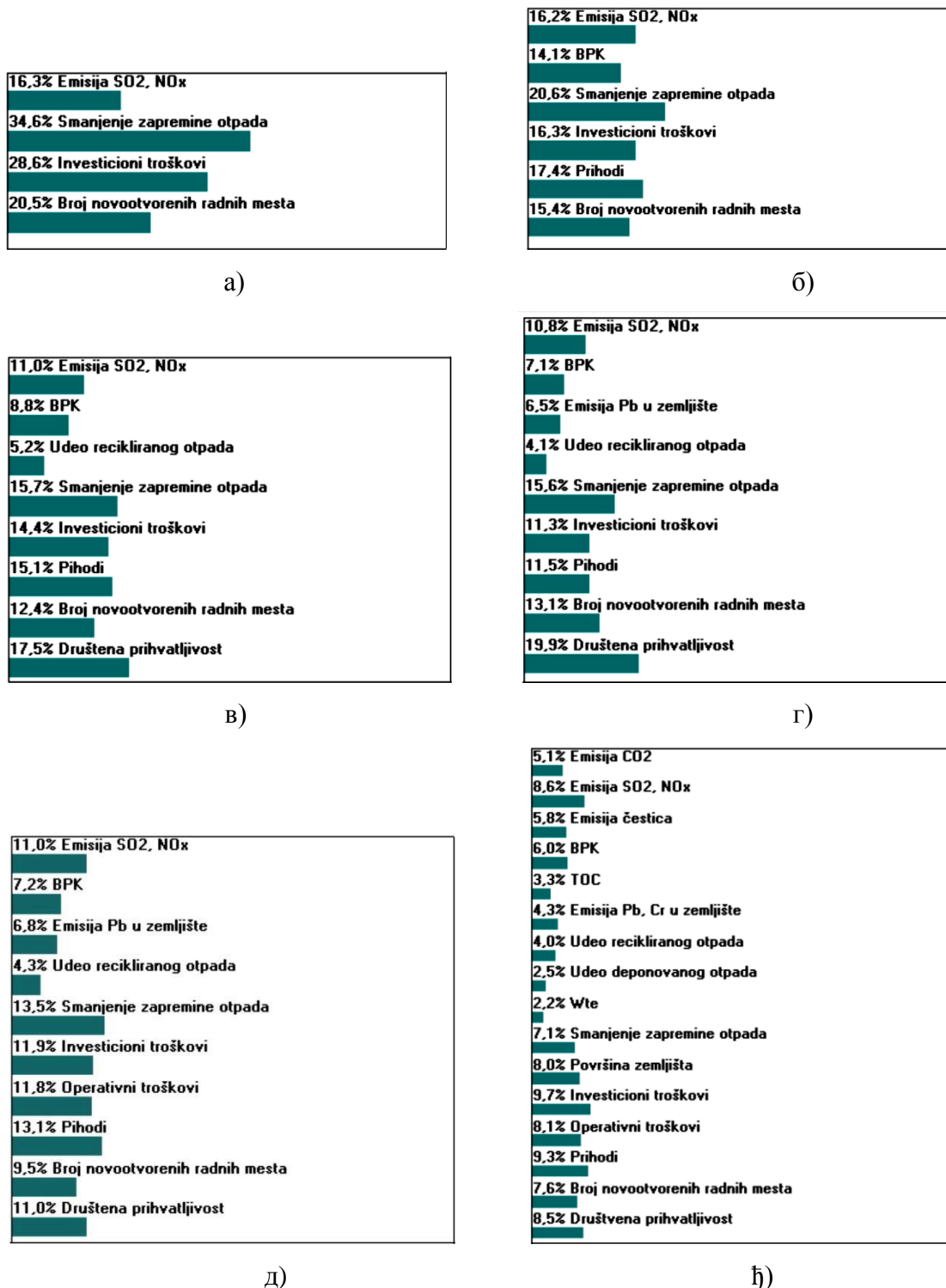


броја индикатора чијим коришћењем се са довољном поузданошћу може оценити одрживост сценарија управљања отпадом. У првом случају, вршено је поређење парова 4 индикатора, у другом случају 6 индикатора, у трећем случају 8 индикатора, у четвртм случају 9 индикатора и у петом случају 10 индикатора. Као гранични случај, група доносиоца одлука извршила је поређењем парова 16 индикатора, са циљем да се испита да ли велико повећање број критеријума битно утиче на рангирање сценарија. У табели 6.8 су приказане групе коришћених индикатора за свих шест случајева.

Табела 6.8 Број индикатора за које је вршено поређење парова и рангирање сценарија

	I случај	II случај	III случај	IV случај	V случај	VI случај
Емисија CO ₂ у ваздух (kg/t)						x
Емисија закисељавајућих гасова (SO ₂ , NO _x) у ваздух (g/t)	x	x	x	x	x	x
Емисија суспендованих честица у ваздух (g/t)						x
Биолошка потрошња кисеоника у води (БПК) (kg/t)		x	x	x	x	x
Концентрација укупног органског угљеника у води (kg/t)						x
Емисија тешких метала (Pb, Cr) у земљиште (g/t)				x	x	x
Удео рециклираног отпада (%)			x	x	x	x
Удео депонованог отпада (%)						x
Удео отпада који се користи за добијање енергије (%)						x
Смањење запремине отпада (%)	x	x	x	x	x	x
Површина коришћеног земљишта (ha)						x
Инвестициони трошкови (€/t)	x	x	x	x	x	x
Оперативни трошкови (€/t)					x	x
Приходи (€/t)		x	x	x	x	x
Број новоотворених радних места	x	x	x	x	x	x
Друштвена прихватљивост (%)			x	x	x	x

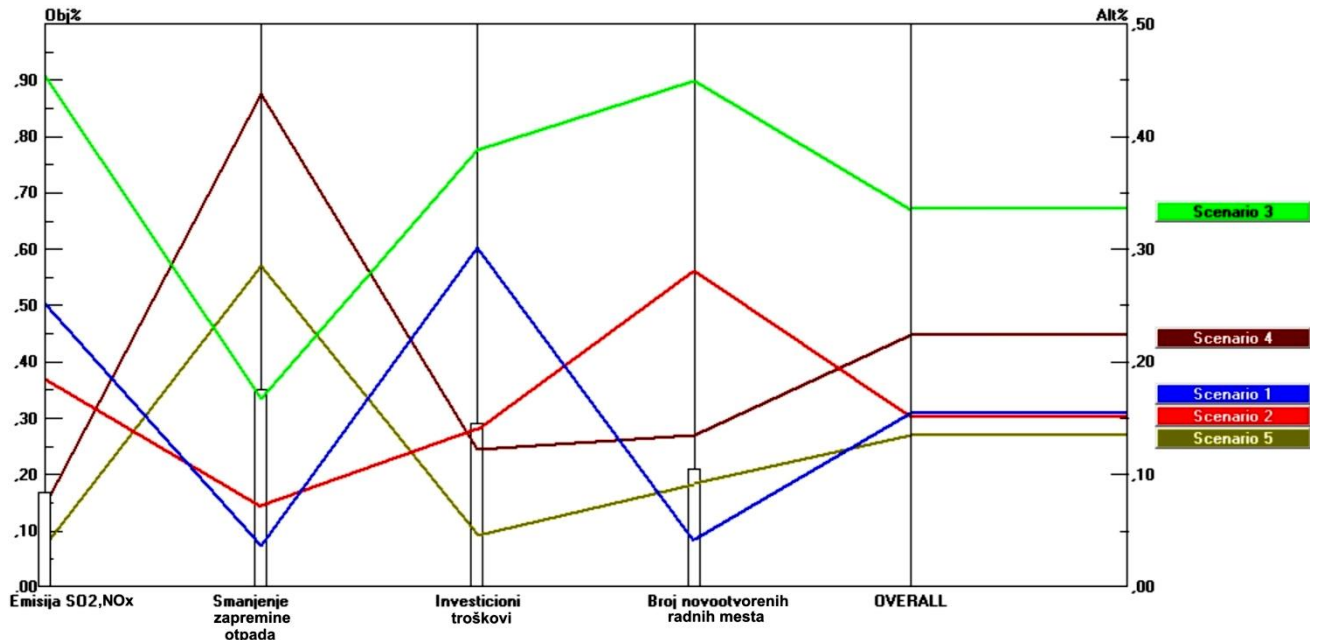
На основу извршеног поређења парова, применом програмског пакета за вишекритеријумско одлучивање које користи АХП методу, што је приказано у прилогу 9.4 слика 9.1, добијени су тежински фактори критеријума (индикатора одрживог развоја) за свих шест случајева који су приказани на слици 6.8.



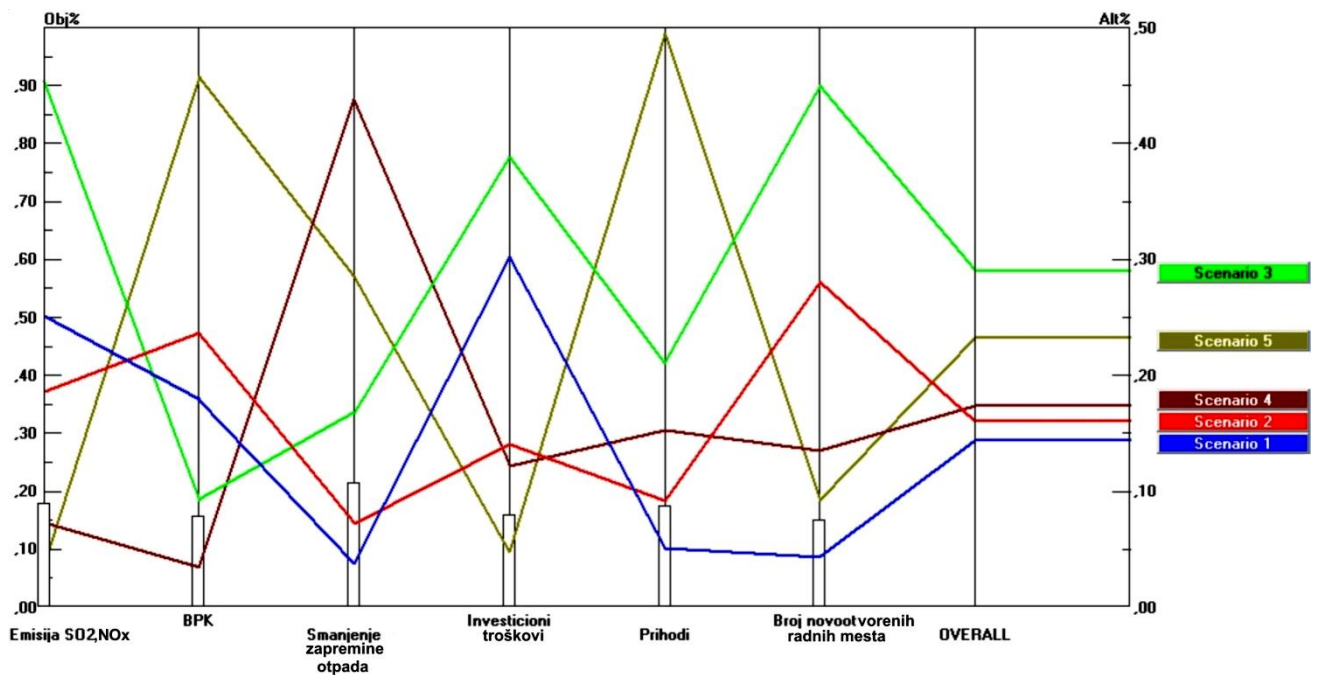
Слика 6.8 Тежински фактори индикатора: а) 4 индикатора, б) 6 индикатора, в) 8 индикатора, г) 9 индикатора, д) 10 индикатора, ђ) 16 индикатора

6.1.7 Рангирање развијених сценарија

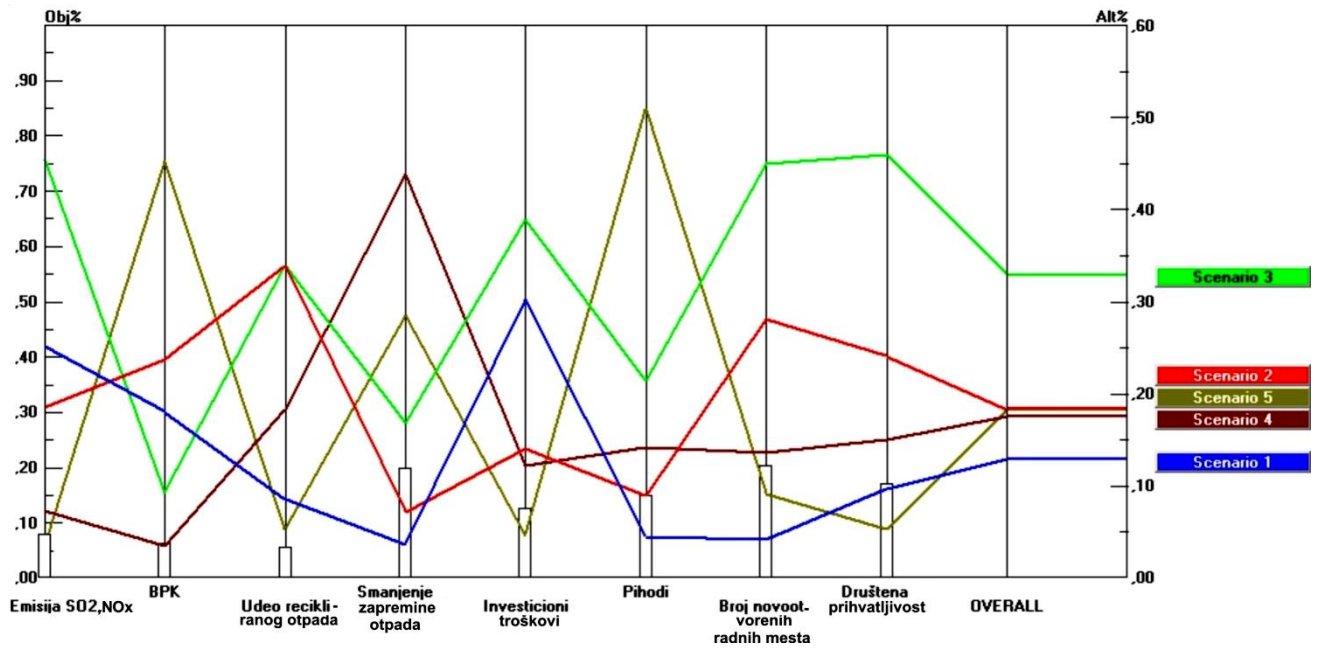
На основу израчунатих тежинских фактора индикатора за све случајеве, извршено је рангирање развијених сценарија и приказано на слици 6.9.



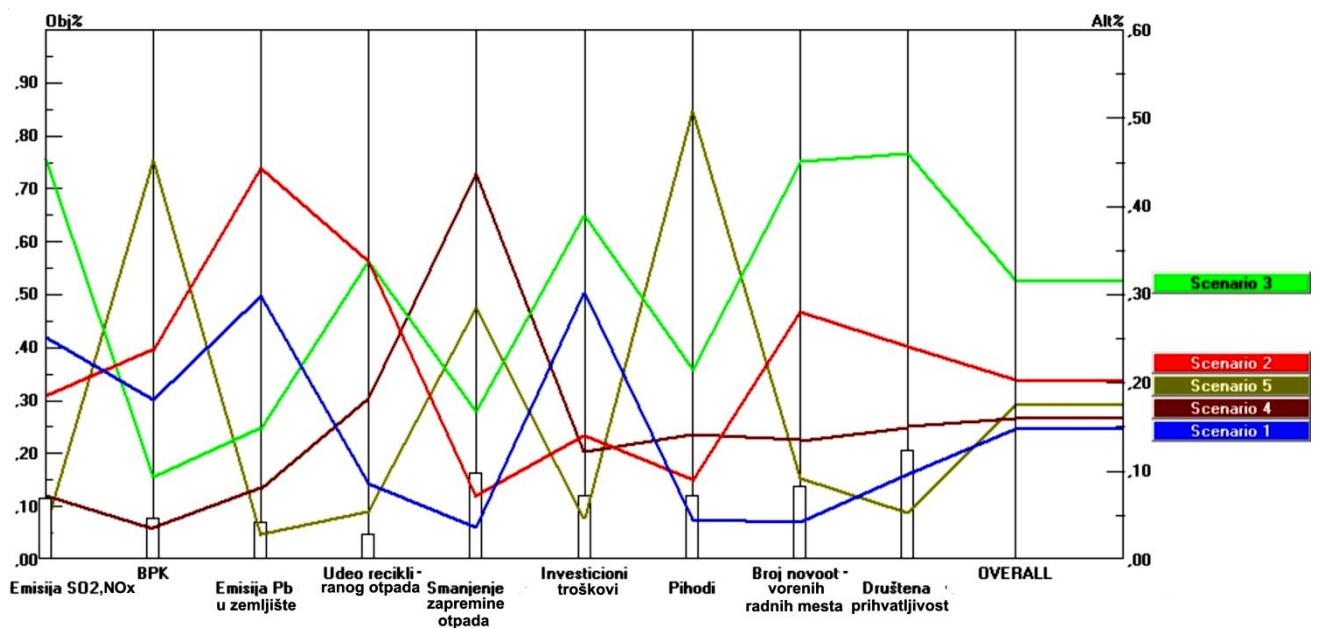
a)



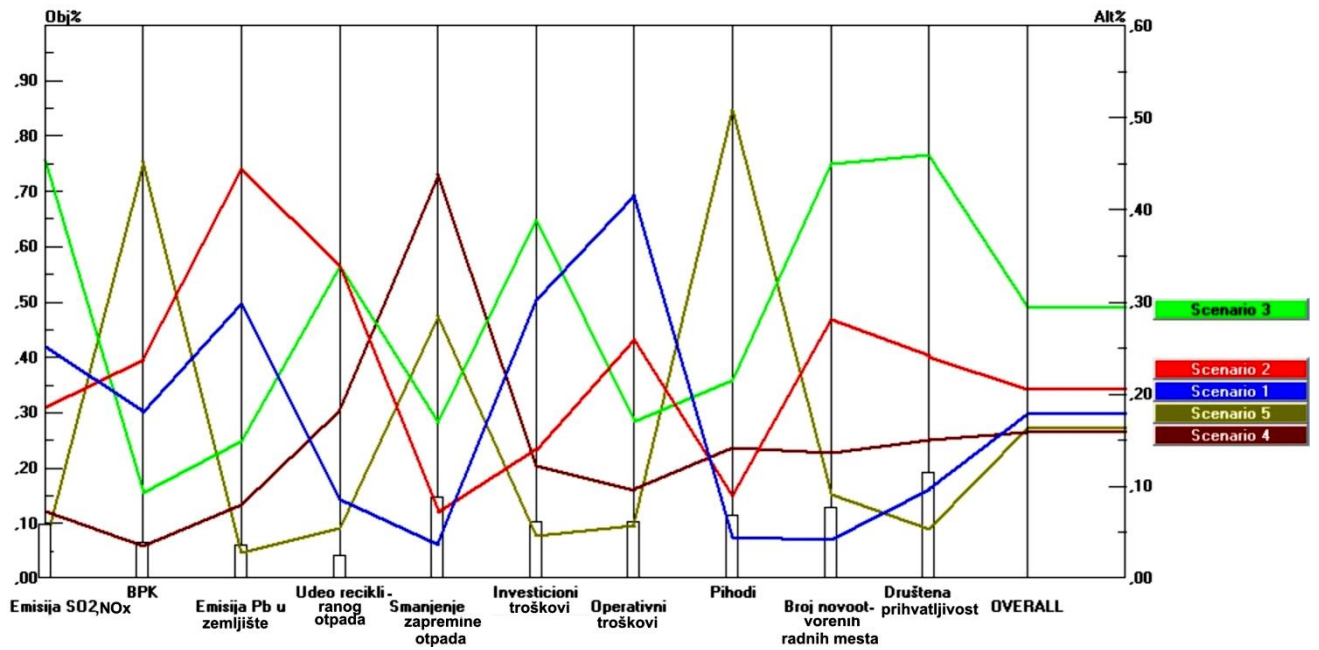
b)



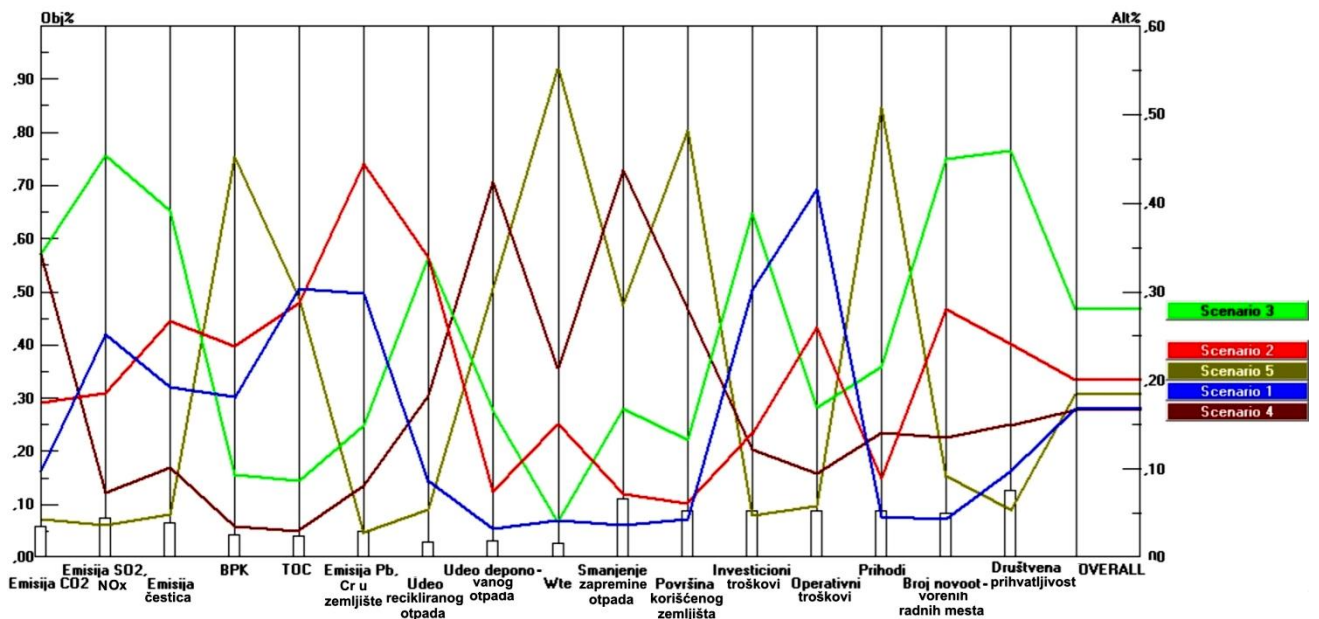
B)



Γ)



д)



ђ)

Слика 6.9 Рангирање сценарија коришћењем: а) 4 индикатора, б) 6 индикатора, в) 8 индикатора, г) 9 индикатора, д) 10 индикатора, њ) 16 индикатора

На основу добијених резултата закључује се да, без обзира на број индикатора који се користи за рангирање сценарија, у свим случајевима најбоље рангиран сценарио са аспекта одрживости је сценарио 3 (рециклажа неорганског и компостирање органског отпада). Када се разматра редослед осталих сценарија, примећује се да се он разликује у зависности од броја коришћених индикатора. Након повећања броја индикатора преко 8, на другом месту са аспекта одрживости је

сценарио 2 (рециклажа рециклабилног отпада и депоновање осталог отпада са добијањем енергије из депонијског гаса). Такође се примећује да не постоји разлика у редоследу свих сценарија када се користи 8 и 9 индикатора. При даљем повећању броја индикатора на 10, редослед рангирања се мења само за последња три сценарија.

На крају се може закључити да велико повећање броја индикатора на 16 индикатора не утиче значајно на редослед рангирања сценарија.

6.1.8 Минималан број индикатора

На основу изведене анализе у којој је утврђено да нема разлике у рангирању сценарија када се користи 8 или 9 индикатора, као и да повећање на 10 индикатора који би се користили као критеријуми за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, а узимајући у обзир и разлоге о максималном броју критеријума, наведене у поглављу 4.1 закључује се да је довољан минималан броја индикатора за оцену одрживости сценарија управљања отпадом којима се са довољном поузданошћу може оценити одрживост система управљања отпадом – 8 индикатора.

6.1.9 Анализа осетљивости

Анализом осетљивости испитиван је утицај промене приоритета за коришћених 8 индикатора као критеријума за одређивање релативних приоритета дефинисаних сценарија у односу на циљ. Анализа осетљивости урађена је за граничне случајеве, као и за претпостављене могуће случајеве.

Гранични случајеви

1. случај: Сви индикатори имају једнак тежински фактор од 12,50%.

2. случај: Група индикатора животне средине има тежински фактор 100% (сваки индикатор у групи има тежински фактор 50%), док сви остали индикатори имају тежински фактор 0%.

3. случај: Група индикатора који се односе на отпад има тежински фактор 100% (сваки индикатор у групи има тежински фактор 50%), док сви остали индикатори имају тежински фактор 0%.

4. случај: Група економских индикатора има тежински фактор 100% (сваки индикатор у групи има тежински фактор 50%), док сви остали имају индикатори имају тежински фактор 0%.

5. случај: Група друштвених индикатора има тежински фактор 100% (сваки индикатор у групи има тежински фактор 50%), док сви остали имају индикатори имају тежински фактор 0%.

6. случај: Група енергетских индикатора (индикатори животне средине, економски и друштвени индикатори) има тежински фактор 100% (сваки индикатор у групи има тежински фактор 16,67%), док индикатори који се односе на отпад имају индикатори имају тежински фактор 0%.

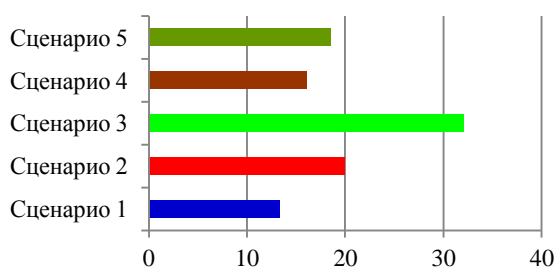
Претпостављени могући случајеви

7. случај: Група индикатора који се односе на отпад има највећи приоритет, затим по приоритету следи група индикатора животне средине, група друштвених и на крају група економских индикатора.

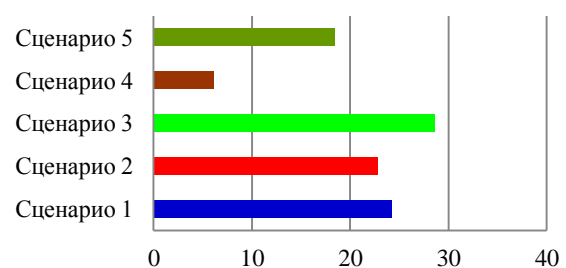
8. случај: Група индикатора који се односе на отпад има највећи приоритет, затим по приоритету следи група индикатора животне средине, група економских и на крају група друштвених индикатора.

9. случај: Највећи приоритет имају економски индикатори (инвестициони трошкови и приходи) и друштвени индикатор (број новоотворених радних места) – укупан тежински фактор 80%.

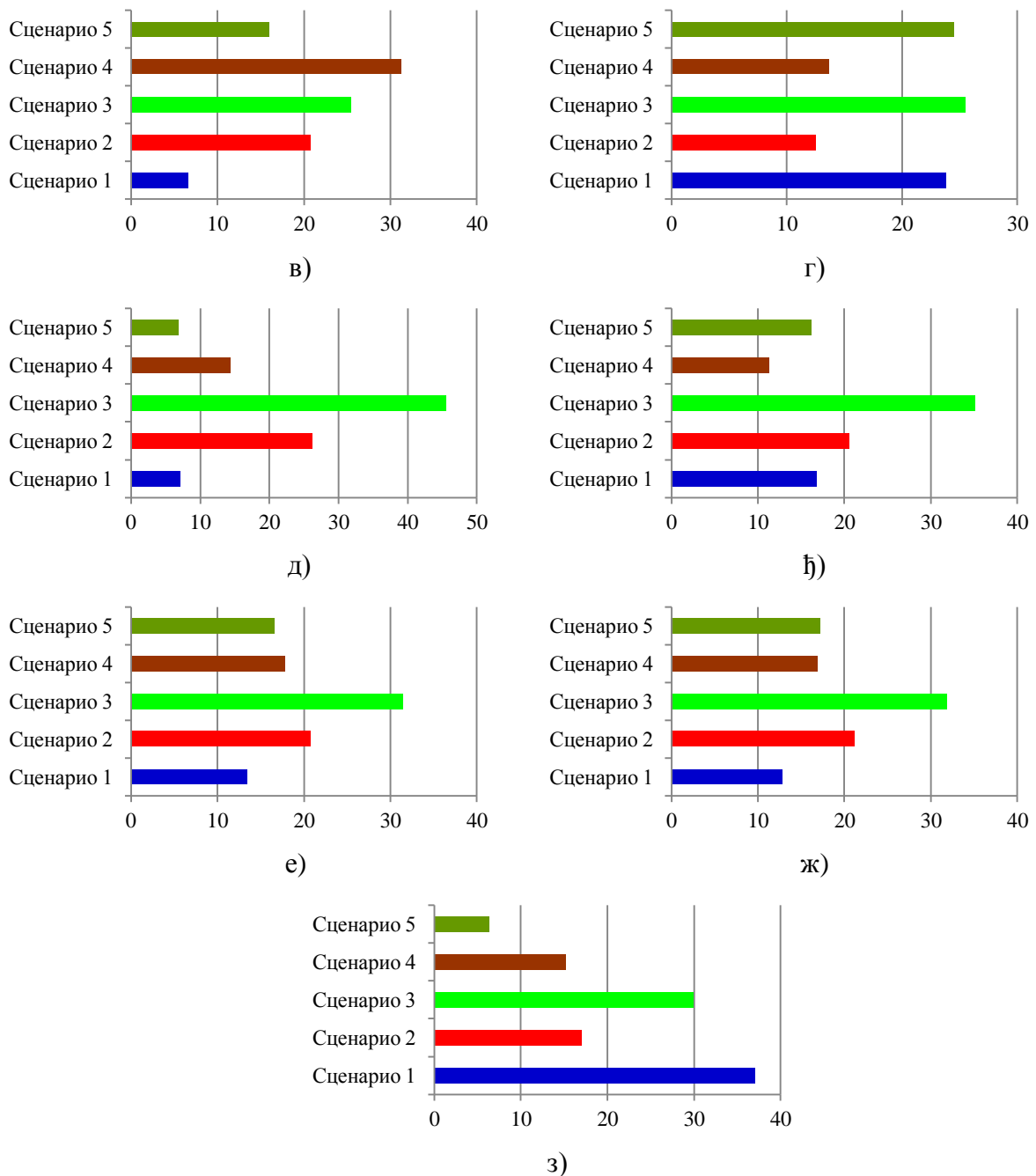
На слици 6.10 а) – з) приказани су резултати рангирања сценарија за све случајеве у анализи осетљивости.



а)



б)



Слика 6.10 Анализа осетљивости: а) 1. случај, б) 2. случај, в) 3. случај, г) 4. случај, д) 5. случај, ж) 6. случај, е) 7. случај, ж) 8. случај, з) 9. случај

Сprovedена анализа осетљивости за граничне случајеве приоритета индикатора и група индикатора, показује да је сценарио 3 у највећем броју случајева, осим у случају 3 (група индикатора који се односе на отпад има тежински фактор 100%), рангиран на првом месту. У највећем броју случајева (50% случајева) Сценарио 1 се показао као најмање одржив. Овако добијени резултати воде до закључка да су тежински фактори индикатора резултирали поузданим релативним приоритетима сценарија и њиховим рангирањем.

Спроведеном анализом осетљивости за претпостављене могуће случајеве, при чему је разматрана могућност да се група доносиоца одлука састоји и од експерата и од представника локалне самоуправе (случајеви 7 и 8), као и могућност да се група доносиоца одлука састоји само од представника локалне самоуправе (случај 9), закључује се следеће: у прва два случаја као резултат се такође добија да је Сценарио 3 најбоље рангиран, док се у случају 9, као најбоље рангиран добија Сценарио 1, који при спровођењу анализе осетљивости за граничне случајеве показао као најмање одржив.

6.2 Оцена одрживости сценарија управљања отпадом у граду Софија

У овом поглављу извршена је потврда развијеног модела на случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Софија. Град Софија је главни и највећи град Бугарске. Град се налази у подножју планине Витоша у западном делу Бугарске. Софија има површину од 492 km². Према попису из 2011. године, у Софији живи 1.291.591 становника [132].

Систем управљања отпадом у Софији је значајно промењен у последњој деценији. Са једне стране, разлог за то су проблеми са великим количинама генерисаног комуналног отпада и неадекватним третманом, а са друге стране, усвајање Директиве 2008/98/ЕЦ о отпаду [133], којом су постављени нови циљеви за државе чланице ЕУ о степену рециклаже отпада које треба постићи до 2020. године. До 2005. године сва количина генерисаног отпада је депонована. Као резултат тога, прекорачен је капацитет постојеће депоније. Због протеста грађана, депоновање отпада на постојећу депонију је прекинуто октобра 2005. године, без увођења алтернативних третмана отпада. Због тога је, у периоду од 2005. до 2007. године, целокупна количина отпада балирана и складиштена на привремена складишта у граду. Више од 500.000 t отпада је складиштено, што је представљало ризик по животну средину и здравље људи.

У циљу увођења одрживог интегралног система управљања отпадом, на почетку 2013. године пуштени су у рад санитарна депонија за неопасан отпад и постројење третман отпадних вода. У јануару 2014. године два постројења за третман биоразградивог отпада су почела са радом. Једно постројење за анаеробни третман одвојено прикупљеног отпада од хране капацитета 20.000 t/god, а друго постројење за

аеробни третман одвојено прикупљеног отпада из дворишта капацитета 24.000 t/god. У септембру 2015. године почело је са радом постројење за механичко-биолошки третман отпада капацитета 410.000 t/god. Сакупљање, транспорт и третман отпада наплаћују се у износу 1.6 % од утврђивеног пореза на имовину.

6.2.1 Количина и састав отпада у граду Софија

У граду Софија је у 2014. години генерисано 572.879 t [134]. Морфолошки и елементарни састав отпада приказан је у табели 6.9.

Табела 6.9 Морфолошки и елементарни састав отпада у граду Софија [134]

Фракције отпада	Количина (t)	Масени удео (%)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Влага (%)	Пепео (%)
Отпад од хране	62.730,00	10,95	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	70,0	5,0
Папир	56.429,00	9,85	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0	6,0
Картон	51.731,00	9,03	44,0	5,9	44,6	0,3	0,2	5,0	5,0
Пластика	82.953,00	14,48	60,0	7,2	22,8	-	-	2,0	10,0
Текстил	28.071,00	4,90	55,0	6,6	31,2	4,6	0,15	10,0	2,5
Гума	5.099,00	0,89	78,0	10,0	-	2,0	-	2,0	10,0
Кожа	5.099,00	0,89	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0	10,0
Отпад из дворишта	20.050,00	3,90	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	60,0	4,5
Стакло	53.335,00	9,31	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	2,0	98,9
Метал	11.515,00	2,01	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	3,0	90,5
Прашина, пепео итд.	193.690,00	33,81	26,3	3,0	2,0	0,5	0,2	8,0	68,0
Укупно	572.879,00	100,00							

6.2.2 Сценарији управљања отпадом

На основу података о саставу отпада у граду Софија, развијени су могући сценарији управљања отпадом који су приказани у табели 6.10.

Табела 6.10 Развијени сценарији управљања отпадом за град Софија

Сценарио	Опис сценарија
1	Депонување са добијањем енергије из депонијског гаса Рециклабилне фракције отпада (папир, пластика, гума, метал и стакло) у количини од 261.062 t се шаљу на рециклажу. Остали отпад од 311.817 t се одлаже на депонију. Депонијски гас који се ствара распадањем органског отпада се сакупља и у потројењу за когенерацију користи за добијање електричне и топлотне енергије.
2	Механичко – биолошки третман отпада Рециклабилне фракције отпада (папир, пластика, гума, метал и стакло) у количини од 261.062 t се издвајају у посторјењу за сепарацију отпада и шаљу на рециклажу.

Сценарио	Опис сценарија
	Органски отпад (отпад из дворишта и отпад од хране) у количини од 115.950 t се компостира. Остали отпад од 193.690 t се одлаже на депонију.
3 Анаеробна дигестија са добијањем енергије из биогаза	Одређене рециклабилне фракције отпада (стакло, гума, метал и пластика) у количини од 152.902 t се рециклирају. Органски отпад у количини од 226.287 t се шаље у постројење за анаеробну дигестију. Добијени биогаз се у постројењу за когенерацију користи за добијање електричне и топлотне енергије. Остали отпад у количини од 193.690 t се одлаже на депонију.
4 Инсинерација са добијањем енергије	Стакло и метал у количини од 64.850 t се рециклира. Остали отпад у количини од 508.029 t се шаље на инсинерацију. Гасовити производи сагоревања се, у постројењу за когенерацију користе за добијање електричне и топлотне енергије.

6.2.3 Избор сета индикатора

На основу идентификованих индикатора и у сарадњи са експертима у области управљања отпадом у граду Софија изабран је сет индикатора који су коришћени као критеријуми за оцену одрживости развијених сценарија управљања отпадом.

Као *индикатори животне средине* изабрани су:

- емисија гасова са ефектом стаклене баште у ваздух,
- емисија закисељавајућих гасова (SO₂, NO_x) у ваздух,
- биолошка потрошња кисеоника у води (БПК),
- емисија тешких метала (Pb, Cr) у земљиште,

Као *индикатори који се односе на отпад* изабрани су:

- удео рециклираног отпада,
- удео депонованог отпада,
- смањење запремине отпада,

Као *економски индикатори* изабрани су:

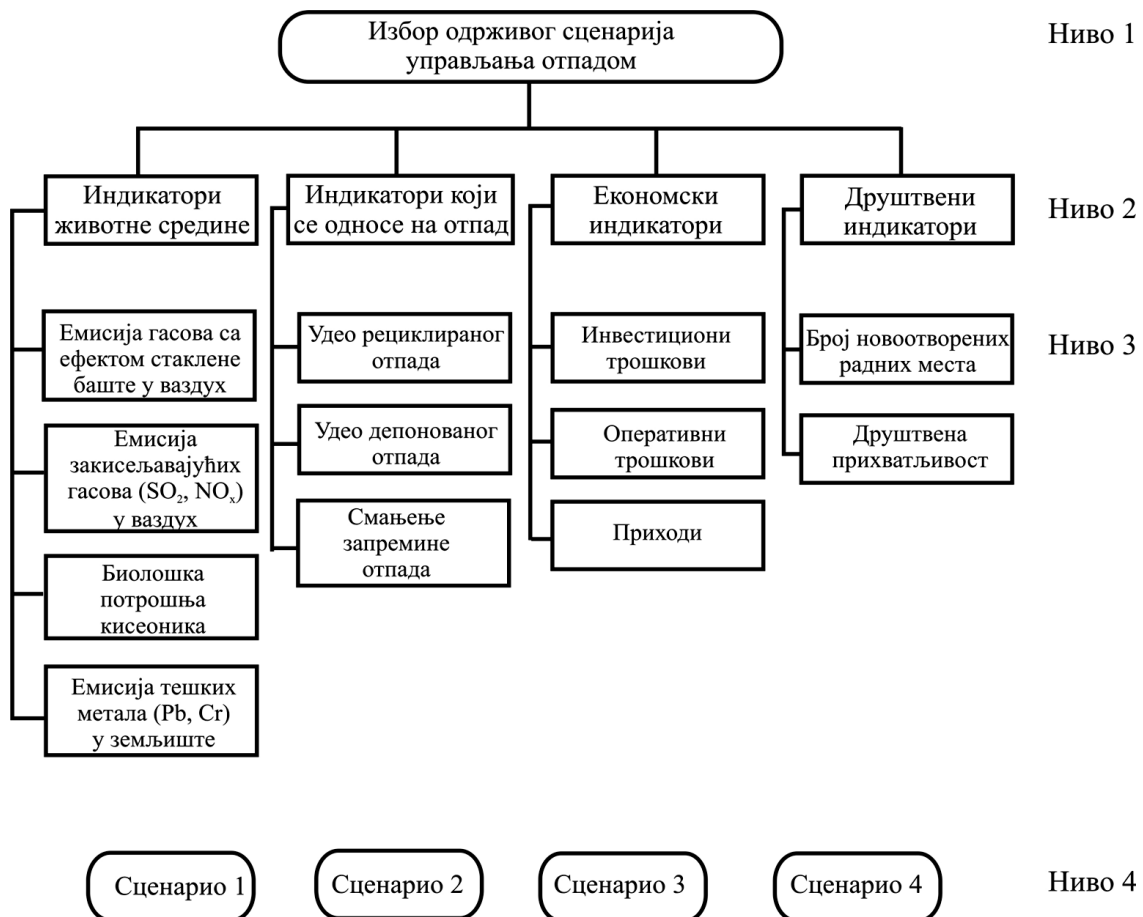
- инвестициони трошкови,
- оперативни трошкови,
- приходи од продаје произведене енергије и секундарних сировина из отпада.

Као *друштвени индикатори* изабрани су:

- број новотворених радних места,
- друштвена прихватљивост третмана отпада.

6.2.4 Формирање хијерархијске структуре

На основу дефинисаних сценарија управљања отпадом и изабраног сета индикатора одрживог развоја, као критеријума за оцену одрживости, формирана је хијерархијска структура за постизање предвиђеног циља. Хијерархијска структура је приказана на слици 6.11.



Слика 6.11 Хијерархијска структура при избору одрживог сценарија у граду Софија

6.2.5 Израчунавање вредности индикатора

Вредности изабраних индикатора израчунати су коришћењем модела као и у случају града Ниша. Индикатори животне средине и индикатори који се односе на отпад израчунати су коришћењем модела LCA-IMW [97]. Економски индикатори израчунати су коришћењем развијених математичких модела у коме су као улазни подаци коришћене тржишне цене које важе у Софији. Израчунате вредности свих елемената у структури економских индикатора (инвестиционих, оперативних трошкова и прихода) за развијене сценарије приказане су у прилогу 9.2 табеле 9.10 – 9.12.

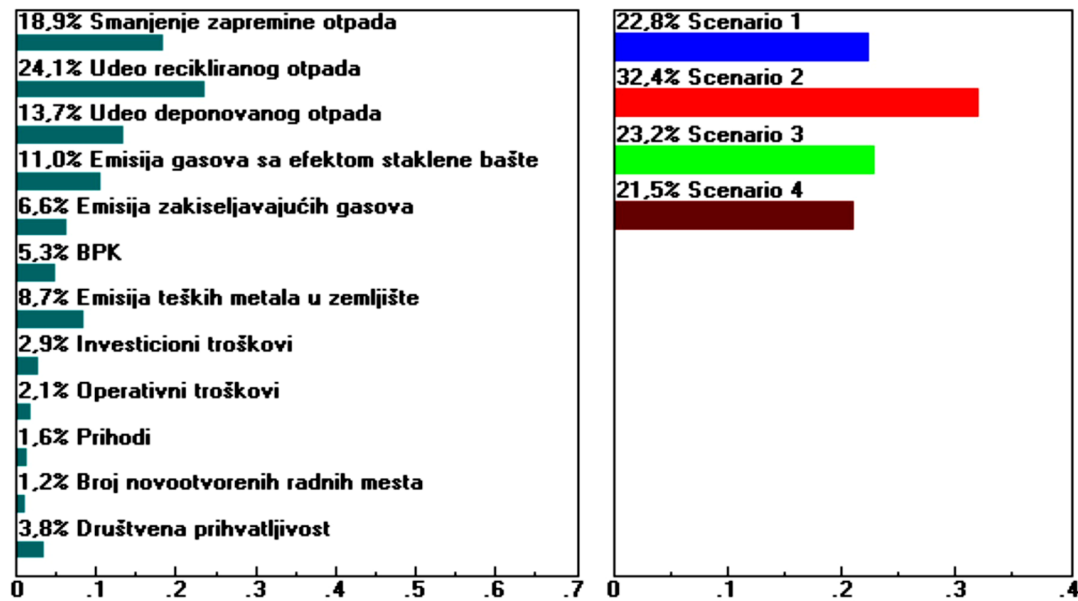
Друштвени индикатори израчунати су на основу литературних података (број новоотворених радних места) и развијеног математичког модела за израчунавање индикатора „друштвена прихватљивост“. Упитник (табела 9.13 прилог 9.3) који је дизајниран у циљу утврђивања знања, мишљења и ставова јавности и као база за израчунавање овог индикатора, коришћен је и у граду Софији, где је анкетирани структурирани узорак испитаника. Израчунате вредности индикатора, приказане су у табели 6.11.

Табела 6.11 Израчунате вредности индикатора за град Софија

Индикатор	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4
Емисија гасова са ефектом стаклене баште у ваздух (t/god)	19.800,00	16.400,00	16.400,00	405.000,00
Емисија закисељавајућих гасова (SO ₂ , NO _x) у ваздух (t/god)	6,50	8,14	55,24	290,00
Биолошка потрошња кисеоника (БПК) (kg/god)	200.000,00	303.000,00	874.000,00	4,13
Емисија тешких метала (Pb, Cr) у земљиште (kg/god)	640,60	196,80	196,80	8.824,00
Удео рециклираног отпада (%)	45,60	45,60	26,70	11,30
Удео депонованог отпада (%)	54,40	33,80	33,80	5,00
Смањење запремине отпада (%)	40,00	80,00	80,00	95,00
Инвестициони трошкови (€/t)	121,83	78,54	112,27	306,07
Оперативни трошкови (€/t)	20,23	26,27	24,43	40,38
Приходи (€/t)	107,72	140,83	152,55	160,70
Број новоотворених радних места	680	685	438	340
Друштвена прихватљивост (%)	18,79	64,19	37,25	18,94

6.2.6 Рангирање развијених сценарија

Одређивање тежинских фактора извршено је групним доношењем одлуке, применом методе сумирања индивидуалних ставова. Групу доносилаца одлуке сачињавали су експерти из области управљања отпадом у граду Софија. На основу израчунатих тежинских фактора извршено је рангирање развијених сценарија које је приказано на слици 6.12.



Слика 6.12 Резултат рангирања развијених сценарија за град Софија

На основу добијених резултата закључује се да је најбоље рангиран сценарио са аспекта одрживости, Сценарио 2 који подразумева механичко – биолошки третман отпада (рециклажа и компостирање отпада). Обзиром да се овај резултат рангирања поклапа са изабраним и већ постојећим системом управљања отпадом у граду Софији, овим се потврђује да се резултати добијени применом развијеног модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом поклапају са стварним системом управљања отпадом и да се овај модел може применити за оцену одрживости сценарија управљања отпадом у било којој локалној заједници.

7 ЗАКЉУЧАК

Успешна и дуготрајна реализација система управљања отпадом на одређеној територији, условљена је применом одрживих третмана отпада. Третмани отпада који се примењују у систему управљања отпадом треба да буду одрживи са свих аспеката (економског, друштвеног и аспекта животне средине). Међутим, избор таквог система је велики изазов и тежак задатак за доносиоце одлука из више разлога. Прво, због постојања великог броја различитих третмана отпада од којих треба изабрати оне који имају најмање негативан утицај на животну средину и најприкладнији су одређеним економским и друштвеним приликама. Друго, због постојања великог броја критеријума (индикатора одрживог развоја) који се могу применити за оцену одрживости третмана отпада; треће, због постојања великог броја заинтересованих страна са различитим, често супротним приоритетима, као и због непостојања универзалног модела, као система за подршку одлучивању, који би доносиоцима одлука омогућио избор одрживог система управљања отпадом.

У овој докторској дисертацији третмана отпада са аспекта одрживости и препознате су њихове извршена је анализа и представљене су карактеристике најчешће коришћених предности и недостаци са економског, друштвеног и аспекта животне средине. Анализа је извршена у циљу препознавања свих утицајних фактора на вредности индикатора и као предуслов за избор индикатора одрживог развоја, који се користе као критеријуми за оцену одрживости.

Такође је извршен свеобухватан преглед индикатора одрживог развоја, као и посебних група индикатора (енергетски индикатори и индикатори који се односе на отпад), који су развијени и користе се у свету, као и преглед индикатора који су развијени у Републици Србији. На основу прегледа индикатора и анализом досадашњих истраживања, препознат је сет индикатора који су битни доносиоцима одлука и који се могу користити за избор и оцену одрживости система управљања отпадом у Републици Србији. Предложен је сет индикатора одрживог развија

(економских, друштвених и индикатора животне средине) који се могу користити за оцену одрживости третмана отпада у Републици Србији, а који представљају комбинацију енергетских индикатора и индикатора везаних за отпад, што представља један од резултата и научни допринос овог истраживања.

Основни резултат истраживања и научни допринос дисертације је развијени модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, као систем за подршку одлучивању, који узима у обзир све аспекте одрживости, у зависности од количине и састава отпада као и намере доносиоца одлуке. Развијени модел предвиђа више корака приликом оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом и користи методу вишекритеријумске анализе за рангирање сценарија. Модел је универзалан и може се користити за различите локалне економске и друштвене прилике, с обзиром да су основне улазне променљиве састав и количина отпада. Овиме је потврђена хипотеза да је оцена одрживости сценарија управљања отпадом вишекритеријумски проблем који се може решити применом модела који као основне улазне параметре користи количину и састав отпада на одређеној територији.

Резултат истраживања и научни допринос су такође и развијени математички модели за израчунавање појединих економских индикатора (инвестициони трошкови, оперативни трошкови и приходи) и друштвеног индикатора (друштвена прихватљивост третмана отпада). Развијени математички модели за израчунавање економских индикатора као основне улазне променљиве користе количину и састав отпада и омогућавају, на основу препознате структуре трошкова и прихода, узимање у обзир локалних економских прилика и важећих тржишних цена, па су применљиви за било који град или државу.

Математички модел који је развијен за израчунавање друштвеног индикатора применом фази логике, користи три улазне променљиве које описују став, мишљење јавности и спремност за активно учешће у систему управљања отпадом. Овакав модел представља нов методолошки приступ у начину израчунавања индикатора “друштвена прихватљивост”. Овај модел је такође универзалан, јер као улазне величине користи мишљење и ставове становништва који се могу прикупити на било којој територији. У циљу прикупљања података за израчунавања друштвене прихватљивости третмана отпада, на територији града Ниша, дизајниран је упитник са унапред понуђеним

одговорима и извршено је анкетирање структурираног узорка становника на територији града Ниша.

Такође, као резултат истраживања и научни допринос, одређен је довољан минималан број индикатора којима се са довољном поузданошћу може оценити одрживост система управљања отпадом. Одређивање минималног броја индикатора извршено је узимајући у обзир карактеристике методе вишекритеријумске анализе која је коришћена за оцену одрживости, као и резултате добијене анализом случајева у којима је вариран број усвојених индикатора као критеријума за оцену одрживости. Овиме је потврђена хипотеза да постоји минималан број индикатора чијим се коришћењем са прихватљивом поузданошћу може оценити одрживост система управљања отпадом.

Провера развијеног модела за оцену одрживости, која је извршена на случају оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом у граду Нишу, коришћењем развијеног модела потврдила је функционалност модела. Спроведена је анализа осетљивости да би се испитао утицај промене важности индикатора као критеријума за одређивање релативних приоритета дефинисаних сценарија у односу на циљ. Анализа осетљивости урађена је за граничне случајеве, као и за претпостављене могуће случајеве, који узимају у обзир приоритете различитих група доносиоца одлука. Потврда модела извршена је на случају оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом у граду Софија, где је већ уведен интегрални систем управљања отпадом. Резултати добијени применом развијеног модела се поклапају са постојећим системом у граду Софија. Овиме је потврђена хипотеза да се развијени модел може применити за било коју локалну заједницу.

Ограничења система за подршку одлучивању односе се на део математичког модела за израчунавање економских индикатора. Функције зависности одређених елемената у структури инвестиционих трошкова, као што су трошкови куповине земљишта и трошкови изградње објеката за смештај постројења и опреме, од капацитета постројења добијене су коришћењем података из литературе о површини земљишта и површини објеката потребних за смештај постројења. С обзиром да ове величине могу зависити од расположиве површине земљишта, то може утицати на коначну вредност индикатора инвестициони трошкови. Такође су, приликом развијања функције зависности варијабилних оперативних трошкова од количине третираног



отпада, коришћени подаци из литературе о висини ових оперативних трошкова, што такође може утицати на вредност индикатора оперативни трошкови.

Даља истраживања биће усмерена ка допуни модела модулима који омогућавају оцену одрживости и осталих елемената система за управљање отпадом, као што су сакупљање и транспорт отпада до постројења за третман отпада, чиме би систем за подршку одлучивању био комплетан и применљив за оцену одрживости целокупног система управљања отпадом.

Један од праваца даљих истраживања биће такође развијање математичких модела за израчунавање економских индикатора (прихода и трошкова) осталих третман отпада (гасификација, пиролиза, различите врсте механичко – биолошких третмана), као и сакупљања и транспорта отпада, у функцији количине и састава отпада, као и математичког модела за израчунавање друштвене прихватљивости примарне селекције отпада у оквиру сакупљања отпада, као елемента система управљања отпадом. С обзиром да је у свету, а нарочито у Србији, мало пажње посвећено друштвеном аспекту одрживости система управљања отпадом, и с обзиром на чињеницу да је највећи број друштвених индикатора квалитативног карактера, постоји велики простор за истраживачки рад. У даљем истраживању неопходно је радити на развијању модела за израчунавање друштвених индикатора који се односе на управљање отпадом, као што су: ниво знања о управљању отпадом, страх становништва од негативних утицаја технологија управљања отпадом, друштвена одговорност итд.



8 ЛИТЕРАТУРА

1. Eurostat. Waste statistics - Statistics Explained - European Commission, 2015. На мрежи http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics. [Приступљено: 09.11.2015.]
2. СЕПА. Агенција за заштиту животне средине, 2013. На мрежи http://www.sepa.gov.rs/download/Izvestaj_2012.pdf. [Приступљено: 01.11.2015.]
3. *A Technical, Economic and Environmental Comparison of Composting and Anaerobic Digestion of Biodegradable Municipal Waste*. Murphy, J.D, Power, N.M. 2006, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 41, стр. 865-879.
4. *Evaluation of options for energy recovery from municipal solid waste in India using the hierarchical analytical network process*. Nixon, J.D., и други. 2013, Energy, 59, стр. 215-223.
5. Hogg, D. *Costs for Municipal Waste Management in EU, Final Report to Directorate General Environment*. Eunomia, 2001.
6. DEFRA. *Review of Environmental and Health Effects of Waste Management: Municipal Solid Waste and Similar Wastes*. London, UK : Department for Environmental, Food & Rural Affairs, 2004.
7. EPA, U.S. Environmental Protection Agency. *Decision-Makers Guide to Solid Waste Management*. Washington D.C. EPA, 1989.
8. Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, Inc., 1993.
9. Reimann, D.O. *CEWEP Energy Report (Status 2001-2004). Result of specific data for energy, efficiency Rates and Coefficients, plant efficiency factors and NCV of 97 European W-t-E plants and Determination of the main energy results*. Bamberg, Germany, Upd : CEWEP, 2006.
10. *Formulas and nomograms for use of the technical guide for air pollution control; in German*. Schwanecke, R. 1976, Wasser, Luft und Betrieb, 20(11), стр. 607.
11. *Mechanisms of Methane Fermentation*. Buswell, A. M., Mueller, H. F. 1952, Industrial & Engineering Chemistry, 44, стр. 550–552.
12. Arena, U., Mastellone, M. L. *Fluidized bed gasification of RDF and PDF*. AMRA Scientific Report. ISBN 978-88-89972-10-6, 2009.
13. Christensen, T. H. *Solid Waste Technology & Management Volume 1*. A John Wiley and Sons, Ltd, Publication, 2011.



14. *Metals as Catalysts during the Formation and Decomposition of Chlorinated Dioxins and Furans in Incineration Processes*. Olie, K., Addink, R., Schoonenboom, M. 1998, Journal of the Air & Waste Management Association, 48(2), стр. 101-105.
15. *Dioxin characterisation, formation and minimisation during municipal solid waste (MSW) incineration: review*. McKay, G. 2002, Chemical Engineering Journal, 86(3), стр. 343–368.
16. Niessen, W.R. *Combustion and incineration processes, Application in environmental engineering*. 4 th. New York : Taylor and Francis Group, 2010.
17. Directive 2000/76/EC, . Directive 2000/76/EC on the incineration of waste. European Parliament, 2000.
18. Nightingale, D., Donnette, R. Household hazardous wastes. [ур.] G. Tchobanoglous / F. Kreith. *Handbook of solid waste management*. New York, USA : McGraw Hill, 2002, стр. 10.1-10.36.
19. Williams, P.T. *Waste treatment and disposal*. Second edition. Chichester, UK : John Wiley&Sons Ltd., 2005.
20. *Energy from gasification of solid wastes*. Belgiorno, V., и други., 2003, Waste Management, 23(1), стр. 1-15.
21. Juniper. *Pyrolysis and gasification of waste: a worldwide teshnology and business review, volume 2. Technology and processes, 2nd edition*. Chichester, UK : Juniper Consultancy Services Ltd, 2001.
22. *An overview for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario*. Singha, R.P., и други. 2011, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, стр. 4797– 4808.
23. Byun, Y., и други. Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste (MSW). [ур.] Y. Yun. *Gasification for Practical Applications*. InTech, 2012, стр. 185-210.
24. *Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review*. Gomez, E., и други. 2009, Journal of Hazardous Materials, 161, стр. 614-626.
25. Mata-Alvarez, J. *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes*. London : IWA Publishing, 2003.
26. *Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge*. Appeles, L., и други. 2008, Progress in energy and combustion science, 34, стр. 755-781.
27. *Anaerobic digestion of municipal solid waste: a moden waste disposal option on the verge of breakthrough*. Braber, K. 1995, Biomass and bioenergy, 9(1-5), стр. 365-376.
28. *Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives*. Mata-Alvarez, J., Mace, S., Llabres, P. 2000, Bioresource technology, 74, стр. 3-16.
29. *Technical/economic/environmental analysis of biogas utilisation*. Murphy, J.D., McKeogh, E., Kiely, G. 2004, Applied Energy, 77, стр. 407-427.
30. Kusch, S., Schafer, W., Kranert, M. Dry Digestion of Organic Residues. [ур.] S. Kumar. *Interated waste management Vol.1*. Rijeka : InTech, 2011, стр. 115-135.
31. *Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods*. Economopoulos, A.P. 2010, Waste management, 30, стр. 707-715.



32. *Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources*. Ward, A.J., и други. 2008, *Bioresources Technology*, 99, стр. 7928-7940.
33. Zupancic, G.D., Grlic, V. Anaerobic treatment and biogas production from organic waste. [yp.] S. Kumar, A. Bharti. *Management of organic waste*. InTech, 2011.
34. Diaz, L.F., Savage, G.M / Golueke, C.G. Composting of municipal solid waste. [yp.] G. Tchobanoglous, F. Kreith. *Handbook of solid waste management*. New York, USA : McGraw Hill, 2002, стр. 12.1-12.70.
35. *A technical, economic and environmental comparison of composting and anaerobic digestion of biodegradable municipal waste*. Murphy, J.D., Power, N.M. 2006, *Journal of environmental science and health, part A*, 41, стр. 865-879.
36. Cheremisionoff, N.P. *Handbook of solid waste management and waste miniimization technologies*. Burlington, USA : Butterworth-Heinemann, 2003.
37. *Approximate cost function for solid waste treatment facilities*. Tsilemou, K. / Panagiotakopoulous, D. 2006, *Waste Management and Recourse*, 24, стр. 310-344.
38. Leverenz, H., Tchobanoglous, G., Spencer, D.B. Recycling. *Handbook of solid waste management*. second. New York, USA : McGraw-Hill, 2002, стр. 8.1-8.77.
39. Directive, EU. Directive 1999/31/EC on the landfill of waste. 1999.
40. Република Србија. Уредба о одлагању отпада на депоније. Службени гасник РС, број 92/2010, 20106.
41. Република Србија. Закон о управљању отпадом. Службени гласник РС, број 36/2009 и 88/2010, 2009.
42. IPCC. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5, Waste*. Japan : Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
43. *Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling*. Manfredi, S., Christensen, T.H. 2009, *Waste management*, 29, стр. 32-43.
44. Brundtland. *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development*. London : World Commission on Environment and Development, 1987.
45. UNCED. *Agenda 21 - The United Nations programme of action from Rio*. New York : United Nations Conference on Environment & Development, 1992.
46. UN. *Report of the World Summit on Sustainable development, Johanesburg*. New York : United Nations Publication, 2002.
47. Милутиновић, С. *Урбанизација и одрживи развој*. Ниш : Факултет заштите на раду, 2004.
48. *Energy indicators for sustainable development*. Vera, I., Langlous, L. 2007, *Energy*, 32, стр. 875-882.
49. Вујаклија, М. *Лексикон страних речи и израза*. Београд : Просвета, 1970.
50. ЕЕА. *Environmental indicators: Typology and Use in Reporting*. Copenhagen : European Environment Agency , 2003.
51. *Development of environmental indicator system: experiences from Germany*. Walz, R. 2000, *Environmental Management*, 26, стр. 613-623.



52. UNCSO, United Nations Commission on Sustainable Development. *Indicators of sustainable development Guidelines and Methodologies*. New York : United Nations publication, 2007.
53. IAEA, UNDESA, IEA, Eurostat, EEA. *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. Vienna : International Atomic Energy Agency, 2005.
54. Република Србија. Национална стратегија одрживог развоја. Београд : Службени гласник РС, број 57/08, 2008.
55. Република Србија. Правилник о националној листи индикатора заштите животне средине. Београд : Службени гласник РС, број 37/11, 2011.
56. Република Србија. Стратегија управљања отпадом за период 2010-2019. године. Београд : Службени гласник РС, број 29/2010, 2010.
57. Afgan, N.H., Carvalho, M.G. *Sustainability assessment method for energy systems: indicators, criteria and decision making procedure*. New York : Kluwer Academic Publishers, 2000.
58. *Energy sustainability indicators for local energy planning: Review of current practices and derivation of a new framework*. Neves, A.R., Leal, V. 2010, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, стр. 2723-2735.
59. Милутиновић, С. Методолошки приступ процени одрживости развоја. *Локални одрживи развој: изазови планирања развоја на локалном нивоу*. Београд : Стална конференција градова и општина, 2006.
60. *Quantitative assessments of municipal waste management systems: Using different indicators to compare and rank programs in New York State*. Greene, K.L., Tonjes, D.J. 2014, *Waste Management*, 34, стр. 825-836.
61. *Assessment of factors influencing the performance of solid waste recycling programs*. Suttibak, S, Nitivattananon, V. 2008, 53(1-2), стр. 45-56.
62. *Benchmark Indicators for Integrated & Sustainable Waste Management (ISWM)*. Wilson, DC, и други. 2013. ISWA World Congress 2013.
63. *Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making*. Wang, J.-J., и други. 2009, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, стр. 2263-2278.
64. *Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis*. Hokkanen, J., Salminen, P. 1997, *European Journal of Operational Research*, 98, стр. 19-36.
65. *Sustainability indicators for solid waste management systems*. Tsilemou, K., Panagiotakopoulos, D. Rhodes, Greece : Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology, 2005.
66. *Application of AHP Model for Evaluation of Solid Waste Treatment Technology*. Samah, M.A.A., Manaf, L.A., Zukki, N.I.M. 2010, *International Journal of Engineering Research and Science & Technology*, 1(1), стр. 35-40.
67. *A multi-criteria assessment of scenarios on thermal processing of infectious hospital wastes: A case study for Central Macedonia*. Karagiannidis, A., и други. 2010, *Waste Management*, 30, стр. 251-262.
68. *Categorising tools for sustainability assessment*. Nessa, B., и други. 2007, *Ecological Economics*, 60, стр. 498-508.



69. Bernardini, A., Turcksin, L., Macharis, C. *Multi Criteria analysis: method, analysis and results*. Brussel : CLEVER-Clean Vehicle Research, 2007.
70. Чупић, М., и други. *Специјална поглавља из теорије одлучивања: квантитативна анализа*. Нови Сад : Факултет техничких наука, 2004.
71. *Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and limitations*. Ishizaka, A. / Labib, A. 2009, OR Insight , 22(4), стр. 201–220.
72. Eghali, L. *Decision Support Tools for Environmental Policy Decisions and their Relevance to Life Cycle Assessment*. CES Working paper 2/02, 2002.
73. *A comparison of the Analytic Hierarchy Process and the Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency method for assessing the sustainability of waste management scenarios*. Stefanović, G., и други. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.050>, 2015, Journal of Cleaner Production.
74. Climaco, J. *Multicriteria analysis*. New York : Springer-Verlag, 1997.
75. *A holistic review of applied methodologies for assessing and selecting the optimal technological alternative from a sustainability perspective*. Ibanez-Fores, V., Bovea, M.D., Perez-Belis, V. 2014, Journal of Cleaner Production, 70, стр. 259-281.
76. *A scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*. Saaty, T.L. 1977, Journal of Mathematical Psychology, 15, стр. 57-68.
77. Saaty, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York, USA : McGraw-Hill International, 1980.
78. *Using the Analytic Hierarchy Process for Decision Making in Engineering Applications: some Challenges*. Triantaphyllou, E., Mann, S.H. 1995, International Journal of Industrial Engineering: Applications and Practice, 2(1), стр. 35-44.
79. *Decision making with the analytic hierarchy process*. Saaty, T.L. 2008, International Journal of Services Sciences, 1(1), стр. 83-98.
80. *Rank, Normalization and Idealization in the Analytic Hierarchy Process*. Saaty, T.L. Bali, Indonesia : ISAHP, 2003.
81. *The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information*. Miller, G.A. 1956, Psychological Review, 63(2), стр. 81–97.
82. *Use of multi criteria decision analysis to the available methods*. Cinelli, M., Coles, S. R. / Kirwan, K. Gothenburg : The 6th International Conference on Life Cycle Management , 2013.
83. Jahan, A., Edwards, K. L. *Multicriteria decision analysis for supporting the selection of engineering materials in product design*. Elsevier, 2014.
84. *An AHP based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setubal Peninsula, Portugal*. Pires, A., Chang, N. B., Martinho, G. 2011, Resources, Conservation and Recycling, 56 (1), стр. 7-21.
85. *An overview of the Analytic Hierarchy Process and its applications* . Vargas, L.G.: 1990, European Journal of Operational Research, 48(1), стр. 2-8.
86. Saaty, T.L. *Multicriteria Decision Making - The Analytical Hierarchy Proces*. Pittsburg : RWS Publications, 1992.



87. Срђевић, Б., Јандић, З. *Аналитички хијерархијски процес у стратешком газдовању шумама*. Нови Сад, 2000.
88. *Aggregation of Individual Preference Structures in Ahp-Group Decision Making*. Escobar, М.Т., Moreno-Jimenez, J.М. 2007, *Group Decision and Negotiation*, 16, стр. 287–301.
89. *Aggregating Individual Judgements and Priorities with the Analytic Hierarchy Process*. Forman, Е., Peniwati, К. 1998, *European Journal of Operational Research*, 108(1), стр. 165-169.
90. Turban, Е., Sharda, R.Е, Delen, D. *Decision Support and Business Intelligence Systems*. 9th. Prentice Hall, 2010.
91. Мишковић, В. *Системи за подршку одлучивању*. Београд : Универзитет Сингидунум, 2013.
92. *Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste*. Milutinović, В., и други. 2014, *Energy*, 74, стр. 190-201.
93. Haight, М. *Technical Report: Integrated Solid Waste Management Model*. Waterloo : School of Planning, University of Waterloo, 2004.
94. EPA. *Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A life-cycle Assessment of Emissions and Sinks, 2nd ed.* Washington, DC : Environmental Protection Agency, 2002.
95. *Life-cycle assessment of municipal solid wastes: Development of the WASTED model*. Diaz, R., Warith, М. 2006, *Waste Management*, 26, стр. 886-901.
96. *ORWARE - A simulation model for organic waste handling system. Part 1: Model description*. Dalemo, М., и други. 1997, *Resource, Conservation and Recycling*, 21, стр. 17-37.
97. LCA-IMW. Technische Universität Darmstadt, 2005. На мрежи http://www.iwar.tu-darmstadt.de/lca-iwm/lca_iwm/project_results/results/index.en.jsp. [Приступљено: 15.08.2015.]
98. *Analytic hierarchy process and expert choice: benefit and limitations*. Ishzaka, А., Labib, А. 2009, *ORInsight*, 22, стр. 201-220.
99. The World Bank. *Municipal Solid Waste, Technical guidance report*. Washington D.C. : The World Bank, 1999.
100. *A mathematical model for evaluating the economic indicators of waste treatment with energz recovery*. Milutinović, В., и други. Pau, France : ECOS, 2015b.
101. The office of the Deputy Prime Minister. *Planning for Waste Management Facilities: A research study*. London, UK : ODPM Publications, 2004.
102. DEFRA, Department for Environment, Food&Rural Affairs. *Incinerations of Municipal Solid Waste 2013*. На мрежи https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf. [Приступљено: 16.01.2015.]
103. CEWER, Confederation of European Waste-to-Energy Plants. *CEWER Country Report 2010-2011*, 2010. На мрежи <http://www.cewer.eu/>. [Приступљено: 20.03.2015.]
104. Ramsey. *Source separated organic materials anaerobic digestion feasibility study - report*, 2009. На мрежи <https://www.co.ramsey.mn.us/NR/rdonlyres/C9000BB9-1C1A-43F5-8E1D->



- 80A0A7E6AF35/16315/anaerobic_digestion_feasibility_study1.pdf. [Приступљено: 15.03.2015.]
105. SAOS, Developing co-operation in farming, food and rural Scotland. Feasibility study for a Central Anaerobic Digestion Plant in AberdeenShire 2009. На мрежи https://www.aberdeenshire.gov.uk/support/agriculture/jim_booth_study_report.pdf. [Приступљено: 16.04.2015.]
106. *Inegrating anaerobic digetion with composting*. Kraemer, T., Gamble, S. 2014, BioCycle, 55(10), стр. 32-36.
107. ЕРЕМ. Environmental planing and management, 2005. На мрежи <http://www.epem.gr/waste-c-control/database/>. [Приступљено: 06.09.2015.]
108. *Economic Assessment of Mechanical-Biological Treatment Facilities*. Tsilemou, K., Panagiotakopoulos, D. 2007, Environmental Research, Engineering and Management, 1(39), стр. 55-63.
109. UNEP. *Solid Waste Menegement, Volume I*. United Nations Environmental Programme, 2005.
110. FOE. Friends of the Earth, UP in smoke, 2007. На мрежи http://www.foe.co.uk/sites/default/files/downloads/up_in_smoke.pdf. [Приступљено: 10.06.2015.]
111. LCA-IWM. *The use of life cycle assessment tool fort he development of integrated waste management strategies for cities and regions with rapid growing economies*. CORDIS-Community Research and Development Information Service, 2005.
112. *Social sustainability and social acceptance in technology assessment: A case study of energy technologies*. Assefa, G., Frostell, B. 2007, Technology in Society, 29, стр. 63-78.
113. *Sustainability assessment of energy technologies via social indicatora: Results of survey among European experts*. Carrera, D.G., Mack, A. 2010, Energy Policy, 38, стр. 1030-1039.
114. *Reversing Nuclear Opposition: Evolving Public Acceptance of a Permanent Nuclear Waste Disposal Facility*. Jenkins-Smith, H., и други. 2011, Risk Analysis, 31(4), стр. 629-644.
115. *Euro-trash: searcing Europe for a more sustainable approach to waste management*. Wilson, E.J., McDougall, F.R., Willmore, J. 2001, Resource, Conservation and Recycling, 31(4), стр. 327-346.
116. *Waste management models and their application to sustainable waste management*. Morrisey, A.J., Browne, J. 2004, Waste Management, 24(3), стр. 297-308.
117. *Social acceptance for the development of a waste-to-energy plant in an urban*. Achillas, C., и други. 2011, Resources, Conservation and Recycling , 55, стр. 857–863.
118. *Public opinion and awareness towards MSW and separate collection programmes: A sociological procedure for selection areas and citizens with a low level of knowledge*. De Fao, G., De Gisi, S. 2010, Waste Management, 30, стр. 958-976.
119. *Sociological survey in a municipality with a high level separate collection programme in an area of historic unpopularity*. De Fao, G. 2014, Waste Management, 34, стр. 1369-1380.
120. *Pablic perception of odor and environmental pollution attributed to MSW treatment and disposal facilities: A case study*. De Fao, G., De Gisi, S. 2013, Waste Management, 33, стр. 974-987.



121. *The role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems*. Zadeh, L.A. 1983, *Fuzzy sets and systems*, 11, стр. 199-227.
122. *Fuzzy Sets*. Zadeh, L. 1965, *Information and Control*, 8, стр. 338–353.
123. *Application of fuzzy logic and sensitivity analysis for soil contamination*. Caniani, D., и други. 2011, *Waste Management*, 31, стр. 583-594.
124. Субашић, П. *Фази логика и неуронске мреже*. Београд : Техничка књига, 1997.
125. *Evaluation the social acceptance of waste treatment technique using fuzzy set theory*. Milutinović, В., и други. Tinos, Greece, 2015.
126. Град Ниш, . Званична презентација Града Ниша, 2015. На мрежи <http://www.ni.rs/index.php>. [Приступљено: 12.07.2015.]
127. Републички завод за статистику. *Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији*. Београд : Републички завод за статистику, 2013.
128. СЕПА. Агенција за заштиту животне средине, 2013. На мрежи <http://www.sepa.gov.rs/>. [Приступљено: 06.08.2015.]
129. ЈКП "Медијана", . ЈКП "Медијана" Ниш, 2013. На мрежи <http://www.jkpmediana.rs/>. [Приступљено: 10.08.2015.]
130. *Revisiting the elemental composition and the calorific value of the organoc fraction of municipal solid wastes*. Komilis, D., и други. 2012, *Waste management*, 32, стр. 372-381.
131. Република Србија. Уредба о мерама подстицаја за повлашћене произвођаче електричне енергије. Београд , 2014.
132. National statistical institut, . 2011 Population Census - main results (на бугарском). Sofia : Republic of Sofia, 2012.
133. Union, European. Directive 2008/98/EC on waste. *Waste framework Directive*. Strasbourg : Official Journal of the European Union, 2008. Т. L312/22.
134. Sofia Municipality. Waste Management Program of Sofia Municipality for the period 2015 - 2020. Sofia, 2015.
135. *Energy from waste: carbon footprint of incineration and landfill biogas in UK*. Jeswani, H.K., Smith, R.W., Azapagic, A. 2013, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18, стр. 218-229.
136. Nielsen, M., Illerup, J.B., Birr-Petersen, K. *Revised emission factors for gas engines including start/stop emissions. Sub-report 3 (NERI). NERI technical report no. 672*. Denmark : National Environmental Research Institute, 2008.
137. *A life cycle approach to the management of household food waste - A Swedish full-scale study*. Bernstad, A., la Cour Jansen, J. 2011, *Waste Management*, 31, стр. 1879-1896.
138. *Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*. Boldrin, A., и други. 2009, *Waste Management and Research*, 27, стр. 800-812.



9 ПРИЛОЗИ

9.1 Директне емисије из постројења за третман отпада

Табела 9.1 Директне емисије из постројења за инсинерацију отпада [6; 135]

Загађивач	Количина	Јединица
Емисија у ваздух		
NO _x	1600	g/t
Честице	38	g/t
SO _x	42	g/t
HCl	58	g/t
HF	1	g/t
VOCs	8	g/t
CH ₄	19	g/t
Cd	0,005	g/t
Ni	0,05	g/t
As	0,005	g/t
Hg	0,05	g/t
Диоксини и фурани	400	ng _{teq} /t
CO ₂	900	kg/t
Нус производи за депоновање		
Остаци из система за контролу емисије гасова	28	kg/t
Пепео	220	kg/t
Емисија у воду		
Hg	0,0003	g/t
Cd	0,03	g/t
As	0,01	g/t
Pb	0,08	g/t
Cr	0,07	g/t
Cu	0,07	g/t
Ni	0,07	g/t
Zn	0,07	g/t

Табела 9.2 Директне емисије из постројења за гасификацију отпада [6]

Загађивач	Количина	Јединица
Емисија у ваздух		
NO _x	780	g/t
Честице	12	g/t
SO ₂	52	g/t
HCl	32	g/t
HF	0,34	g/t
VOC	11	g/t
Cd	0,007	g/t
Ni	0,04	g/t
As	0,06	g/t
Hg	0,069	g/t
Диоксини и фурани	0,00000005	ng _{teq} /t
CO	100	g/t
Нус производи за депоновање		
Остаци из система за контролу емисије гасова	20	kg/t
Пепео	200	kg/t

Табела 9.3 Директне емисије из постројења за анаеробну дигестију [136; 6; 137]

Загађивач	Количина	Јединица
Емисија у ваздух		
CO	0,115	g/MJ биогаса (63% CH ₄)
NO _x	0,148	g/MJ биогаса (63% CH ₄)
CH ₄ (за несагорели CH ₄)	0,465	g/CH ₄ /MJ биогаса (63% CH ₄)
NMVOС	0,105	g/MJ биогаса (63% CH ₄)
CO ₂	227	kg/t
Емисија у воду		
Раствори	80	g/t
N ₂ (укупан)	10	g/t
NH ₃	7,3	g/t
COD	100	g/t
БПК	25	g/t
Емисија из дигестата у земљиште		
N ₂ O	1,4	% укупног N у дигестату
NO ₃ -N из процедурних вода	22	% N
NH ₃ -N из испарења	1	% укупног N у дигестату
CO ₂	10,6	kg/t

Табела 9.4 Директне емисије приликом компостирања отпада [6; 138]

Загађивач	Количина	Јединица
Емисија у ваздух		
CO ₂	291	kg/t
NH ₃	62	g/t
Честице	175	g/t
Хлориди	2	g/t
VOC	24	g/t
Емисија у воду		
NH ₃	18	g/t
N ₂ укупан	19,3	g/t
БПК	672	g/t
COD	1032	g/t
Емисија у земљиште		
As	3	g/t
Cd	53	g/t
Hg	19	g/t
Ni	9,3	g/t
Pb	67	g/t
Cr	19	g/t
Cu	29	g/t
Zn	130	g/t
NH ₃	2,2	g/t
Диоксини и фурани	17	g/t
Емисије из компоста у земљиште		
N ₂ O	0,2	kg/t
CO ₂	2,89	kg/t



Табела 9.5 Директне емисије из постројења за механичко-биолошки третман
отпада [6]

Загађивач	Количина	Јединица
Емисија у ваздух		
CO ₂	181	kg/t
CH ₄	411	kg/t
CO	72,3	g/t
HCl	1.2	g/t
HF	0,4	g/t
NH ₃	120	g/t
NO _x	72,3	g/t
SO _x	28	g/t
Емисије у воду		
Отпадне воде	261	l/t
NH ₃	160	g/t
Нитрати	10	g/t
Сулфати	5	g/t
COD	530	g/t

Табела 9.6 Директне емисије са депоније отпада [6]

Загађивач	Количина	Јединица
Емисија у ваздух		
NO _x	75	g/t
Честице	6,1	g/t
SO ₂	90	g/t
HCl	14	g/t
HF	2,7	g/t
VOC	7,6	g/t
Хлоретан	0,26	g/t
Хлорбензен	0,59	g/t
Тетрахлоретан	0,84	g/t
Бензен	0,00006	g/t
CH ₄	19	kg/t
Cd	0,071	g/t
Ni	0,0095	g/t
As	0,0012	g/t
Hg	0,0012	g/t
Диоксини и фурани	0,000000055	ng _{teq} /t
CO ₂	200	kg/t
Емисија у воду		
Cl	27	g/t
F	0,015	g/t
N	8,6	g/t
P	0,07	g/t
Тоулен	0,0001	g/t
As	0,000056	g/t
Cr	0,00082	g/t
Cu	0,00013	g/t
Ni	0,0011	g/t
Zn	0,001	g/t

9.2 Приказ вредности израчунатих елемената економских индикатора

Табела 9.7 Израчунате вредности елемената у структури инвестиционих трошкова за град Ниш

Елементи структуре трошкова	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4	Сценарио 5
PZ (ha)	20,00	20,00	7,37	4,27	2,79
TZ (€)	60.000,00	60.000,00	22.099,40	12.819,69	8.363,81
TT (€)	40.000,00	40.000,00	14.732,93	8.546,46	5.575,87
PO (m ²)	350,00	350,00	550,00	8.065,31	7.280,50
PT (€)	14.000,00	14.000,00	22.000,00	322.612,45	291.219,94
GT (€)	157.500,00	157.500,00	247.500,00	3.629.390,08	3.276.224,38
TO (€)	8.496.582,12	14.231.052,68	16.401.194,14	36.899.525,52	71.120.044,40
IT (€)	8.768.082,12	14.502.552,68	16.707.526,47	40.872.894,19	74.701.428,41
i (€/t)	144,29	238,66	122,72	238,58	468,90

Табела 9.8 Израчунате вредности елемената у структури оперативних трошкова за град Ниш

Елементи структуре трошкова	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4	Сценарио 5
B _z	15	33	35	27	24
T _z (€)	7.692,25	16.922,95	17.948,58	13.846,05	12.307,60
T _{ob} (€)	1.575,00	1.575,00	2.475,00	36.293,90	32.762,24
T _{oo} (€)	300.000,00	569.242,11	656.047,77	1.475.981,02	2.844.801,78
OT _{fix} (€)	309.267,25	587.740,06	676.471,35	1.526.97,00	2.889.871,62
OT _{var} (€/t)	4,78	15,13	21,79	19,10	13,24
OT (€/t)	9,87	24,80	34,81	42,45	60,79



Табела 9.9 Израчунате вредности елемената у структури прихода за град Ниш

Елементи структуре трошкова	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4	Сценарио 5
Pt (€)	1.306.960,00	1.306.960,00	1.306.960,00	1.306.960,00	1.306.960,00
Pee (€)	-	857.586,60	-	2.204.795,72	4.929.391,43
Pte (€)	-	294.795,39	-	1.548.523,53	4.134.674,73
Pk (€)	-	-	551.286,00	536.211,50	-
Pss (€)	1.995.000,00	4.264.554,00	4.264.554,00	3.351.826,00	-
P (€)	3.301.960,00	6.723.895,99	6.122.800,00	8.948.326,75	10.371.026,17
p(€/t)	50,53	102,89	117,90	136,93	158,70

Табела 9.10 Израчунате вредности елемената у структури инвестиционих трошкова за град Софија

Елементи структуре трошкова	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4
PZ (ha)	20,00	44,09	38,30	23,31
TZ (€)	2.000.000,00	4.408.680,30	3.829.716,49	2.330.792,87
TT (€)	40.000,00	88.173,61	76.594,33	46.615,86
PO (m ²)	350,00	550,00	74.273,11	60.867,00
PT (€)	7.000,00	11.000,00	1.485.462,29	1.217.339,82
GT (€)	87.500,00	137.500,00	18.568.278,63	15.216.747,72
TO (€)	59.759.265,15	72.980.036,90	144.657.788,27	388.837.896,71
IT (€)	61.893.765,15	77.625.380,81	168.617.840,00	407.649.392,97
i (€/t)	121,83	78,54	112,27	306,07



Табела 9.11 Израчунате вредности елемената у структури оперативних трошкова за град Софија

Елементи структуре трошкова	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4
B_z	680	685	438	340
T_z (€)	204.000,00	205.500,00	131.400,00	102.000,00
T_{ob} (€)	875,00	1.375,00	185.682,79	152.167,48
T_{oo} (€)	2.390.370,61	2.919.201,08	5.786.311,79	15.553.515,87
OT_{fix} (€)	2.595.245,61	3.126.076,08	6.103.394,32	16.725.683,35
OT_{var} (€/t)	15,13	17,97	13,78	9,27
OT (€/t)	20,23	26,27	24,43	40,38

Табела 9.12 Израчунате вредности елемената у структури прихода за град Софија

Елементи структуре трошкова	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4
P_t (€)	11.414.040,00	11.414.040,00	11.414.040,00	11.414.040,00
P_{ee} (€)	6.580.897,79	-	48.871.963,35	52.966.528,81
P_{te} (€)	1.964.868,05	-	14.591.771,92	27.333.344,50
P_k (€)	-	168.418,83	606.854,50	-
P_{ss} (€)	41.513.800,00	41.513.800,00	11.573.300,00	-
P (€)	61.473.605,72	53.096.258,83	87.057.929,77	91.713.913,31
p(€/t)	107,72	140,83	152,55	160,70

9.3 Анкета за испитивање знања, мишљења и ставова јавности

Табела 9.13 Анкета за испитивање знања, мишљења и ставова јавности о појединим третманима отпада

Пол	<input type="checkbox"/> Мушки	<input type="checkbox"/> Женски			
Године старости (уписати)					
Образовање	<input type="checkbox"/> Основно	<input type="checkbox"/> Средње	<input type="checkbox"/> Високо		
1. Мој град има проблем са отпадом.					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
2. Проблем отпада у мом граду треба решавати и на други начин осим одлагања на депонију.					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
3. Одређене врсте отпада (папир, стакло, метал, пластика) могу се рециклирати (прерада отпада у циљу добијања секундарних сировина).					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
4. Вршио/ла бих сортирање отпада у свом домаћинству на онај који се може рециклирати од оног који се не рециклира.					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
5. Већина мојих познаника вршила би сортирање отпада у свом домаћинству на онај који се може рециклирати од оног који се не рециклира.					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
6. У граду има довољан број контејнера за отпад који се може рециклирати (пластика, стакло, лименке, папир).					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
7. Органски отпад (остаци биљака, папир, баштенски отпад итд.) се може компостирати (разградња отпада на продукте корисне у прихрани биљака).					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
8. Органски отпад (остаци хране и биљака, баштенски отпад итд.) може се анаеробном дигестијом (разградња отпада без присуства кисеоника) претворити у биогаз.					
	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
9. Најбољи начин за решавање проблема отпада је:					
a) Одлагање на депонију	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
b) Рециклажа отпада	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
c) Спаљивање отпада	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
d) Компостирање	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
e) Анаеробна дигестија отпада	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
10. Прихватио бих да се на удаљености од 10 км од насеља где живим изгради:					
a) Санитарна депонија	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5



- | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| b) Центар за рециклажу отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| c) Спалионица отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| d) Постројење за компостирање отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| e) Постројење за анаеробну дигестију | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |

11. Моји познаници прихватили би да се на удаљености од 10 км од насеља где живе изгради:

- | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| a) Санитарна депонија | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| b) Центар за рециклажу отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| c) Спалионица отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| d) Постројење за компостирање отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| e) Постројење за анаеробну дигестију | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |

12. Највише загађује животну средину:

- | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| a) Санитарна депонија | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| b) Центар за рециклажу отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| c) Спалионица отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| d) Постројење за компостирање отпада | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
| e) Постројење за анаеробну дигестију | <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |

13. Одвожење отпада треба наплаћивати према количини отпада који се одвози.

- | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|

14. Плаћао бих веће веће рачуне за одвожење отпада уколико би то решило проблем загађења отпадом у мом граду.

- | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> | 1 | <input type="checkbox"/> | 2 | <input type="checkbox"/> | 3 | <input type="checkbox"/> | 4 | <input type="checkbox"/> | 5 |
|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|

9.4 Приказ поређења парова за различити број индикатора

	Emisija SO	Smanjenje	Investicion	Broj novoo
Emisija SO ₂ , NO _x		2,0	2,0	1,0
Smanjenje zapremine otpada				1,0
Investicioni troškovi				2,0
Broj novootvorenih radnih mesta	Incon: 0,07			

a)

	Emisija SO BPK	Smanjenje	Investicion	Prihodi	Broj novoo
Emisija SO ₂ , NO _x	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0
BPK		3,0	3,0	3,0	2,0
Smanjenje zapremine otpada			2,0	2,0	1,0
Investicioni troškovi				2,0	2,0
Prihodi					2,0
Broj novootvorenih radnih mesta	Incon: 0,05				

b)

	Emisija SO BPK	Udeo recik	Smanjenje	Investicion	Pihodi	Broj novoo	Društvena p
Emisija SO ₂ , NO _x	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0
BPK		1,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0
Udeo recikliranog otpada			3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Smanjenje zapremine otpada				2,0	2,0	1,0	1,0
Investicioni troškovi					2,0	2,0	2,0
Pihodi						2,0	2,0
Broj novootvorenih radnih mesta							2,0
Društvena prihvatljivost	Incon: 0,04						

в)

	Emisija SO BPK	Emisija Pb	Udeo recik	Smanjenje	Investicion	Pihodi	Broj novoo	Društvena p
Emisija SO ₂ , NO _x	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
BPK		1,0	3,0	3,0	3,0	2,0	1,0	2,0
Emisija Pb u zemljište			2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Udeo recikliranog otpada				3,0	4,0	2,0	2,0	3,0
Smanjenje zapremine otpada					2,0	2,0	1,0	2,0
Investicioni troškovi						2,0	2,0	3,0
Pihodi							2,0	3,0
Broj novootvorenih radnih mesta								1,0
Društvena prihvatljivost	Incon: 0,06							

г)

	Emisija SO BPK	Emisija Pb	Udeo recik	Smanjenje	Investicion	Operativni	Pihodi	Broj novoo	Društvena p
Emisija SO ₂ , NO _x	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
BPK		1,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	1,0	2,0
Emisija Pb u zemljište			2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Udeo recikliranog otpada				3,0	4,0	4,0	2,0	2,0	3,0
Smanjenje zapremine otpada					2,0	2,0	2,0	1,0	2,0
Investicioni troškovi						1,0	2,0	2,0	3,0
Operativni troškovi							2,0	2,0	3,0
Pihodi								2,0	3,0
Broj novootvorenih radnih mesta									1,0
Društvena prihvatljivost	Incon: 0,07								

д)



	Emisija CO	Emisija SO	Emisija če: BPK	TOC	Emisija Pb	Udeo recik	Udeo depo	Wte	Smanjenje	Površina z	Investicion	Operativni	Prihodi	Broj novoo	Društvena
Emisija CO2		2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Emisija SO2, NOx			1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	4,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Emisija čestica				2,0	3,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
BPK					1,0	1,0	3,0	2,0	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0	1,0
TOC						2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0	1,0
Emisija Pb, Cr u zen							2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Udeo recikliranog ot								2,0	1,0	3,0	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Udeo deponovanog									2,0	3,0	3,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Wte										4,0	3,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Smanjenje zapremir											1,0	2,0	2,0	2,0	1,0
Površina zemljišta												2,0	2,0	2,0	1,0
Investicioni troškovi													1,0	2,0	2,0
Operativni troškovi														2,0	2,0
Prihodi															2,0
Broj novootvorenih i															
Društvena prihvatlj															1,0

ђ)

Слика 9.1 Поређење парова индикатора за случај оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Нишу: а) 4 индикатора, б) 6 индикатора, в) 8 индикатора, г) 9 индикатора, д) 10 индикатора, ђ) 16 индикатора

	Smanjenje	Udeo recik	Udeo depo	Emisija ga	Emisija za	BPK	Emisija te?	Investicion	Operativni	Prihodi	Broj novoo	Društvena
Smanjenje zapremine otpada		2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	3,0	6,0	7,0	8,0	9,0	4,0
Udeo recikliranog otpada			3,0	3,0	4,0	5,0	4,0	7,0	8,0	9,0	9,0	6,0
Udeo deponovanog otpada				2,0	3,0	4,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	4,0
Emisija gasova sa efektom staklene bašte					3,0	3,0	2,0	4,0	5,0	6,0	7,0	4,0
Emisija zakiseljavajućih gasova						2,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	3,0
BPK							3,0	3,0	4,0	5,0	6,0	2,0
Emisija teških metala u zemljište								4,0	5,0	6,0	7,0	3,0
Investicioni troškovi									2,0	3,0	4,0	2,0
Operativni troškovi										2,0	3,0	3,0
Prihodi											2,0	3,0
Broj novootvorenih radnih mesta												4,0
Društvena prihvatljivost	Incon: 0,05											

Слика 9.2 Поређење парова индикатора за случај оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Софија

10 ПОПИС СЛИКА

Слика 2.1	Продукти у термичким третманима отпада	10
Слика 2.2	Елементи система за инсинерацију отпада	12
Слика 2.3	Блок шема третмана отпада инсинерацијом	13
Слика 2.4	Удео продуката пиролизе у зависности од температуре	19
Слика 2.5	Продукти у биохемијским третманима отпада	22
Слика 2.6	Блок шема третмана отпада анаеробном дигестијом	23
Слика 2.7	Блок шема токова отпада и емисија приликом компостирања	27
Слика 2.8	Блок шема токова отпада прилоком процеса сепарације мешаног отпада ...	31
Слика 2.9	Материјални биланс постројења за механичко-биолошки предтретман	32
Слика 2.10	Материјални биланс постројења за механичко-биолошку стабилизацију	33
Слика 2.11	Зависност количине генерисаног депонијског гаса од времена одлагања отпада	35
Слика 2.12	Блок шема токова емисија у ваздух, воду и земљиште приликом депоновања отпада	36
Слика 4.1	Хијерархијска структура у АХП методи	60
Слика 5.1	Модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом применом ВКА	70
Слика 5.2	Хијерархијска структура АХП методе	72
Слика 5.3	Блок дијаграм математичког модела за израчунавање инвестиционих трошкова	77
Слика 5.4	Зависност потребне површине земљишта од броја становника и степена сабијања отпада	82
Слика 5.5	Варијабилни оперативни трошкови третмана отпада: а) инсинерација, б) анаеробна дигестија, в) компостирање, г) сепарација отпада, д) депоновање	85
Слика 5.6	Блок дијаграм математичког модела за израчунавање оперативних трошкова	86
Слика 5.7	Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених инсинерацијом	88
Слика 5.8	Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених анаеробном дигестијом	89



Слика 5.9 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених компостирањем	90
Слика 5.10 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених селекцијом и сепарацијом отпада.....	91
Слика 5.11 Блок дијаграм математичког модела за израчунавање прихода остварених депоновањем са искоришћењем енергије из депонијског гаса	92
Слика 5.12 Блок дијаграм процеса закључивања у фази логици	96
Слика 5.13 Троугаона функција припадности	97
Слика 5.14 Трапезоидна функција припадности	97
Слика 5.15 Гаусова функција припадности	97
Слика 5.16 Концепт фази модела за израчунавање степена друштвене прихватљивости	99
Слика 5.17 Функције припадности улазних и излазних променљивих првог фази подмодела: а) Улаз „Квалитет третмана отпада“, б) Улаз „Загађивач“, ц) Излаз „Решење управљања отпадом“	100
Слика 5.18 Функције припадности улазних и излазних променљивих првог фази подмодела: а) Улаз „Решење управљања отпадом“, б) Улаз „Удаљеност постројења“, ц) Излаз „Степен друштвене прихватљивости“	101
Слика 6.1 Блок шема сценарија 1	105
Слика 6.2 Блок шема сценарија 2	106
Слика 6.3 Блок шема сценарија 3	106
Слика 6.4 Блок шема сценарија 4	107
Слика 6.5 Блок шема сценарија 5	108
Слика 6.6 Хијерархијска структура при избору одрживог сценарија у граду Нишу ..	110
Слика 6.7 Одговори испитаника на питања 9, 10 и 12	115
Слика 6.8 Тежински фактори индикатора: а) 4 индикатора, б) 6 индикатора, в) 8 индикатора, г) 9 индикатора, д) 10 индикатора, њ) 16 индикатора	117
Слика 6.9 Рангирање сценарија коришћењем: а) 4 индикатора, б) 6 индикатора, в) 8 индикатора, г) 9 индикатора, д) 10 индикатора, њ) 16 индикатора	120
Слика 6.10 Анализа осетљивости: а) 1. случај, б) 2. случај, в) 3. случај, г) 4. случај, д) 5. случај, њ) 6. случај, е) 7. случај, ж) 8. случај, з) 9. случај.....	123
Слика 6.11 Хијерархијска структура при избору одрживог сценарија у граду Софија	127
Слика 6.12 Резултат рангирања развијених сценарија за град Софија	129
Слика 9.1 Поређење парова индикатора за случај оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Нишу: а) 4 индикатора, б) 6 индикатора, в) 8 индикатора, г) 9 индикатора, д) 10 индикатора, њ) 16 индикатора	155
Слика 9.2 Поређење парова индикатора за случај оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Софија	155



11 ПОПИС ТАБЕЛА

Табела 2.1 Типичне вредности физичких и хемијских карактеристика појединих фракција отпада.....	8
Табела 2.2 Карактеристике процеса термичких претмана отпада	10
Табела 2.3 Фракције отпада погодне за третман инсинерацијом.....	12
Табела 2.4 Предности и недостаци инсинерације са аспекта одрживости	14
Табела 2.5 Ефикасност процеса сагоревања у неутралисању опасних особина отпада	15
Табела 2.6 Предности и недостаци гасификације са аспекта одрживости	18
Табела 2.7 Предности и недостаци пиролизе са аспекта одрживости.	20
Табела 2.8 Предности и недостаци плазма процеса са аспекта одрживости.	21
Табела 2.9 Врсте процеса анаеробне дигестије.....	24
Табела 2.10 Фракције отпада погодне за третман анаеробном дигестијом.	24
Табела 2.11 Предности и недостаци анаеробне дигестије са аспекта одрживости	25
Табела 2.12 Фракције отпада погодне за третман компостирањем.....	27
Табела 2.13 Предности и недостаци компостирања са аспекта одрживости.....	28
Табела 2.14 Рециклабилни отпад.....	29
Табела 2.15 Предности и недостаци рециклаже са аспекта одрживости	30
Табела 2.16 Предности и недостаци депоновања са аспекта одрживости.....	36
Табела 3.1 Тематске целине CSD индикатора и основни индикатори појединих тематских целина	41
Табела 3.2 Сет енергетских индикатора.....	44
Табела 3.3 Тематске целине националних индикатора и основни индикатори појединих тематских целина	45
Табела 3.4 Поједине тематске целине и индикатори заштите животне средине.....	48
Табела 3.5 Индикатори који се односе на отпад	50
Табела 4.1 Методе вишеатрибутног одлучивања	58
Табела 4.2 Предности и недостаци АХП методе	61
Табела 4.3 Сатијева скала вредновања.....	63
Табела 4.4 Случајни индекси (RI).....	66



Табела 5.1 Потребна површина земљишта и објеката за смештај постројења за инсинерацију отпада	78
Табела 5.2 Потребна површина земљишта и објеката за смештај постројења за анаеробну дигестију отпада	79
Табела 5.3 Број запослених потребних за третман отпада	83
Табела 5.4 Функције варијабилних оперативних трошкова третмана отпада	85
Табела 5.5 Лингвистичке вредности додељене улазним и излазним променљивим.....	99
Табела 5.6 Фази правила првог фази подмодела.....	102
Табела 5.7 Фази правила другог фази подмодела	102
Табела 6.1 Морфолошки и елементарни састав отпада у граду Нишу	104
Табела 6.2 Вредности индикатора животне средине за град Ниш	111
Табела 6.3 Вредности индикатора који се односе на отпад за град Ниш.....	111
Табела 6.4 Вредности економских индикатора за град Ниш.....	113
Табела 6.5 Вредност индикатора „број новоотворених радних места“ за град Ниш ..	113
Табела 6.6 Демографске карактеристике становништва града Ниша и узорка испитаника.....	114
Табела 6.7 Вредност индикатора „друштвена прихватљивост“ за град Ниш.....	115
Табела 6.8 Број индикатора за које је вршено поређење парова и рангирање сценарија	116
Табела 6.9 Морфолошки и елементарни састав отпада у граду Софија	125
Табела 6.10 Развијени сценарији управљања отпадом у граду Софија	125
Табела 6.11 Израчунате вредности индикатора за град Софија.....	128
Табела 9.1 Директне емисије из постројења за инсинерацију отпада.....	143
Табела 9.2 Директне емисије из постројења за гасификацију отпада	144
Табела 9.3 Директне емисије из постројења за анаеробну дигестију	145
Табела 9.4 Директне емисије приликом компостирања отпада	146
Табела 9.5 Директне емисије из постројења за механичко-биолошки третман отпада [6].....	147
Табела 9.6 Директне емисије са депоније отпада	148
Табела 9.7 Израчунате вредности елемената у структури инвестиционих трошкова за град Ниш.....	149
Табела 9.8 Израчунате вредности елемената у структури оперативних трошкова за град Ниш.....	149
Табела 9.9 Израчунате вредности елемената у структури прихода за град Ниш	150
Табела 9.10 Израчунате вредности елемената у структури инвестиционих трошкова за град Софија.....	150



Табела 9.11 Израчунате вредности елемената у структури оперативних трошкова за град Софија.....	151
Табела 9.12 Израчунате вредности елемената у структури прихода за град Софија ..	151
Табела 9.13 Анкета за испитивање знања, мишљења и ставова јавности о појединим третманима отпада	152



12 БИОГРАФИЈА АУТОРА

Биљана Милутиновић рођена је 14.07.1967. године у Нишу. Основну и средњу школу завршила је у Нишу. Машински факултет у Нишу уписала је 1986. године. Дипломирала је 1991. године на катедри за Термотехнику, термоенергетику и процесну технику са просечном оценом у току студија 8,90. Дипломски рад под називом „Утицај процеса мешања на сагоревање чврстих горива у ложишту са флуидизованим слојем“ одбранила је оценом 10.

Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Нишу је уписала 2011. године на катедри за Термотехнику, термоенергетику и процесну технику.

Од 1992. до 2003. године је била запослена у Електронској индустрији, фабрика „Апарати за домаћинство“ ОУР „Клима уређаји“ на пословима истраживања, развоја и освајања нових производа, а од 2003. до 2011. године у Јавном предузећу „Аеродром Ниш“ на пословима руководиоца сектора.

Од 2010. године запослена је као асистент на Високој техничкој школи струковних студија у Нишу. Аутор је и коаутор већег броја научних и стручних радова из области управљања отпадом.



Универзитет у Нишу

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Изјављујем да је докторска дисертација, под насловом

**РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА
ОТПАДОМ ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ**

која је одбрањена на Машинском факултету Универзитета у Нишу:

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да ову дисертацију, ни у целини, нити у деловима, нисам пријављивао/ла на другим факултетима, нити универзитетима;
- да нисам повредио/ла ауторска права, нити злоупотребио/ла интелектуалну својину других лица.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци, који су у вези са ауторством и добијањем академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада, и то у каталогу Библиотеке, Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Нишу, као и у публикацијама Универзитета у Нишу.

У Нишу, 23.08.2016. године

Аутор дисертације: Биљана Милутиновић, дипл.инж.маш.

Потпис аутора дисертације:





Универзитет у Нишу

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНОГ И ЕЛЕКТРОНСКОГ ОБЛИКА
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Име и презиме аутора: Биљана Милутиновић, дипл.инж.маш.

Наслов дисертације: РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА
УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ

Ментор: др Гордана Стефановић, ван.проф.

Изјављујем да је штампани облик моје докторске дисертације истоветан
електронском облику, који сам предао/ла за уношење у Дигитални репозиторијум
Универзитета у Нишу.

У Нишу, 23.08.2016. године

Потпис аутора дисертације:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Biljana Milutinovic', written over a horizontal line.



Универзитет у Нишу

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Никола Тесла“ да, у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, унесе моју докторску дисертацију, под насловом:
РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ

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

Моју докторску дисертацију, унету у Дигитални репозиторијум Универзитета у Нишу, могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons), за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
- 3. Ауторство – некомерцијално – без прераде (CC BY-NC-ND)**
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прераде (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да подвучете само једну од шест понуђених лиценци; опис лиценци дат је у Упутству).

У Нишу, 23.08.2016. године

Аутор дисертације: Биљана Милутиновић, дипл.инж.маш.

Потпис аутора дисертације:

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

Презиме, име једног
родитеља и име Милутиновић, Богомир, Биљана
Датум и место рођења 14.07.1967. године

Основне студије

Универзитет
Факултет
Студијски програм
Звање
Година уписа
Година завршетка
Просечна оцена

Мастер студије, магистарске студије

Универзитет Универзитет у Нишу
Факултет Машински факултет
Студијски програм Енергетски смер
Звање Дипломирани машински инжењер
Година уписа 1986
Година завршетка 1991
Просечна оцена 8,90
Научна област Енергетика
Наслов завршног рада Утицај процеса мешања на сагоревање чврстих горива у ложишту са флуидизованим слојем

Докторске студије

Универзитет Универзитет у Нишу
Факултет Машински факултет у Нишу
Студијски програм Машинско инжењерство, Енергетика и процесна техника
Година уписа 2011/2012
Остварен број ЕСПБ бодова 300 (мастер студије) + 150 (докторске студије)
Просечна оцена 10.00

НАСЛОВ ТЕМЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Наслов теме докторске дисертације Развој модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом применом вишекритеријумске анализе
Име и презиме ментора, звање Др Гордана Стефановић, ванредни професор
Број и датум добијања сагласности за тему докторске дисертације НСВ број 8/20-01-008/15-019 од 16.09.2015. године

ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Број страна 170
Број поглавља 7
Број слика (шема, графикона) 45
Број табела 53
Број прилога 4

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ

Примљено: 26.4.2016.			
Орг.јед.	Број	Прилог	Вредности
	612-300/2016		

**ПРИКАЗ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КАНДИДАТА
који садрже резултате истраживања у оквиру докторске дисертације**

Р. бр.	Аутор-и, наслов, часопис, година, број волумена, странице	Категорија
1	<p>G. Stefanović, B. Milutinović, B. Vučićević, K. Denčić-Mihajlov, V. Turanjanin, <i>A comparison of the Analytic Hierarchy Process and the Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency method for assessing the sustainability of waste management scenarios</i>, Journal of Cleaner Production, 2015, Vol. xxx, pp. 1-11 http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.050</p> <p>У раду је дат преглед метода вишекритеријумске анализе, као и преглед метода које су коришћене за оцену одрживости система управљања отпадом и енергетских система. Такође је извршено упоређивање резултата оцене одрживости сценарија управљања отпадом добијених коришћењем две методе вишекритеријумске анализе: методе Аналитичких хијерархијских процеса (АХП) и методе Анализа и синтеза параметара услед недостатка информација (АСПИД). Упоређивање добијених резултата је извршено на случају оцене одрживости сценарија у граду Нишу. Развијено је четири сценарија и коришћено је девет индикатора одрживог развоја. Добијени резултати су потврдили оправданост коришћења АСПИД методе и за оцену одрживости сценарија управљања отпадом.</p>	M21
2	<p>B. Milutinović, G. Stefanović, M. Dassisti, D. Marković, G. Vučković, <i>Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model</i>, Energy, 2014, Vol. 74, pp. 190-201.</p> <p>У раду је представљен модел који је развијен за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, који је базиран на АХП методи вишекритеријумске анализе. Модел је верификован на случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Нишу. Развијена су четири сценарија: депоновање отпада – business as usual, компостирање и рециклажа отпада, инсинерација и анаеробна дигестија отпада. Оцена одрживости развијених сценарија извршена је у неколико фаза. Такође је извршена и анализа утицаја броја усвојених индикатора на резултат рангирања сценарија. На основу развијеног модела, закључено је да је најодрживији сценарио компостирање органског и рециклажа неорганског отпада.</p>	M21
3	<p>G. Stefanović, H. Skrijelj, I. Ristović, B. Milutinović, O. Milosević, S. Popović, <i>Sustainable Waste Management Model – Case Study: Novi Pazar</i>, Journal of Environmental Protection and Ecology, 2014, Vol. 15, No 3, 1005–1012.</p> <p>Описана је тренутна ситуација управљања отпадом у Новом Пазару, преглед количина и састава отпада који се генерише у граду. На основу постојећих података, дат је предлог унапређења система управљања отпадом узимајући у обзир постојеће законске прописе, економску исплативост и принципе одрживог развоја. Показано је да интегрални систем управљања отпадом који укључује поновно искоришћење депонованог отпада, као и селекцију новогенерисаног отпада, могуће је смањити количину отпада која се одлаже на депонију, као и његов негативан утицај и остварити економску добит кроз искоришћење отпада као секундарна сировина.</p>	M23
4	<p>B. Milutinović, G. Stefanović, G. Vučković, M. Tomić, P. Đekić, <i>The effect of environmental indicators on the waste treatment scenarios ranking</i>, Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering Vol. 13, No 2, 2015, pp. 155-167.</p> <p>Извршено је испитивање утицаја врсте и броја индикатора животне средине на рангирање сценарија управљања отпадом. Рангирање сценарија извршено је коришћењем методе вишекритеријумске анализе – методе Аналитичких хијерархијских процеса. Развијена су четири сценарија управљања отпадом. Извршена су четири експеримента: у првом експерименту коришћено је четири индикатора, у другом седам, у трећем девет и у четвртм дванаест индикатора животне средине као критеријуми за рангирање сценарија. Испитивање је извршено на случају оцене одрживости сценарија управљања отпадом у граду Нишу.</p>	M51

НАПОМЕНА: уколико је кандидат објавио више од 3 рада, додати нове редове у овај део документа

ИСПУЊЕНОСТ УСЛОВА ЗА ОДБРАНУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета и Статутом Факултета.	ДА
Кандидат Биљана Милутиновић поднела је 17.04.2015 године (број 612-275/15) Захтев за одобравање теме докторске дисертације под називом „Развој модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом применом вишекритеријумске анализе“. Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу на седници одржаној 07.05.2015. године Одлуком број 612-299-6/2015 предложило је Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу др Гордана Стефановић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу, др Слободан Милутиновић, редовни професор Факултета заштите на раду у Нишу, др Ксенија Денчић-Михајлов, ванредни професор Економског факултета у Нишу, др Предраг Рајковић, редовни професор Машинског факултета у Нишу и др Мића Вукић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу. Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу на седници одржаној 27.05.2015. године Одлуком број 8/20-01-005/15-032 именовало је Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу др Гордана Стефановић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу, др Слободан Милутиновић, редовни	

професор Факултета заштите на раду у Нишу, др Ксенија Денчић-Михајлов, ванредни професор Економског факултета у Нишу, др Предраг Рајковић, редовни професор Машинског факултету у Нишу и др Мића Вукић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу је на седници од 03.07.2015. године на основу Извештаја Комисије о научној заснованости теме докторске дисертације (број 612-419/15) под називом „Развој модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом применом вишекритеријумске анализе " Одлуком број 612-428-3/2015, усвојило тему докторске дисертације и предложило др Гордану Стефановић, ванредног професора Машинског факултета у Нишу за ментора. Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу на седници од 16.09.2015. године Одлуком број 8/20-01-008/15-019 дало је сагласност на Одлуку о усвајању теме докторске дисертације и на истој седници Одлуком број 8/20-01-008/15-020 именовало је др Гордану Стефановић, ванредног професора Машинског факултета у Нишу за ментора за израду докторске дисертације.

Кандидат Биљана Милутиновић поднела је 07.03.2016. године Захтев за формирање Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (број 612-191/16). Наставно-научно веће Машинског факултета у Нишу на седници одржаној 15.03.2016. године Одлуком број 612-205-4/2016 предложило је Комисије за оцену и одбрану дисертације у саставу др Гордана Стефановић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу, др Слободан Милутиновић, редовни професор Факултета заштите на раду у Нишу, др Ксенија Денчић-Михајлов, сада редовни професор Економског факултета у Нишу, др Предраг Рајковић, редовни професор Машинског факултету у Нишу и др Мића Вукић, редовни професор Машинског факултета у Нишу. Научно-стручно веће за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу на седници од 18.04.2016. године Одлуком број 8/20-01-003/16-028 именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу др Гордана Стефановић, ванредни професор Машинског факултета у Нишу, др Слободан Милутиновић, редовни професор Факултета заштите на раду у Нишу, др Ксенија Денчић-Михајлов, редовни професор Економског факултета у Нишу, др Предраг Рајковић, редовни професор Машинског факултету у Нишу и др Мића Вукић, редовни професор Машинског факултета у Нишу.

Кандидат Биљана Милутиновић је првопотписани аутор једног рада објављеног у часопису са SCI листе и коаутор 2 рада објављена у часописима са SCI листе, из уже области којој припада тема докторске дисертације. Такође је и првопотписани аутор рада објављеног у часопису који издаје Универзитет у Нишу из уже области којој припада тема докторске дисертације.

На основу претходно наведеног, кандидат испуњава услове за оцену и одбрану докторске дисертације који су предвиђени Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Нишу и Статутом Машинског факултета Универзитета у Нишу.

ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Кратак опис појединих делова дисертације (до 500 речи)

Докторска дисертација се састоји из 7 поглавља и одговарајућих прилога: коришћене литературе, пописа слика и табела, прилога, као и кратке биографије аутора. По форми и садржају рад у потпуности испуњава стандарде за докторску дисертацију. Наслови поглавља у докторској дисертацији су следећи:

- 1) Увод
- 2) Методе третмана отпада
- 3) Индикатори као критеријуми за оцену одрживости
- 4) Вишекритеријумска анализа као алат за оцену одрживости сценарија управљања отпадом
- 5) Систем за подршку одлучивању при оцени одрживости сценарија управљања отпадом
- 6) Провера и потврда развијеног модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом
- 7) Закључак

Истраживања у оквиру докторске дисертације обухватају следеће:

У *Првом поглављу* дат је увод у проблематику одрживости система управљања отпадом, дефинисани су циљеви истраживања и постављене су истраживачке хипотезе.

У *Другом поглављу* извршен је преглед и опис најчешће коришћених третмана отпада, дате су њихове карактеристике, представљени елементи постројења, препознате фракције отпада које се могу третирати одређеним третманом и идентификоване предности и недостаци третмана са економског, друштвеног и аспекта животне средине.

У *Трећем поглављу* извршен је свеобухватан преглед и анализа индикатора одрживог развоја који се користе у свету и посебно преглед индикатора који су развијени у Републици Србији: индикатори одрживог развоја представљени у Националној стратегији одрживог развоја, национални индикатори заштите животне средине и индикатори који се односе на отпад, а који су представљени у Стратегији управљања отпадом Републике Србије. Предложен је сет индикатора који се могу користити за оцену одрживости сценарија управљања отпадом у Србији.

Четврто поглавље посвећено је прегледу метода вишекритеријумске анализе са посебним освртом на методу Аналитичких хијерархијских процеса (АХП) која је коришћена као алат за оцену одрживости сценарија управљања отпадом у докторској дисертацији. Описане су карактеристике АХП методе и представљене предности и недостаци њеног коришћења.

У *Петом поглављу* представљен је развијени модел за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, као систем за подршку одлучивању, који као основне променљиве користи количину и састав отпада. У оквиру поглавља описани су развијени математички модели за израчунавање појединих економских индикатора (инвестициони трошкови, оперативни трошкови и приходи) базирани на анализи структуре трошкова и прихода који као променљиве користе локалне тржишне цене. Описан је и развијен математички модел за израчунавање друштвеног индикатора (друштвена прихватљивост) базиран на теорији фази скупова и фази логици.

У *Шестом поглављу* извршена је провера развијеног модела, на случају оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом у граду Нишу, а такође и провера развијених математичких модела за израчунавање економских и друштвених индикатора. У овом поглављу извршена је анализа утицаја врсте индикатора на рангирање сценарија управљања отпадом, као и утврђивање довољног минималног броја индикатора за оцену одрживости сценарија управљања отпадом чијим коришћењем се са довољном поузданошћу може оценити одрживост сценарија управљања отпадом. Извршена је и анализа осетљивости у циљу испитивања утицаја промене тежинских фактора индикатора као критеријума на релативне приоритете сценарија у односу на циљ. Анализа осетљивости урађена је за граничне случајеве, као и за претпостављене могуће случајеве. Потврда модела извршена је на случају оцене одрживости дефинисаних сценарија управљања отпадом у граду Софија.

У *Седмом поглављу* су дати закључци до којих је аутор дошао током анализе резултата, као и смернице за даља истраживања и побољшања развијеног модела.

ВРЕДНОВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ниво остваривања постављених циљева из пријаве докторске дисертације (до 200 речи)

Истраживањем у оквиру докторске дисертације, кандидат је остварио све постављене циљеве. Основни циљ истраживања у оквиру докторске дисертације који је постављен, био је развијање модела за оцену одрживости сценарија управљања отпадом, као система за подршку одлучивању, који узима у обзир све аспекте одрживости (економски, друштвени и аспект животне средине), у зависности од састава отпада и намере доносиоца одлуке, а који је базиран на методи вишекритеријумске анализе – методи аналитичких хијерархијских процеса (АХП метода) и који је практично применљив приликом одлучивања различитих група доносиоца одлука у условима карактеристичним за Србију.

Кандидат је такође остварио све постављене појединачне циљеве. У оквиру развијеног система за подршку одлучивању, кандидат је развио и математичке моделе за израчунавање економских индикатора (инвестиционих, оперативних трошкова и прихода), као и математички модел за израчунавање друштвеног индикатора (друштвена прихватљивост) који су применљиви у било којој локалној заједници, јер узимају у обзир локалне економске и друштвене прилике.

Кандидат је у оквиру истраживања, идентификовао сет индикатора одрживости за третмане отпада са добијањем енергије и искоришћењем отпада за добијање секундарних сировина који се могу користити као критеријуми за оцену одрживости сценарија управљања отпадом. Такође је дефинисан минималан довољан број индикатора чијим коришћењем се са довољном поузданошћу може оценити одрживост сценарија управљања отпадом.

Вредновање значаја и научног доприноса резултата дисертације (до 200 речи)

Основни научни доприноси дисертације су следећи:

- Модел (као систем за подршку одлучивању) за оцену одрживости сценарија управљања отпадом са добијањем енергије и искоришћењем отпада за добијање секундарних сировина, коришћењем вишекритеријумске анализе;
- Идентификовани индикатори одрживости за третмане отпада са добијањем енергије и искоришћењем отпада за добијање секундарних сировина који у себи садрже карактер локалног и карактеристични су за Србију;
- Математички модели за опис и израчунавање појединих економских индикатора (инвестициони и оперативни трошкови као и приходи) у зависности од количине и састава отпада, као и препознате структуре трошкова и прихода, који пружају могућност укључивања локалних економских услова;
- Математички модели за опис и израчунавање појединих друштвених индикатора одрживости (друштвена прихватљивост, знање) карактеристичних за Србију коришћењем теорије фази скупова и фази логице;
- Дефинисан минималан довољан број индикатора чијим коришћењем се са довољном поузданошћу

може оценити одрживост сценарија управљања отпадом.

Резултати спроведених истраживања, директно су применљиви при избору и оцени одрживости система управљања отпадом. Развијени систем за подршку одлучивању може се применити у било којој локалној заједници у Србији, али и шире, јер као основне променљиве користи количину и састав отпада на одређеној територији, а такође узима у обзир локалне економске и друштвене прилике.

Оцена самосталности научног рада кандидата (до 100 речи)

Кандидат је кроз спроведена истраживања и резултате добијене у дисертацији, показао да поседује адекватна знања из различитих области потребних за израду докторске дисертације.

Кандидат је испољио висок ниво самосталности, систематичности и инвентивности у научно-истраживачком раду и показао способност да сагледа проблеме истраживања са више аспеката и креативно приступи њиховом решавању уз наглашену оригиналност у осмишљавању и креирању одређених научних и стручних решења.

Резултати до којих је кандидат дошао истраживањима у дисертацији су верификовани кроз континуално објављивање научних радова из ове области на међународним конференцијама и у часописима, при чему је публиковао више радова у часописима индексираним на SCI листи.

ЗАКЉУЧАК (до 100 речи)

Имајући у виду значај и актуелност обрађене теме и остварене научне резултате кандидата публиковане у референтним часописима из уже научне области којој припада тема докторске дисертације, чланови Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације констатују да поднета докторска дисертација представља оригиналан и вредан допринос развоју ове научне области и са задовољством предлажу Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Нишу, да рад Биљане Милутиновић, дипл. инж. маш. под називом


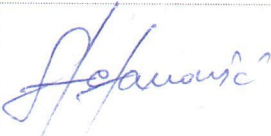
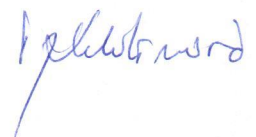


„РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ“

прихвати као докторску дисертацију и да кандидата позове на усмену јавну одбрану.

КОМИСИЈА

Број одлуке НСВ о именовану Комисије 8/20-01-003/16-028

Датум именовања Комисије 18.04.2016. године

Р. бр.	Име и презиме, звање	Потпис
1.	Др Мића Вукић, редовни професор Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Научна област)	председник 
	Машински факултет Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
2.	Др Гордана Стефановић, ванредни професор Термотехника, термоенергетика и процесна техника (Научна област)	ментор, члан 
	Машински факултет Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
3.	Др Слободан Милутиновић, редовни професор Друштвено хуманистичке науке у заштити радне и животне средине (Научна област)	члан 
	Факултет заштите на раду Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
4.	Др Ксенија Денчић-Михајлов, редовни професор Пословне финансије, рачуноводство и ревизија (Научна област)	члан 
	Економски факултет Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	
5.	Др Предраг Рајковић, редовни професор Математика и информатика (Научна област)	члан 
	Машински факултет Универзитета у Нишу (Установа у којој је запослен)	

Датум и место:

.....

ЗАПИСНИК

са усмене одбране докторске дисертације Биљане Милутиновић, дипломираног инжењера машинства, одржане 22. августа 2016. године на Машинском факултету у Нишу.

Одбрана докторске дисертације почела је у 12⁰⁰ часова уводним излагањем Председника Комисије, који је саопштио основне биографске податке о кандидату, ток поступка израде докторске дисертације као и Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације.

Кандидат је приступио излагању докторске дисертације, износећи методологију рада и постигнуте резултате до којих је дошао.

После завршеног усменог излагања кандидата, чланови Комисије су поставили више питања на које је кандидат дао одговоре.

Одбрана је завршена у 13,45 часова.

На основу усмене одбране, одговора кандидата на постављена питања чланова Комисије и на основу Одлуке о усвајању Извештаја Наставно-научног већа Факултета и Научно-стручног већа за техничко-технолошке науке Универзитета у Нишу, чланови Комисије су једногласно донели

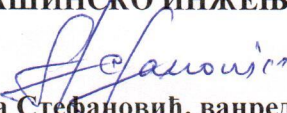
О Д Л У К У

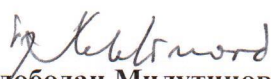
Биљана Милутиновић, дипломирани инжењер машинства, одбранила је докторску дисертацију под називом:

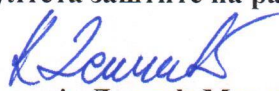
„РАЗВОЈ МОДЕЛА ЗА ОЦЕНУ ОДРЖИВОСТИ СЦЕНАРИЈА УПРАВЉАЊА ОТПАДОМ ПРИМЕНОМ ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ“

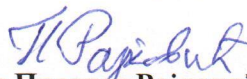
и стекла научни назив

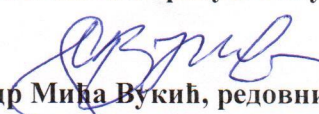
ДОКТОР НАУКА – МАШИНСКО ИНЖЕЊЕРСТВО


др Гордана Стефановић, ванредни професор
Машинског факултета у Нишу


Слободан Милутиновић, редовни професор
Факултета заштите на раду у Нишу


др Ксенија Денчић-Михајлов, ванредни професор
Економског факултета у Нишу


др Предраг Рајковић, редовни професор
Машинског факултета у Нишу


др Мића Вукић, редовни професор
Машинског факултета у Нишу

Број: 612-191-3/2016
У Нишу, 22.08.2016.год.