



UNIVERZITET U NOVOM SADU

Fakultet tehničkih nauka

Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštitu na radu

# Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Doktorska disertacija

Mentor: Prof. dr Goran Vujić

Kandidat: mr Višnja Mihajlović

Novi Sad, 2015.



UNIVERZITET U NOVOM SADU • FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

## KLJUČNA DOKUMENTCIJSKA INFORMACIJA

Redni broj, <b>RBR</b> :	
Identifikacioni broj, <b>IBR</b> :	
Tip dokumentacije, <b>TD</b> :	Monografska dokumentacija
Tip zapisa, <b>TZ</b> :	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada, <b>VR</b> :	Doktorska disertacija
Autor, <b>AU</b> :	mr Višnja Mihajlović
Mentor, <b>MN</b> :	dr Goran Vujić, vanredni profesor
Naslov rada, <b>NR</b> :	Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti
Jezik publikacije, <b>JP</b> :	Srpski
Jezik izvoda, <b>JL</b> :	Srpski/Engleski
Zemlja publikovanja, <b>ZP</b> :	Republika Srbija
Uže geografsko područje, <b>UGP</b> :	Autonomna Pokrajina Vojvodina
Godina, <b>GO</b> :	2015
Izdavač, <b>IZ</b> :	Autorski reprint
Mesto i adresa, <b>MA</b> :	Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Fizički opis rada, <b>FO</b> : (poglavlja/strana/ citata/tabela/slika/grafika/priloga)	6 poglavlja / 148 strana / 127 literaturnih navoda / 28 tabela / 42 slike / 10 grafikona/prilog
Naučna oblast, <b>NO</b> :	Inženjerstvo zaštite životne sredine
Naučna disciplina, <b>ND</b> :	Upravljanje otpadom
Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO</b> :	Upravljanje otpadom, zaštita životne sredine, ekonomski uticaj, EU Direktive, održivi razvoj
<b>UDK</b>	
Čuva se, <b>ČU</b> :	Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija
Važna napomena, <b>VN</b> :	
Izvod, <b>IZ</b> :	U okviru disertacije, razvijen je model upravljanja otpadom na nivou regiona Novi Sad, korišćenjem analize tokova materijala i diskontovanih novčanih tokova. Model omogućava da se na osnovu identifikovanih količina otpada, koje je potrebno tretirati kako bi se ispunili ciljevi propisani Direktivama Evropske unije (EU), kvantifikuje uticaj upravljanja otpadom na životnu sredinu kroz emisiju CO <sub>2</sub> eq. u atmosferu. Na osnovu identifikovanih količina otpada, model omogućava procenu investicionih i operativnih troškova postrojenja za tretman otpada. Dobjijene ekonomske vrednosti mogu se optimizovati kako bi se uspostavio ekonomski održiv sistem upravljanja otpadom na dug rok uvođenjem naknade za tretman otpada. Razvijeni model i dobijeni podaci omogućavaju definisanje budućeg pravca razvoja sistema upravljanja otpadom u regionu čijom implementacijom bi se smanjio negativni uticaj na životnu sredinu, uspostavio ekonomski održiv sistem i ispunili ciljevi EU.
Datum prihvatanja teme, <b>DP</b> :	29.11.2012.
Datum odbrane, <b>DO</b> :	
Članovi komisije, <b>KO</b> :	
Predsednik:	dr Dejan Ubavin, docent
Član:	dr Alpar Lošonc, redovni profesor
Član:	dr Nebojša Jovičić, redovni profesor
Član:	dr Nemanja Stanisavljević, docent
Član, mentor:	dr Goran Vujić, vanredni profesor

Potpis mentora



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monograph documentation
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis
Author, <b>AU</b> :	Višnja Mihajlović, Ms.Sci
Mentor, <b>MN</b> :	dr Goran Vujić, associate professor
Title, <b>TI</b> :	Waste Management Model Based on Principles of Reduction of the Negative Impact on Environment and Economic Sustainability
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Autonomous Province of Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2015
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6 chapters / 148 pages / 127 references / 28 tables / 42 figures / 10 graphs/ appendix
Scientific field, <b>SF</b> :	Environmental Engineering
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Waste Management
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Waste management, environmental protection, economic impact, sustainable development
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Serbia
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	Using the method of analysis of material flows and discounted cash flows a model for waste management for the Novi Sad Waste Management Region is developed. Using the identified waste quantities in the region, model estimates the waste quantities in order to meet the objectives in the Directives of the European Union (EU) and quantify their impact on environment through the emission of CO <sub>2</sub> eq. in the atmosphere. In addition, based on the identified amount of waste, the model estimates investment and operational costs of waste treatment plants. Obtained economic values in the model can be optimized in order to establish a waste management system that is economically sustainable introducing the gate fee. The developed model could be used as a tool for development of waste management system in the region which will reduce the negative impact on the environment, will be economically sustainable and fulfill the objectives of the EU Directives.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	29.11.2012
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	
President:	Dejan Ubavin Ph.D, assistant professor
Member:	Alpar Lošonc, Ph.D., full professor
Member:	Nebojša Jovičić Ph. D., full professor
Member:	Nemanja Stanisavljević, Ph. D., assistant professor
Member, Mentor:	Goran Vujić, Ph. D., associate professor

Mentor's sign

## **Apstrakt**

Zaštita životne sredine i upravljanje komunalnim čvrstim otpadom je složen proces i zavisi od niza faktora. Rast količina komunalnog čvrstog otpada i stope generisanja otpada, troškovi odlaganja otpada, zaštita životne sredine i zdravlja, samo su deo faktora, koji imaju uticaj na funkcionisanje i poboljšanje upravljanja čvrstim komunalnim otpadom.

Lokalne zajednice u Srbiji će se u budućnosti suočiti sa problemom da odgovore na zahteve i potrebe u oblasti upravljanja komunalnim čvrstim otpadom, koji su u skladu sa Direktivama EU, pri čemu će morati da zadovolje: tehničke, društveno-ekonomske i ekološke aspekte upravljanja otpadom, kako bi našle najprihvatljivije i najoptimalnije rešenje za upravljanje otpadom.

Cilj ovog rada i istraživanja je da se na osnovu podataka o postojećem stanju u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u regionu Novog Sada, razvije model upravljanja (tretmana) komunalnim otpadom, zasnovan na „input-output“ analizi, uzimajući u obzir ciljeve upravljanja otpadom postavljene Direktivama EU, koji je u skladu sa principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti.

U okviru rada definisano je 5 scenarija upravljanja otpadom, koji predstavljaju kombinaciju različitih tretmana otpada, bioloških i termičkih, i sanitarne deponije na koju se odlaže otpad koji nije tretiran i ostaci nakon tretmana. Na osnovu dobijenih rezultata modelovanjem, može se reći da svi analizirani scenariji ispunjavaju ciljeve propisane Direktivama o deponovanju otpada i ambalaži i ambalažnom otpadu. Za postizanje definisanog cilja Okvirne Direktive potrebno je, pored ispunjavanja ciljeva Direktiva o deponovanju otpada i reciklaži ambalažnog otpada, reciklirati ne-ambalažni otpad. U slučaju spaljivanja celokupnog otpada, scenario 5, nisu ispunjene odredbe Okvirne Direktive o otpadu, jer spaljivanje otpada uz iskorišćenje energije, se ne smatra procesom reciklaže prema definiciji Okvirne Direktive o otpadu. Svi analizirani scenariji doprinose smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) u atmosferu, u odnosu na trenutno stanje upravljanja otpadom, pri čemu scenario 2 ima najmanju emisiju GHG u atmosferu. Obzirom da svi analizirani scenariji imaju visoke investicione troškove koje nije moguće nadoknaditi prihodima od prodaje „output-a“ neophodno je uvesti naknadu za tretman otpada. Najmanju naknadu za tretman otpada ima scenario 3. koji obuhvata kompostiranje, reciklažu i deponovanje ostataka nakon tretmana. Primena tehnologija za tretman otpada i njihov odnos u cilju ispunjava odredbi Direktiva, zavisice od stepena zaštite životne sredine koji se želi postići i budućih troškova sistema.

Samo kombinovani pristup primenom više tehnologija upravljanja otpadom može da zadovolji socio-ekonomske, ekološke i zakonske zahteve prema upravljanju komunalnim otpadom, odnosno predstavlja optimalno rešenje za problem upravljanja komunalnim otpadom u regionu Novog Sada.

## **Abstract**

The complexity of the problems of environmental protection and waste management depends on a number of factors. The growth of municipal solid waste, rate of waste generation, disposal costs, environmental protection and health are few of the factors that have an impact on the improvement of solid waste management.

Local communities in Serbia will face a problem of how to define, evaluate, optimize or adapt their waste treatment decisions and to meet the progress targets set at the EC level. In addition, they will have to meet the technical, socio-economic and environmental aspects of waste management to find the most acceptable and optimal solution for waste management.

The aim of the work and research is based on data on the current situation in the field of municipal waste management in the region of Novi Sad, to develop waste management model for treatment of municipal waste, based on "input-output" analysis, taking into account the targets set at the EC level, and is consistent with the principles of reducing the negative environmental impact and economic sustainability

Within the thesis, 5 waste management scenarios are defined. They are combination of developed waste treatment technologies, biological and thermal, and sanitary landfill where the waste that is not treated or remains after the treatment is disposed. Based on obtained results in the model, all analyzed scenarios meet the objectives sets in the Directives on the landfill of waste and package and packaging waste. In addition to above mentioned Directives, it would be necessary to recycle non packaging waste in order to achieve the objective of the Waste Framework Directive. Scenario 5, does not meet the definition of recycling process, thus cannot be taken into account as a solution. All the analyzed scenarios contribute to the reduction of GHG emissions into the atmosphere, compared to the current state of waste management, in which Scenario 2 has the lowest emission of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere. All analyzed scenarios have high investment costs, which cannot be covered with the revenues from the „output“. Therefore, it is necessary to introduce a fee for waste treatment. The lowest fee for waste treatment is in Scenario 3, which includes composting, recycling and disposal of rest waste and residues after the treatment. Implementation of waste treatment technologies and their relationship in order to meet the provisions of the Directives depend on the environmental protection level that needs to be achieved and the future costs of the system.

Only a combined approach using more than one technology for waste management can meet the socio-economic, environmental and legal requirements to manage municipal waste, and is an optimal solution for the problem of municipal waste management in the region of Novi Sad.

## Sadržaj

<b>Spisak tabela .....</b>	<b>7</b>
<b>Spisak grafika .....</b>	<b>9</b>
<b>Spisak slika .....</b>	<b>10</b>
<b>Spisak skraćenica.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Uvod .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 Cilj istraživanja .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Trenutno stanje u svetu u oblasti upravljanja komunalnim otpadom .....</b>	<b>17</b>
1.2.1 Prikaz trenutnog stanja u oblasti upravljanja otpadom u Evropskoj uniji.....	20
1.2.2 Prikaz trenutnog stanja u oblasti upravljanja otpadom u Srbiji .....	23
1.2.3 Zakonodavni okvir Evropske unije.....	25
1.2.4 Zakonodavni okvir Srbije u oblasti upravljanja otpadom .....	28
<b>1.3 Pregled tehnologija za tretman otpada .....</b>	<b>31</b>
1.3.1 Biološki tretman otpada.....	31
1.3.2 Mehaničko-biološki tretman (MBT) .....	45
<b>1.4 Termički tretman otpada .....</b>	<b>46</b>
<b>1.5 Pregled korišćene literature i projekata u oblasti upravljanja otpadom.....</b>	<b>52</b>
<b>2 Metode i modeli za ocenu sistema upravljanja otpadom.....</b>	<b>56</b>
<b>2.1 Modeli za ocenu sistema upravljanja otpadom.....</b>	<b>56</b>
<b>2.2 Metode za ocenu sistema upravljanja otpadom .....</b>	<b>57</b>
2.2.1 Metode ocene sistema upravljanja otpadom sa aspekta očuvanja životne sredine.....	57
2.2.2 Input-output tabela emisije otpada (WIO).....	62
<b>2.3 Ekonomske metode za ocenu sistema upravljanja otpadom .....</b>	<b>63</b>
2.3.1 „Cost-benefit“ analiza i analiza troškova i efikasnosti.....	64

2.3.2	Metod diskontovanih novčanih tokova - Neto sadašnja vrednost (NSV) i interna stopa rentabilnosti (IRR), indeks profitabilnosti (PI) i period povraćaja investicije (DPP).....	64
2.3.3	Računovodstvo punih troškova (FCA) .....	68
<b>2.4</b>	<b>Društveni i institucionalni aspekti kao metode ocene sistema upravljanja otpadom.....</b>	<b>69</b>
<b>3</b>	<b>Razvoj modela.....</b>	<b>72</b>
<b>3.1</b>	<b>Ulazni podaci za razvoj modela .....</b>	<b>72</b>
3.1.1	Morfološki sastav i količine otpada u regionu Novog Sada.....	72
3.1.2	Bruto domaći proizvod (BDP) .....	74
<b>3.2</b>	<b>Kriterijumi za razvoj modela .....</b>	<b>78</b>
3.2.1	Zakonski propisani ciljevi u oblasti upravljanja otpadom.....	79
3.2.2	Izbor tehnologija .....	82
3.2.3	Zaštita životne sredine – uticaj emisija gasova sa efektom staklene bašte (GHG) iz postrojenja za tretman otpada na klimatske promene.....	83
3.2.4	Ekonomska održivost postrojenja za tretman otpada – kapitalni (CAPEX) i operativni (OPEX) troškovi	91
<b>3.3</b>	<b>Optimizacija modela.....</b>	<b>102</b>
3.3.1	Naknada za tretman otpada (gate fee) .....	102
3.3.2	Razvijeni scenariji u okviru modela .....	104
<b>4</b>	<b>Rezultati modelovanja.....</b>	<b>106</b>
<b>4.1</b>	<b>Scenario 0 – Trenutno stanje (Status quo) .....</b>	<b>106</b>
<b>4.2</b>	<b>Scenario 1 – Anaerobna digestija CHP+ Sanitarna deponija.....</b>	<b>107</b>
<b>4.3</b>	<b>Scenario 2 – Anaerobna digestija CHP + Insineracija CHP + Sanitarna deponija.....</b>	<b>110</b>
<b>4.4</b>	<b>Scenario 3 – Kompostiranje + Sanitarna deponija .....</b>	<b>113</b>
<b>4.5</b>	<b>Scenario 4–Kompostiranje + Insineracija CHP + Sanitarna deponija.....</b>	<b>115</b>
<b>4.6</b>	<b>Scenario 5- Insineracija CHP .....</b>	<b>118</b>
<b>5</b>	<b>Zaključna razmatranja.....</b>	<b>120</b>
<b>6</b>	<b>Korišćena literatura.....</b>	<b>126</b>

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

**Prilog.....135**



## **Spisak tabela**

<i>Tabela 1: Buduće količine generisanog otpada do 2025. prema bruto nacionalnim prihodima po glavi stanovnika .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 2: Energetski bilans postrojenja za anaerobnu digestiju .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 3: Energetski bilans CHP postrojenja za insineraciju .....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 4: LCA modeli upravljanja otpadom .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabela 5: Sastav komunalnog otpada u regionu Novog Sada .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 6: Rast količina generisanog otpada u periodu od 1990. do 2000. godine u odnosu na rast populacije i bruto domaći proizvod .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 7: Ulazni i izlazni parametri analiziranih tretmana otpada u modelu .....</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 8: Emisioni faktori iz procesa reciklaže mešanog otpada .....</i>	<i>85</i>
<i>Tabela 9: Emisioni faktori za pojedinačne frakcije recikliranog otpada (kg. CO<sub>2</sub> eq.) .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabela 10: Emisija GHG iz procesa AD uz iskorišćenje energije u sistemu .....</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 11: Emisija GHG iz insineratora sa pokretnom rešetkom .....</i>	<i>89</i>
<i>Tabela 12: Emisioni faktori deponovanog netretiranog komunalnog otpada (kg CO<sub>2</sub> eq./toni otpada) .....</i>	<i>90</i>
<i>Tabela 13: Funkcije kapitalnih i operativnih troškova različitih postrojenja za tretman otpada .....</i>	<i>95</i>
<i>Tabela 14: Funkcije troškova za različite tipove postrojenja za tretman otpada na nivou EU .....</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 15: Naknada za ambalažni otpad .....</i>	<i>100</i>
<i>Tabela 16: Cene „output-a“ definisanih u modelu .....</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 17 : Analizirani scenariji i njihovi osnovni parametri .....</i>	<i>105</i>
<i>Tabela 18: Ekonomski parametri analiziranih tehnologija u scenariju 1 u 2035. godini .....</i>	<i>109</i>
<i>Tabela 19: Scenario 1: Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu .....</i>	<i>109</i>
<i>Tabela 20: Ekonomski parametri analiziranih tehnologija u scenariju 2 u 2035. godini .....</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 21: Scenario 2 - Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu .....</i>	<i>112</i>
<i>Tabela 22: Ekonomski pokazatelji scenarija 3 u 2035. godini .....</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 23: Scenario 3 - Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu .....</i>	<i>114</i>
<i>Tabela 24: Ekonomski pokazatelji scenarija 4 u 2035.godini .....</i>	<i>117</i>

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

<i>Tabela 25: Scenario 4 - Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu .....</i>	<i>117</i>
<i>Tabela 26: Ekonomski pokazatelji scenarija 5 u 2035.godini .....</i>	<i>119</i>
<i>Tabela 27: Scenario 5 – Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu .....</i>	<i>119</i>
<i>Tabela 28: Pregled ključnih vrednosti analiziranih scenarija .....</i>	<i>124</i>

**Spisak grafika**

<i>Grafik 1: Kapitalni troškovi postrojenja za anaerobnu digestiju .....</i>	<i>45</i>
<i>Grafik 2: Kapitalni troškovi postrojenja za spaljivanje otpada.....</i>	<i>52</i>
<i>Grafik 3: Generisani komunalni otpad kao funkcija BPD .....</i>	<i>76</i>
<i>Grafik 4: „Apsolutno“ (grafik levo) i „relativno“ (grafik desno) razdvajanje.....</i>	<i>77</i>
<i>Grafik 5: Emisija GHG prilikom tretmana biorazgradivog otpada .....</i>	<i>87</i>
<i>Grafik 6: Zavisnost kapitalnih troškova od kapaciteta WtE postrojenja .....</i>	<i>92</i>
<i>Grafik 7: Generička funkcija troškova investicija i funkcija operativnih troškova postrojenja za upravljanje otpadom.....</i>	<i>95</i>
<i>Grafik 8: Emisija GHG analiziranih scenarija .....</i>	<i>121</i>
<i>Grafik 9. NSV analiziranih scenarija pri tržišnoj ceni energenata i feed-in tarifi.....</i>	<i>122</i>
<i>Grafik 10. Naknada za tretman otpada analiziranih scenarija .....</i>	<i>123</i>

## **Spisak slika**

<i>Slika 1: „Input-output“ model upravljanja komunalnim otpadom.....</i>	<i>16</i>
<i>Slika 2: Morfološki sastav otpada zemalja sa niskim prihodima po glavi stanovnika.....</i>	<i>18</i>
<i>Slika 3: Morfološki sastav otpada zemalja sa niže-srednjim prihodima po glavi stanovnika.....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 4: Morfološki sastav otpada zemalja sa srednje-višim prihodima po glavi stanovnika.....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 5: Morfološki sastav otpada zemalja za visokim prihodima po glavi stanovnika.....</i>	<i>19</i>
<i>Slika 6: Metode tretmana čvrstog komunalnog otpada u svetu.....</i>	<i>20</i>
<i>Slika 7: Morfološki sastav otpada na nivou EU-27.....</i>	<i>21</i>
<i>Slika 8: Razvoj tretmana otpada u periodu od 2001. do 2010. na nivou EU-27.....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 9: Promene u načinu upravljanja otpadom u periodu 1995. do 2012. na nivou EU-27.....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 10: Prosečni morfološki sastav komunalnog otpada u Srbiji.....</i>	<i>23</i>
<i>Slika 11: Zakonodavni okvir EU.....</i>	<i>25</i>
<i>Slika 12: Tipologija bioloških tretmana prema tipu procesa.....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 13: Maseni bilans procesa kompostiranja.....</i>	<i>35</i>
<i>Slika 14: Kompostiranje u gomilama (otvoreni sistem).....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 15: Zatvoreni sistem kompostiranja.....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 16: Maseni bilans anaerobne digestije.....</i>	<i>39</i>
<i>Slika 17: Anaerobna digestija.....</i>	<i>41</i>
<i>Slika 18: Prečišćavanje biogasa za dalju distribuciju.....</i>	<i>43</i>
<i>Slika 19: Postrojenje za dobijanje energije iz otpada (WtE).....</i>	<i>48</i>
<i>Slika 20: Maseni bilans procesa insineracije.....</i>	<i>50</i>
<i>Slika 21: Plan projekta AWAST.....</i>	<i>53</i>
<i>Slika 22: FORWAST projekat.....</i>	<i>54</i>
<i>Slika 23: BiGEAST projekat.....</i>	<i>55</i>
<i>Slika 24: Uticaj diskontnih stopa na neto sadašnju vrednost.....</i>	<i>66</i>
<i>Slika 25: Povezanost rasta količina otpada, stanovništva i GDP.....</i>	<i>71</i>

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

<i>Slika 26: Tokovi otpada definisanih u modelu.....</i>	<i>74</i>
<i>Slika 27: Količine generisanog otpada po glavi stanovnika u OECD regionima .....</i>	<i>76</i>
<i>Slika 28: Kriterijumi za razvoj modela .....</i>	<i>79</i>
<i>Slika 29: Optimizacija modela upravljanja otpadom za region Novog Sada.....</i>	<i>103</i>
<i>Slika 30: Scenario Trenutno stanje ( status quo) – Maseni bilans .....</i>	<i>106</i>
<i>Slika 31: Scenario 1 – Maseni tokovi .....</i>	<i>107</i>
<i>Slika 32: Priliv otpada tokom na deponiju tokom 20 godina.....</i>	<i>108</i>
<i>Slika 33: Scenario 2 - Maseni tokovi.....</i>	<i>110</i>
<i>Slika 34: Scenario 3 - Maseni tokovi.....</i>	<i>113</i>
<i>Slika 35: Scenario 4 - Maseni tokovi.....</i>	<i>116</i>
<i>Slika 36: Scenario 5 - Maseni tokovi.....</i>	<i>118</i>
<i>Slika 37: Ulazni podaci za model .....</i>	<i>135</i>
<i>Slika 38: Scenario 1 Anaerobna digestija CHP + Sanitarna deponija.....</i>	<i>138</i>
<i>Slika 39: Scenario 2 Anaerobna digestija CHP + Insineracija CHP + Deponija .....</i>	<i>140</i>
<i>Slika 40: Scenario 3 Kompostiranje i sanitarna deponija .....</i>	<i>143</i>
<i>Slika 41: Scenario 4 Kompostiranje + Insineracija CHP + Sanitarna deponija .....</i>	<i>145</i>
<i>Slika 42: Scenario 5 Insineracija CHP.....</i>	<i>147</i>

**Spisak skraćenica**

AD – Anaerobna digestija

APC – Air Pollution Control – Kontrola zagađenja vazduha

ATT – Advanced Thermal Treatment – Napredne tehnologije za termički tretmani otpad

BMW – Biodegradable municipal waste – Biorazgradivi komunalni otpad

CBA – Cost-benefit analysis – Analiza troškova i koristi

CEA – Cost effectiveness analysis – Analiza efikasnosti troškova

CEE - Central and Eastern Europe – Centralna i jugoistočna Evropa

CHP – Combined heat and power - kombinovana proizvodnja toplotne i električne energije)

CIS - Commonwealth of Independent States (of the former Soviet Union)

DSS – Decision Support Systems – Sistem za podršku donošenja odluka

EEA - European Environment Agency - Evropska Agencija za zaštitu životne sredine)

EU – European Union - Evropska unija

EC – European Council - Evropski savet

FCA – Full cost accounting - Računovodstvo punih troškova

GDP – Gross Domestic Product - Bruto domaći proizvod

GNI – Gross National Income - Bruto nacionalni proizvod

IRR – Internal Rate of Return - Interna stopa povrata

ISWM – Integrated Solid Waste Management - Integrisani sistem upravljanja otpadom

LCA – Life-cycle assessment - Ocena životnog ciklusa

LCI – Life-cycle inventory- Ocena inventara životnog ciklusa

MBT – Mehaničko-biološki tretman

NPV – Net Present Value - Neto sadašnja vrednost

OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development - Organizacija za ekonomsku saradnju i razvoj

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

SME- Small and medium enterprises - Mala i srednja preduzeća

World Bank - Svetska banka

WtE – Waste to Energy - Dobijanje energije iz otpada

RDF – Refused Derived Fuel - Gorivo dobijeno iz otpada

SRF – Solid Recovered Fuel - Čvrsto gorivo iz otpada

UNEP - United Nations Environment Programme - Program Ujedinjenih nacija za životnu sredinu

WCED – World Commission on Environment and Development - Svetska komisija za životnu sredinu i razvoj pri Ujedinjenim nacijama

## **1. Uvod**

### *Definisanje problema istraživanja*

Pojam održivog razvoja definisan je kao razvoj, koji zadovoljava potrebe sadašnjosti, bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija, da zadovolje svoje potrebe (WCED, 1987).

Pored ove definicije opšte prihvaćena je i šira definicija održivog razvoja koja obuhvata tri aspekta ili dimenzije (Harris J., 2000):

- Ekonomsku dimenziju: ekonomski održiv sistem mora biti u stanju da proizvede robu i usluge na „redovnoj“ osnovi (znači bez spoljnih dotacija, subvencija i sl.) i da održi upravljanje nivoa vlasti spoljnim dugom, a da se izbegne ekstremna sektorska neravnoteža, koja oštećuje bilo poljoprivrednu ili industrijsku proizvodnju.
- Dimenziju životne sredine: ekološki održiv sistem mora održavati stabilan izvor resursa, izbegavajući prekomernu eksploataciju obnovljivih resursa sistema (države, ljudske zajednice), ili „sink“ (potonuće, raspad) funkcije životne sredine i iscrpljivanje neobnovljivih resursa, (mogućnost iscrpljivanja je samo u meri nivoa dodatnog ulaganja u odgovarajuće zamene). Ovo uključuje održavanje biodiverziteta, atmosfersku stabilnost i druge funkcije ekosistema, koje nemaju stalnu klasifikaciju kao ekonomski resursi.
- Socijalnu dimenziju: socijalno održiv sistem mora postići distribucionu ravnopravnost, adekvatno pružanje socijalnih usluga, uključujući zdravstvo i obrazovanje, ravnopravnosti polova i političku odgovornost za učešće u društvenom životu i ekonomskoj reprodukciji.

Jedan od vidova održivog upravljanja životnom sredinom jeste održivo upravljanje otpadom. Definicija održivog razvoja ne daje mnogo smernica za upravljanje otpadom. Međutim, podstiče način razmišljanja, koji sugerise da pitanja, koja se odnose na dugi rok ne treba zanemariti i da svaka generacija rešava svoje probleme, kao i da ona mora tražiti lokalna rešenja (Christensen T., 2011). Održivost životne sredine, sa aspekta upravljanja otpadom, može se definisati kao sistem upravljanja otpadom, koji smanjuje ukupni (negativni) uticaj upravljanja otpadom na životnu sredinu, uključujući potrošnju energije, zagađenja zemljišta, vazduha i vode, gde su ukupni troškovi sistema upravljanja otpadom prihvatljivi za sve članove društvene zajednice, uključujući i domaćinstva, privredu, institucije i vladu (White i dr. 1995; Warmer bilten, 49/1996).

Otpad je najočigledniji i najrasprostranjeniji proizvod intenzivnog korišćenja resursa i potrošački orijentisanog društva i rastuće ekonomije. Povećanje obima aktivnosti u privredi, urbanizacija, rast životnog standarda stanovništva i rast populacije, zajedno doprinose povećanju količina otpada. Životna sredina ima ograničene kapacitete eliminisanja generisanih količina otpada. Povećanje količine otpada izvan kapaciteta životne sredine može dovesti do zagađenja životne sredine i uništenja prirodnih resursa. Porast količina otpada predstavlja problem koji ima dvojak karakter: negativno utiče na životnu sredinu, ukoliko se adekvatno ne upravlja istim i neefikasni sistemi upravljanja otpadom imaju mnogo veće troškove upravljanja otpadom od integrisanog sistema upravljanja otpadom.



Procenjuje se da 5 % emisije gasova sa efektom staklene bašte potiču od organskog dela komunalnog otpada i smatraju se odgovornim za klimatske promene (UNEP, 2011). Upravljanje otpadom je jedna od najskupljih urbanih usluga, čineći 20-40% ukupnih troškova opština u zemljama u razvoju (Coffey M., i Coad A., 2010).

Rast komunalnog čvrstog otpada i stope generisanja otpada, troškovi odlaganja otpada, zaštita životne sredine i zdravlja, ograničenost prostora za deponovanje otpada, zakonodavne odredbe i njihove promene, politička klima i društveni stavovi, samo su deo faktora, koji imaju značajan uticaj na napore za poboljšanjem upravljanja čvrstim komunalnim otpadom.

Upravljanje otpadom predstavlja jedan od prioritarnih problema u domenu zaštite životne sredine u Srbiji. Održivo upravljanje otpadom predstavlja veliki izazov jer otpad karakteriše velika raznolikost. Potrebno ga je tretirati na adekvatan način, dostupnim tehnologijama, kako bi se smanjio negativan uticaj na životnu sredinu, a pri tome bio ekonomski održiv. Lokalne zajednice će se u budućnosti suočiti sa problemom odgovora na zahteve i potrebe u oblasti upravljanja komunalnim čvrstim otpadom, koji su u skladu sa Direktivama EU, pri čemu će morati da razmatraju: tehničke, društveno-ekonomske i ekološke aspekte upravljanja otpadom, kako bi našle najprihvatljivije/najoptimalnije rešenje.

Potreba za „input-output“ analizom proizilazi iz činjenice, da se njom mogu analizirati promene eksternih faktora (cene, tehnologija, promene u tražnji - količine, promene zakonskih regulativa i sl.) na sektore, u okviru ekonomije na nacionalnom ili lokalnom nivou. Navedene mogućnosti „input-output“ analize omogućavaju praćenje promena u okviru sektora upravljanja komunalnim otpadom, odnosno u Srbiji i lokalnim zajednicama, kao i uticaja eksternih činilaca na ovaj sektor.

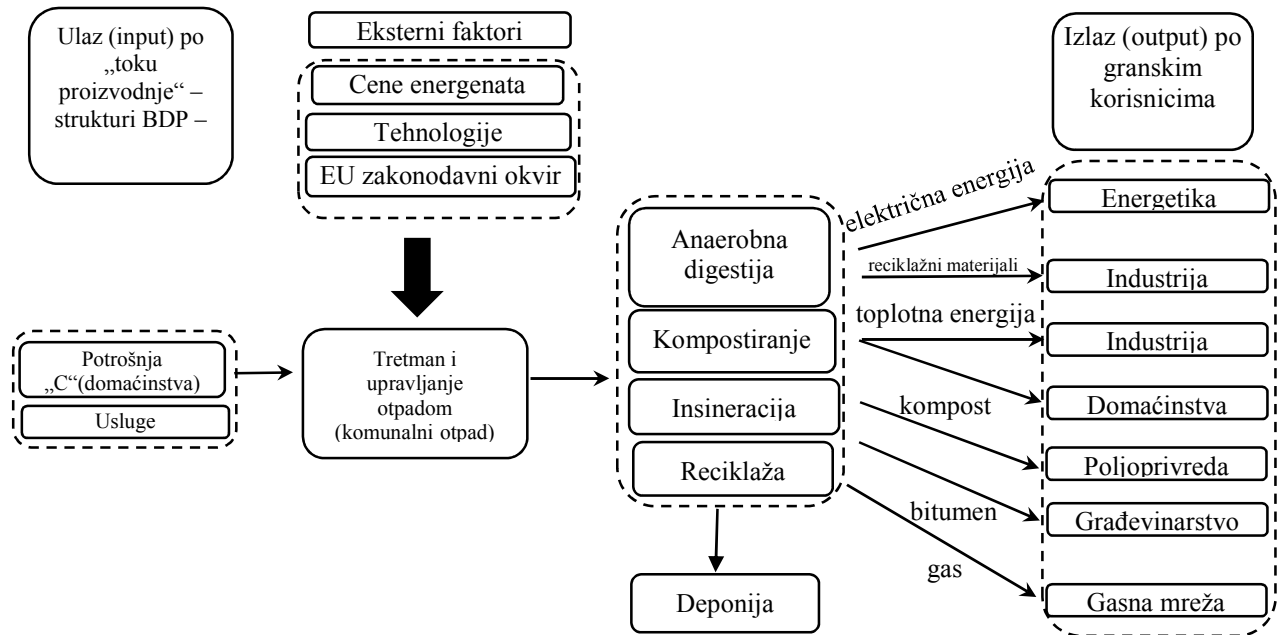
## **1.1 Cilj istraživanja**

Cilj ovog rada i istraživanja je da se na osnovu podataka o postojećem stanju u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u regionu Novog Sada, razvije model upravljanja (tretmana) komunalnim otpadom, zasnovan na „input-output“ analizi, uzimajući u obzir ciljeve upravljanja otpadom postavljene Direktivama EU, i koji je u skladu sa principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti.

U ovom radu korišćene su metodologije ravnoteže masenih bilansa komunalnog otpada u regionu Novi Sad, zasnovana na „input-output“ analizi i „cost-benefit“ analizi. Metodologija ravnoteže masenih bilansa komunalnog otpada u regionu Novog Sada, obuhvata, maseni bilans ulaza („input“), generisani komunalni otpad i izlaze „output“ (proizvodi, ostaci nakon tretmana otpada npr. lebdeći pepeo) iz postrojenja za tretman otpada i procena njihovog uticaja na životnu sredinu. „Cost-benefit“ analiza odnosi se na procenu investicionih i operativnih troškova tehnologija za tretman otpada korišćenjem metode diskontovanih novčanih tokova. Model omogućava definisanje optimalnog sistema upravljanja otpadom, razvijenog na osnovu definisanih kriterijuma u modelu. Optimalni sistem upravljanja otpadom se zasniva na principu smanjenja negativnog uticaja upravljanja otpadom na životnu sredinu, ekonomsku održivost sistema kao i usklađenost sa postavljenim ciljevima upravljanja otpadom. Ocena uticaja na životnu sredinu obuhvata analizu emisije gasova sa efektom staklene bašte (GHG) izraženu

preko ekvivalenata ugljen-dioksida ( $\text{CO}_2 \text{ eq.}$ ) koje potiču od različitih postrojenja za tretmana otpada.

Razvijeni model će omogućiti da se analiziraju promene eksternih faktora i njihov uticaj na, tretman komunalnog otpada, slika 1. Na osnovu promena eksternih faktora, model omogućava definisanje optimalnog tretmana komunalnog otpada i analizu uticaja „output-a“, upravljanja komunalnim otpadom, na granske korisnike.



Slika 1: „Input-output“ model upravljanja komunalnim otpadom

U okviru modela definisano je nekoliko scenarija za tretman komunalnog otpada, koji uzimaju u obzir tehnološke aspekte upravljanja otpadom, zakonodavni okvir Evropske unije u oblasti upravljanja otpadom, ekološke i društvene aspekte i tržišne – tekuće cene energenata. Primarni indikator, prilikom izbora optimalnog upravljanja i tretmana otpada, je njegov uticaj na životnu sredinu u korelaciji sa troškovima upravljanja otpadom, kao i ekonomska održivost sistema.

U skladu sa izloženim problemom istraživanja i definisanim ciljem istraživanja, donetih na osnovu stanja u oblasti upravljanja otpadom u regionu Novi Sad, dostupnih rezultata i istraživanja u literaturi, mogu se definisati sledeće hipoteze:

Opšta hipoteza:

Primenom „input-output“ analize, moguće je razviti model upravljanja komunalnim otpadom koji je u skladu sa principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti.

Generalna hipoteza:

Korišćenjem definisanog modela, moguće je odrediti optimalni sistem upravljanja i tretmana komunalnog otpada.

Posebne hipoteze:

Moguće je definisati scenario upravljanja otpadom koji ispunjava odredbe propisane Direktivama EU o upravljanju otpadom.

Moguće je definisati scenario upravljanja otpadom koji doprinosi smanjenju negativnog uticaja na životnu sredinu, kroz smanjenje emisije CO<sub>2</sub> eq.

Moguće je definisati scenario upravljanja otpadom koji ima najmanje troškove odnosno najmanju naknadu za tretman otpada.

## **1.2 Trenutno stanje u svetu u oblasti upravljanja komunalnim otpadom**

Prema podacima Svetske banke (World Bank, 2012), pre deset godina bilo je 2,9 milijardi stanovnika koji su živeli u urbanim naseljima i generisali su oko 0,64 kg čvrstog komunalnog po osobi dnevno (0,68 biliona tona godišnje). Procenjuje se da su danas ove vrednosti povećane. Oko 3 milijarde stanovnika danas generiše 1,2 kilograma po osobi dnevno (1,3 milijardi tona otpada godišnje). Predviđanja do 2025. godine pokazuju da će se broj stanovnika povećati na 4,3 milijarde koji će generisati oko 1,42 kg po glavi stanovnika dnevno komunalnog čvrstog otpada (2,2 milijarde tona godišnje).

Rast količina čvrstog otpada je neraskidivo povezano sa procesom urbanizacije i ekonomskim razvojem zemlje. Urbanizacija zemlje, ekonomski razvoj, povećanje životnog standarda stanovništva i raspoloživih prihoda dovodi do povećane potrošnje robe i usluga, što rezultira povećanjem količine generisanog otpada.

Svetska banka je na osnovu bruto nacionalnog prihoda po glavi stanovnika (GNI) klasifikovala države u četiri grupe:

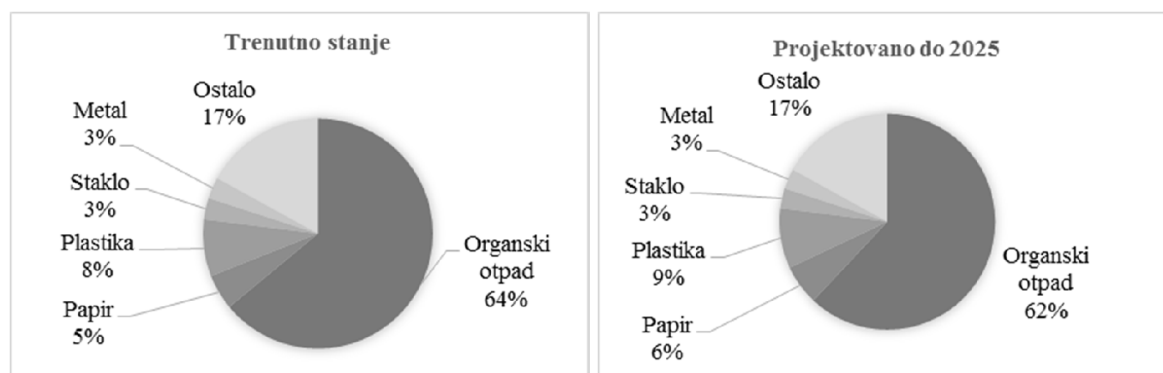
- 1) države sa visokim prihodom, od 10.726 \$ i iznad
- 2) države sa gornjim srednjim prihodom, 3.466-10.725\$;
- 3) države sa niže srednjim prihodom, od 876-3,465 \$ i
- 4) države sa niskim prihodima, od 875 \$ ili manje po glavi stanovnika.

Visina prihoda po glavi stanovnika, pored uticaja na količine generisanog otpada, može uticati i na morfološki sastav otpada i sistem upravljanja otpadom (World Bank, 2012). U tabeli 1. dat je prikaz trenutnih količina otpada i projektovanih do 2025. godine, prema trenutnom trendu rasta stanovništva u zavisnosti od nacionalnih prihoda po glavi stanovnika. Očekivani rast populacije će uticati na povećanje količina generisanog otpada. Države sa niskim i niže srednjim prihodom se odlikuju mnogo većim rastom stanovništva, udvostručuje se broj stanovnika, samim tim i količine ukupno generisanog otpada. U državama sa gornjim-srednjim i visokim prihodom uočava se rast populacije i količina generisanog otpada ali mnogo manjeg intenziteta.

Tabela 1: Buduće količine generisanog otpada do 2025. prema bruto nacionalnim prihodima po glavi stanovnika (World Bank, 2012)

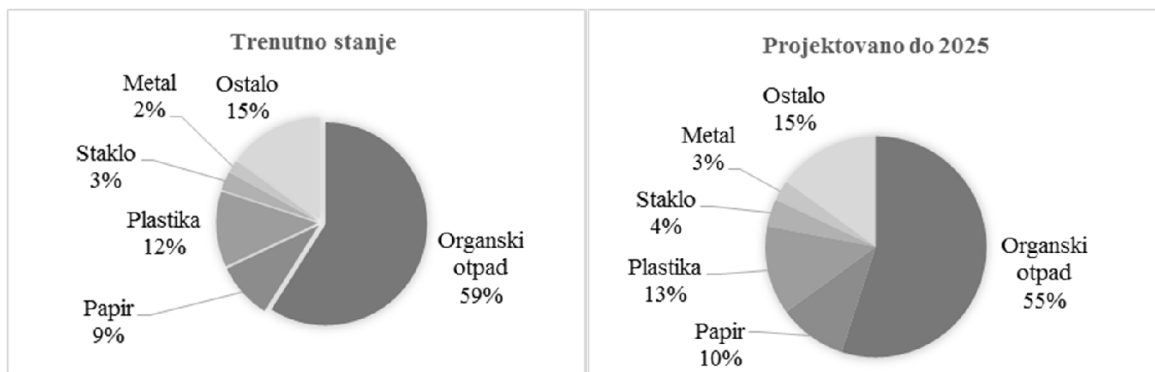
Prihodi po glavi stanovnika	Trenutno dostupni podaci				Projekcija do 2025. godine		
	Ukupan broj stanovnika u urbanim naseljima (miliona)	Količine generisanog otpada u urbanim naseljima		Predviđeni rast populacije		Predviđeni rast otpada	
		Po glavi stanovnika (kg/po glavi stanovnika/dnevno)	Ukupno (tona/dnevno)	Ukupan broj stanovnika (miliona)	Populacija u urbanim naseljima (miliona)	Po glavi stanovnika (kg/po glavi stanovnika/dnevno)	Ukupno (tona/dnevno)
Niski i Niži srednji	343	0.60	204.802	1.637	676	0.86	584.272
Gornji srednji	1,293	0.78	1.012.321	4.010	2.080	1.3	2.618.804
Visoki	572	1.16	665.586	888	619	1.6	987.039
Ukupno	774	2.13	1.649.547	1.112	912	2.1	1.879,590
	2.982	1.19	3.532.256	7.647	4.287	1.4	6.069.705

Prikaz morfološkog sastava otpada i projektovani sastav na osnovu bruto nacionalnog prihoda po glavi stanovnika dat je na slikama koje slede.

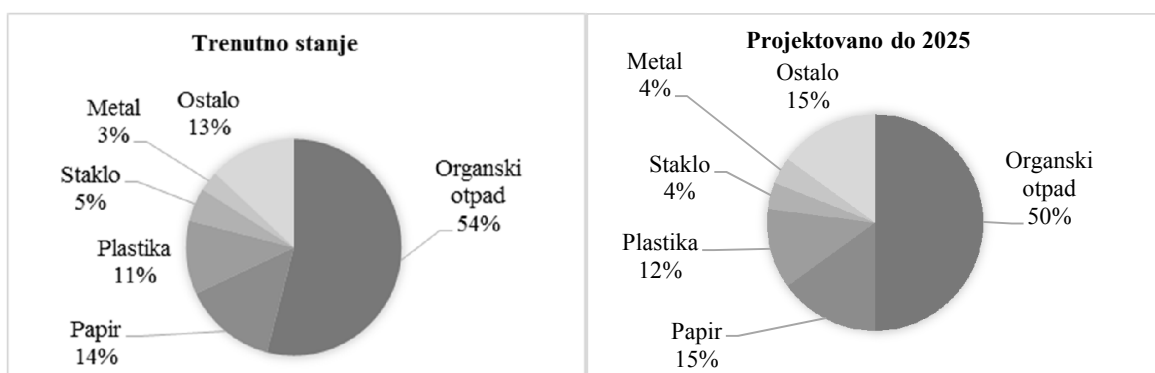


Slika 2: Morfološki sastav otpada zemalja sa niskim prihodima po glavi stanovnika (World Bank, 2012)

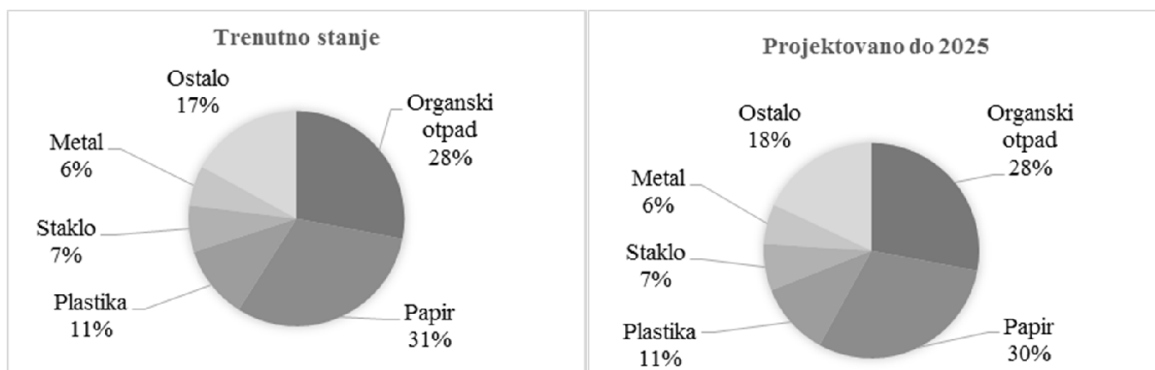
Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti



Slika 3: Morfološki sastav otpada zemalja sa niže-srednjim prihodima po glavi stanovnika (World Bank, 2012)



Slika 4: Morfološki sastav otpada zemalja sa srednje-višim prihodima po glavi stanovnika (World Bank, 2012)

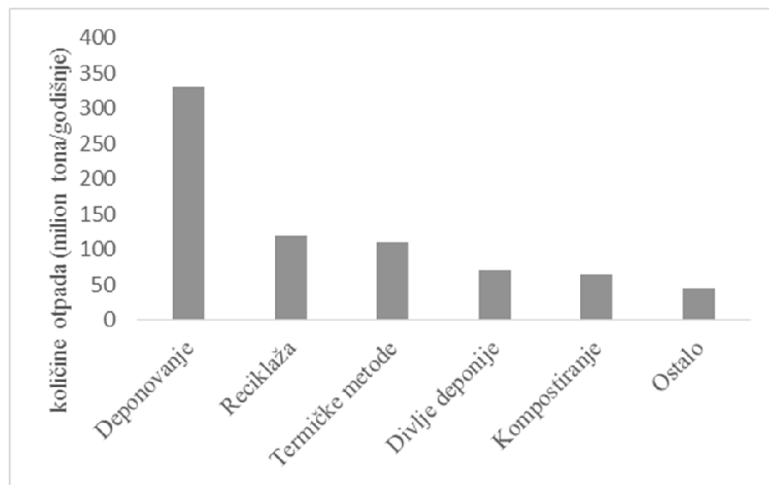


Slika 5: Morfološki sastav otpada zemalja za visokim prihodima po glavi stanovnika (World Bank, 2012)

Na morfološki sastav otpada utiču mnogi faktori, između ostalog nivo ekonomskog razvoja države, kulturne norme, geografski položaj, klima itd. Ekonomskim razvojem države, urbanizacijom, povećanjem blagostanja stanovništva, potrošnja neorganskih materijala (kao što su plastika, papir i aluminijum) raste, dok se udeo organske frakcije smanjuje. Navedeni morfološki sastav otpada karakteriše države sa visokim i srednjim višim prihodima po glavi stanovnika. U zemljama sa niskim i srednjim dohotkom po glavi stanovnika, otpad se

karakteriše visokim procentom organske materije u ukupnom sastavu otpada, u rasponu od 40 do 85 %.

Pored velikog broja dostupnih i razvijenih tehnologija za tretman otpada, odlaganje otpada na deponije i dalje je najzastupljeniji vid tretmana otpada, a zatim sa približnom zastupljenošću su termičke metode i reciklaža, slika 6. Divlje deponije se javljaju uglavnom u državama sa niskim prihodima po glavi stanovnika.



*Slika 6: Metode tretmana čvrstog komunalnog otpada u svetu (World Bank, 2012)*

Zastupljenost tretmana zavisi od stepena ekonomske razvijenosti zemlje. Deponovanje otpada i termički tretman su najčešće zastupljene metode tretmana čvrstog komunalnog otpada u zemljama sa visokim prihodima. Većina zemalja sa niskim i srednjim prihodima odlažu svoj otpad na otvorenim deponijama, dok ostali tretmani otpada su slabo zastupljeni (World Bank, 2012).

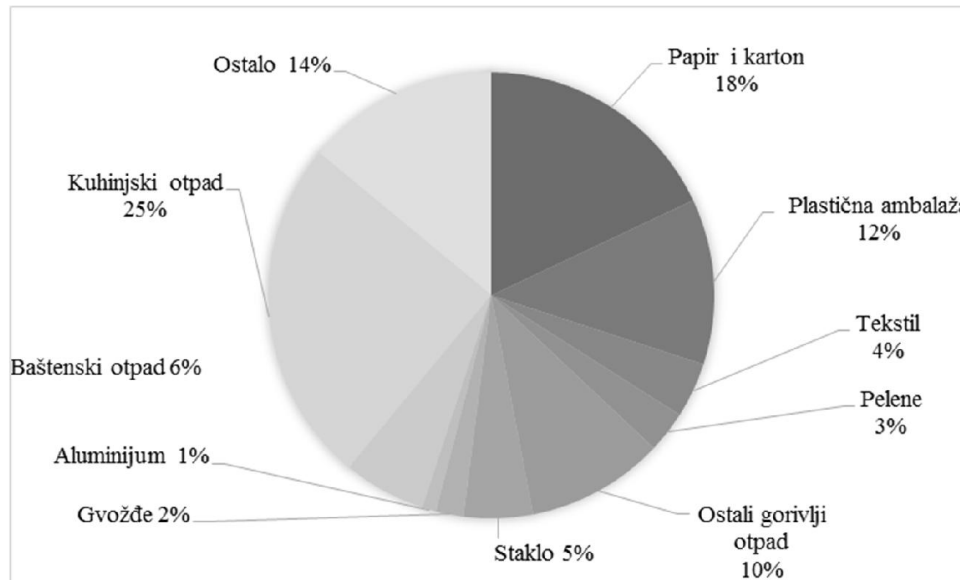
### **1.2.1 Prikaz trenutnog stanja u oblasti upravljanja otpadom u Evropskoj uniji**

U Evropskoj uniji komunalni čvrst otpad čini oko 10% ukupno generisanog otpada, za period sakupljanja podataka od 1995 do 2010 (Eurostat, 2014). Prema podacima iz 2010 godine ukupna količina generisanog komunalnog otpada iznosila je 252 miliona tona za EU-27, odnosno 502 kg po glavi stanovnika (Saki Ö., 2011).

Prognozirani rast otpada po glavi stanovnika u EU do 2020 je 569 kg po glavi stanovnika (ETC/STP, 2011). Količina otpada po glavi stanovnika u zemljama Evropske unije beleži rast, od 460 kg 1995. godine, 520 kg u 2007. godini i očekuje se da će do 2020. godine dostići 680 kg po glavi stanovnika (ETC/RWM, 2008).

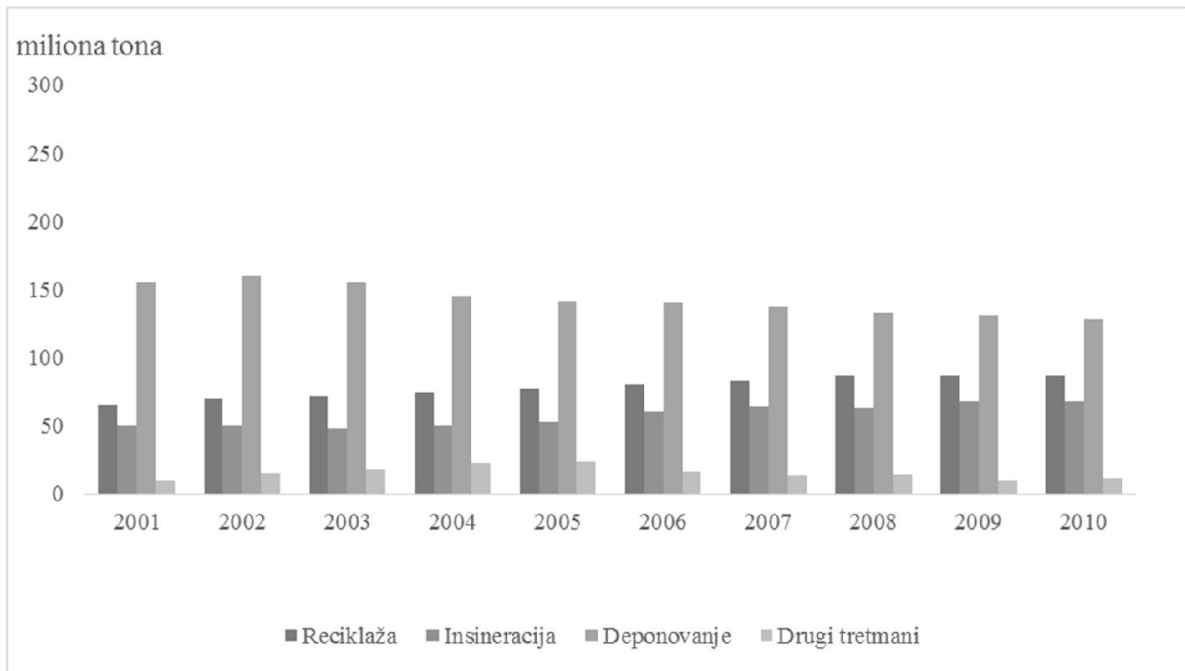
Morfološki sastav otpada u okviru EU se razlikuje među državama članicama, i iz tog razloga je teško odrediti jedinstvenu strukturu otpada na nivou EU. Razvijenije države članice (Nemačka, Francuska, Švedska) karakteriše struktura otpada država sa visokim prihodima po glavi stanovnika, pri čemu u morfološkom sastavu otpada dominiraju plastika, karton i papir, dok je udeo organskog otpada nizak. Ostale države članice, između ostalih, Rumunija, Bugarska, prema ekonomskim pokazateljima pripadaju državama u razvoju i struktura njihovog

otpada odgovara državama sa srednje višim prihodima po glavi stanovnika, pri čemu u morfološkom sastavu otpada dominira organska frakcija, dok je udeo ambalaže i ambalažnog otpada manji. Morfološki sastav otpada na nivou EU-27 je prikazan na slici 7. U morfološkom sastavu otpada, dominiraju ambalaža i ambalažni otpad, manji je udeo organskog otpada, što je i karakteriše morfološki sastav otpada visoko razvijenih zemalja.



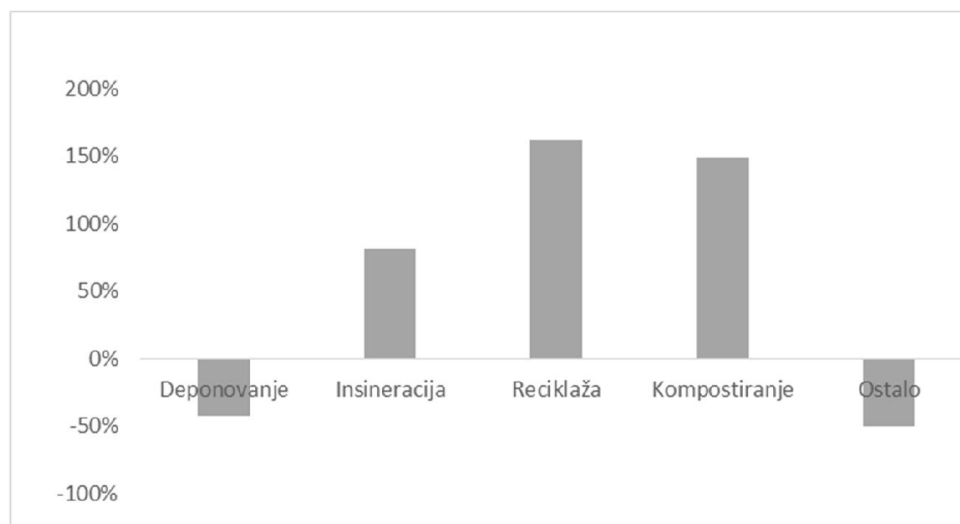
*Slika 7: Morfološki sastav otpada na nivou EU-27*

Kao što postoji raznolikost u morfološkom sastavu otpada na nivou EU, isto tako postoje i razlike u načinu upravljanja odnosno tretmanu otpada među državama članicama. Mogu se izdvojiti tri tipa tretmana otpada: deponovanje, spaljivanje otpada (insineracija) i reciklaža. Najzastupljeniji tretman je odlaganje otpada na deponije, ali tokom godina ovaj trend opada, i povećava se reciklaža otpada i spaljivanje otpada, slika 8. Kategorija drugi tretmani, predstavlja razliku između tretiranih količina otpada i količina otpada koje su generisane. Ova razlika se javlja u zemljama koje procenjuju podatke o količinama otpada u oblastima koje nisu pokrivene šemama sakupljanja otpada i zbog toga su količine generisanog otpada veće od stvarnih količina koje se tretiraju (EEA, 2014). Prema trenutno dostupnim podacima o tretmanu otpada, od ukupno generisanog otpada po stanovniku u EU 2011. godine 37% otpada je deponovano, 23% je spaljeno procesom insineracije, 25% reciklirano i 15% je kompostirano (Eurostat, 2014)



Slika 8: Razvoj tretmana otpada u periodu od 2001. do 2010. na nivou EU-27 (EEA, 2013)

U periodu od 1995. do 2012. najveći rast zabeležio je proces kompostiranja i reciklaže, potom insineracije, dok je deponovanje kao tretman zabeležilo pad, slika 9.



Slika 9: Promene u načinu upravljanja otpadom u periodu 1995. do 2012. na nivou EU-27 (Eurostat, 2014)

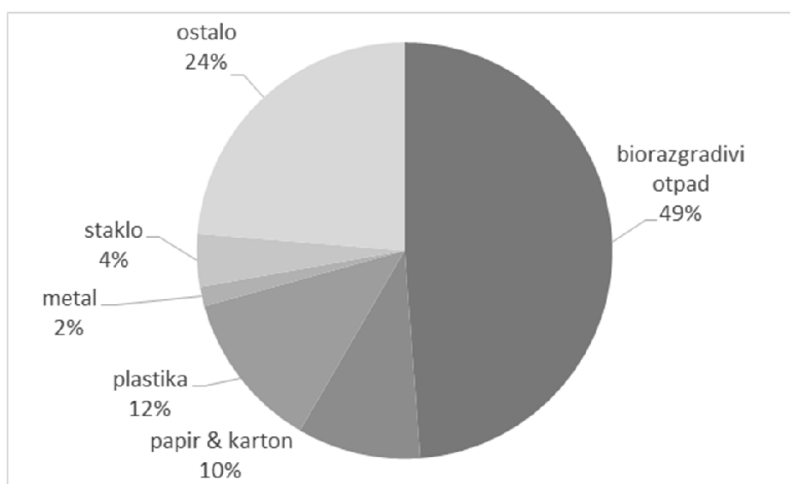
Prema predviđanjima, do 2020. godine odlaganje otpada na deponije će opasti i iznosiće oko 80 miliona tona, insineracija će biti manje zastupljena ali svako više od deponovanja. Najveći udeo će imati reciklaža i kompostiranje, koji će zajedno iznositi oko 270 miliona tona otpada tretirano ovim putem (Saki Ö., 2011).



## **1.2.2 Prikaz trenutnog stanja u oblasti upravljanja otpadom u Srbiji**

Prema podacima iz Nacionalne strategije upravljanja otpadom od 2014.-2019. godine, u Srbiji trenutno generiše 2.448.566 tona komunalnog otpada, odnosno godišnje 340,7 kg/stanovniku (0,93 kg/st./dan). I pored visokog sadržaja organske komponente u komunalnom otpadu, ne postoje postrojenja za biološki tretman komunalnog otpada. U Srbiji ne postoji razvijena infrastruktura za upravljanje otpadom. Odlaganje otpada na deponije je jedini način organizovanog postupanja sa otpadom. Veliki broj opština/gradova ima sopstvenu deponiju - smetlište. Kapacitet postojećih deponija – smetlišta je u većini opština već popunjen, dok većina deponija ne zadovoljavaju ni minimum tehničkih standarda. Srbija je podeljena na 26 regiona za upravljanje otpadom.

Podaci o količinama i sastavu komunalnog otpada u Srbiji i većim gradovima u Srbiji, dobijeni su u okviru istraživanja „Utvrđivanje sastava otpada i procene količine u cilju definisanja strategije upravljanja sekundarnim sirovinama u sklopu održivog razvoja Republike Srbije” (FTN, 2009). Najveći udeo u komunalnom otpadu u Srbiji čine biorazgradivi i baštenski otpad oko 48%, zatim slede fini elementi 8,70%, karton i papir 9,60%, plastika 12,30%, staklo 4,10%, ostalo 23,70%, slika 10. Na osnovu iznetog možemo zaključiti da prema morfološkom sastavu otpada Srbija se može svrstati u zemlje sa srednje visokim prihodima po glavi stanovniku (World Bank, 2012).



*Slika 10: Prosečni morfološki sastav komunalnog otpada u Srbiji (FTN, 2009)*

U okviru izveštaja, čiji cilj je procena budućih količina i sastava komunalnog otpada u Srbiji od 2014.-2030. godine, očekuje se da će u Srbiji 2030. godine biti ukupno 3.120.105 tona komunalnog otpada (IMG, 2014). Posmatrano sa aspekta morfološkog sastava otpada, do 2030. godine smanjiće se udeo organske frakcije sa 48% na 40%, dok će se udeo papira i plastike povećati na 11% odnosno 15%. Metal i staklo će se povećati na 2,4% odnosno 6,6%. Procenjeni morfološki sastav otpada u Srbiji ukazuje na buduću ekonomski rast Srbiji, i smanjenje količine biorazgradivog otpada, odnosno povećanje količine ambalaže i ambalažnog otpada.

Oblast upravljanja otpadom u Srbiji je nerazvijena. Veliki problem predstavlja nepostojanje adekvatnog tretmana otpada, što je potrebno promeniti uvođenjem adekvatnih tehnologija za tretman otpada, povećanjem stepena reciklaže i ponovnog iskorišćenja otpada, pri čemu se dobija energija. Sa druge strane, otpad se odlaže na deponije koje nisu u skladu sa minimumom tehničkih standarda čime negativno utiču na životnu sredinu kao i zdravlje stanovništva. Jedan od razloga lošeg stanja u oblasti upravljanja otpadom je nedostatak finansijskih sredstava za izgradnju adekvatne infrastrukture.

### **1.2.2.1 Upravljanje otpada u regionu Novog Sada**

Novi Sad je drugi po veličini grad u Srbiji, sa oko 350.000 stanovnika i površinom od 701, 7 km<sup>2</sup>. Istovremeno Novi Sad predstavlja jedan od 26 regionalnih centara za upravljanje otpadom, definisanih Strategijom upravljanja otpadom. Grad Novi Sad sa opštinama Bačka Palanka, Bački Petrovac, Beočin, Žabalj, Srbobran, Temerin i Vrbas oformio je region za upravljanje otpadom koji ima ukupno 510.522 stanovnika.

Na teritoriji regiona Novog Sada prema merenjima iz 2008. ukupno se generisalo 189.000 tona komunalnog otpada, odnosno 1,16 kg po stanovniku dnevno (FTN, 2009).

Novi Sad, kao drugi najveći grad u Srbiji, predstavlja reprezentativni uzorak po kome funkcioniše većina sistema upravljanja otpadom u Srbiji. Upravljanje otpadom u Novom Sadu je pod ingerencijom Javnog komunalnog preduzeća „Čistoća“. Ovo preduzeće se bavi sakupljanjem, transportom i deponovanjem otpada. Otpad ne podleže nikakvom prethodnom tretmanu, već se kao takav direktno deponuje. U Novom Sadu postoji postrojenje za primarnu separaciju otpada, kapaciteta 24.000 tona godišnje, čiji kapaciteti su slabo iskorišćeni.

Deponija se nalazi u neposrednoj blizini grada. Njena površina (telo deponije), nije adekvatno obezbeđena, fizički izolovana od zemljišta, i time direktno i indirektno doprinosi ugrožavanju životne sredine i zdravlja stanovništva. Negativni uticaji između ostalog mogu predstavljati kontaminacija podzemnih i površinskih voda procednim vodama sa deponije koje sadrže teške metale, čime se direktno ugrožava životna sredina, a indirektno utiče na zdravlje stanovništva, nekontrolisane eksplozije (požari) kao posledica nepostojanja pred-tretmana otpada, direktni uticaj na zdravlje stanovništva preko lanaca ishrane, emisija deponijskog gasa u atmosferu i negativan uticaj na klimatske promene. Deponija na koju se otpad trenutno odlaže ne ispunjava minimum zahteva za odlaganje otpada na deponije, koji su propisani Direktivom o deponovanju otpada, kao i Pravilnikom o odlaganju otpada. Sa druge strane, kapacitet deponije je značajno iskorišćen.

Kao ni na nivou države, tako ni u regionu nije zastupljeno odvojeno sakupljanje ambalažnog i biorazgradivog otpada. U Novom Sadu postoji postrojenje za separaciju otpada, ali kapacitet iskorišćenja je veoma mali. Iskorišćavanje otpada u energetske svrhe postoji u cementarama dok postrojenje za spaljivanje otpada (insinerator) ne postoji u Srbiji.

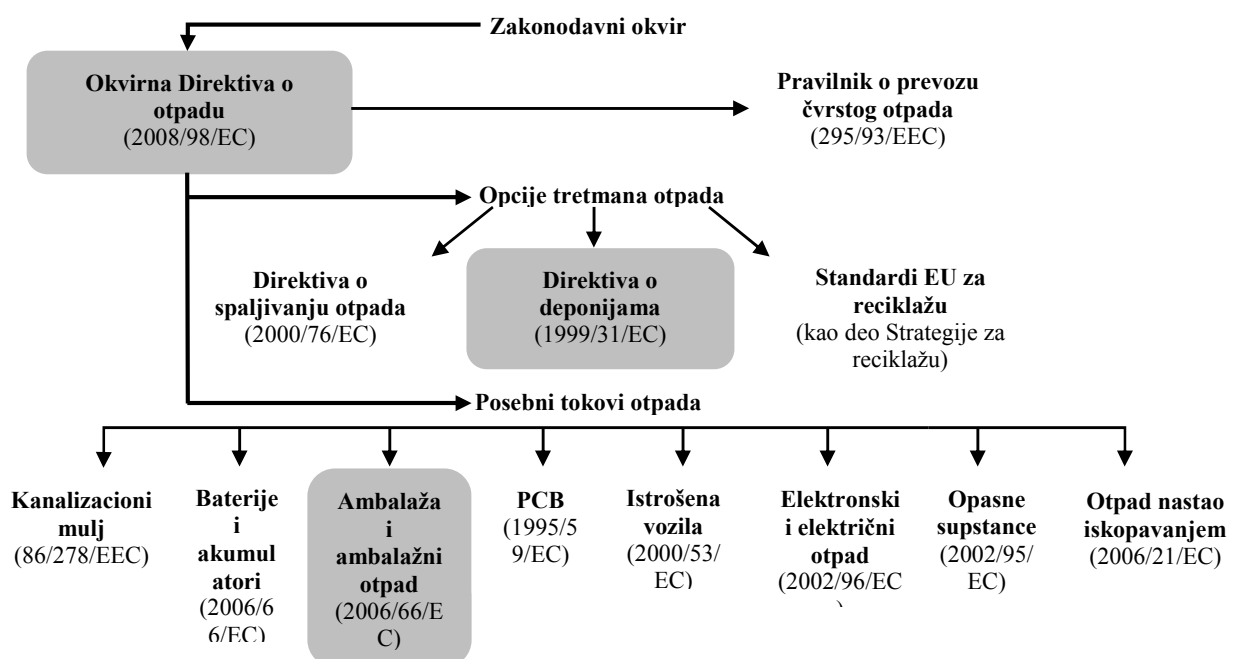
Trenutni sistem upravljanja otpadom u regionu Novog Sada, ne zadovoljava osnovne ciljeve upravljanja otpadom, a to je zaštita zdravlja stanovništva i zaštita životne sredine (Brunner i Fellner, 2007).

### 1.2.3 Zakonodavni okvir Evropske unije

Republika Srbija, nakon sticanja statusa kandidata za punopravnog člana EU, je u obavezi da u potpunosti uskladi i u nacionalno zakonodavstvo implementira i sprovodi zakonodavstvo Evropske unije, odnosno pravnu tekovinu EU (*acquis communautaire*). Procesu pridruživanja Srbije EU između ostalog podrazumeva transpoziciju i sprovođenje pravnih normi EU koje se odnose na zaštitu životne sredine, uključujući i segment koji se odnosi na zakonsku regulativu iz oblasti upravljanja otpadom.

Zakonodavstvo EU u oblasti upravljanja otpadom, može se podeliti u tri potkategorije, slika 11. Prva potkategorije je zakonodavni okvir kojim se uređuje oblast upravljanja otpadom. Drugu potkategoriju čine Direktive koje uređuju oblast tretmana otpada. Treću potkategoriju čine Direktive koje se tiču posebnih tokova otpada, odnosno dobara koja nakon upotrebe postaju posebni tokovi otpad.

Okosnicu politike upravljanja otpadom u Evropskoj uniji predstavlja Okvirna Direktiva o otpadu 2008/98/EC. Direktiva se fokusira na prevenciji nastajanja otpada i postavlja ciljeve koji će pomoći EU ka ostvarenju ciljeva koji se odnose na smanjenje količine generisanog otpada i povećanje stepena reciklaže otpada. Okvirna Direktiva 2008/98/EC, Direktiva o deponijama 1999/31/EC i Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu 1994/62/EC su tri ključne Direktive iz oblasti upravljanja otpadom, koje obavezuju zemlje članice da ispune konkretne ciljeve, koji se odnose na reciklažu komunalnog i ambalažnog otpada, smanjenje količina biorazgradivog otpada koji se odlaže na deponije. Ispunjenje ciljeva u pomenutim Direktivama uspostavljaju i „modeluju“ sistem upravljanja komunalnim otpadom u zemljama članicama, kao i zemljama koje su kandidati za članstvo.



Slika 11: Zakonodavni okvir EU (World Bank, 2011)

*Okvirna Direktiva EU o otpadu 2008/98/EC* uspostavlja hijerarhiju upravljanja otpadom, od prevencije kao najboljeg načina, preko ponovne upotrebe otpada i reciklaže, energetskog iskorišćenja otpada do deponovanja kao najmanje preporučljivog načina upravljanja otpadom, sa aspekta zaštite životne sredine i zaštite zdravlja (EC, 2008). Cilj Direktive je definisanje mera za sprečavanje i smanjenje štetnog uticaja koji nastaje generisanjem otpada na životnu sredinu i ljudsko zdravlje. Isto tako cilj Direktive je smanjenje upotrebe resursa i poboljšanje efikasnost korišćenja istih. Direktivom se definišu pojmovi vezani za upravljanje otpadom, izvršena je klasifikacija prema tipu otpada, klasifikacija u zavisnosti od načina tretmana otpada. Propisuje ciljeve vezano za ponovno upotrebu otpada i reciklažu:

- do 2015. godine uspostavljanje odvojenog sakupljanja otpada za najmanje papir, metal, plastiku i staklo
- do 2020. godine, reciklirati minimum 50% komunalnog otpada
- do 2020 reciklirati i na drugi način iskoristiti neopasan građevinski otpad i otpad od rušenja, minimum 70% otpada od rušenja

*EU Direktiva o deponijama 1999/31/EC* odnosi se na deponovanje otpada (EC, 1999). Cilj Direktive je definisanje mera, uputstava i smernica, u cilju sprečavanja ili smanjenja u meri u kojoj je moguće, štetnih efekata deponija otpada na životnu sredinu, na površinske i podzemne vode, zemljište, vazduh i ljudsko zdravlje, definišući stroge operativne i tehničke uslove deponovanja otpada, tokom celog životnog ciklusa deponije. Smatra se da ova Direktiva u velikoj meri određuje budući izgled i način funkcionisanja sistema upravljanja otpadom.

Jedna od važnih odredbi Direktive, koja direktno utiče na izbor buduće tehnologije za tretman otpada, jeste postepeno smanjivanje količina biorazgradivog otpada koji se odlaže na deponije. Jedan od razloga za donošenje Direktive je stvaranje metana, tokom razgradnje organske materije u otpadu, koji ima 20 puta veći potencijal globalnog zagrevanja od ugljen-dioksida. Svaka zemlja članica obavezna je da donese nacionalnu strategiju smanjenja biorazgradivog otpada. Ciljevi se uspostavljaju u odnosu na količinu biorazgradivog komunalnog otpada generisanog 1995. godine, koja predstavlja referentnu godinu za EU-15. Referentna godina može biti i druga godina koja je dogovorena tokom pregovora o pristupanju EU.

Ciljevi propisani za smanjenje količine biorazgradivog otpada su:

- smanjenje na 75% od ukupne količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada koji je generisan 1995. godine do kraja 2006. godine;
- smanjenje na 50% od ukupne količine od ukupne količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada koji je generisan 1995. godine do kraja 2009. godine;
- smanjenje na 35% od ukupne količine od ukupne količine deponovanog biorazgradivog komunalnog otpada koji je generisan 1995. godine do kraja 2016. godine.

Države članice donose zakone i druge propise potrebne za usklađivanje s ovom Direktivom najkasnije dve godine od datuma njenog stupanja na snagu i dužne su u roku od najviše pet godina od datuma njenog stupanja na snagu da ispune prvi cilj, a to je smanjenje količine biorazgradivog otpada na 75% od ukupne količine koja se odlaže na deponiju. Za EU-11 rok za ispunjavanje ovog cilja je 2005. godina. Zemljama članicama, koje odlažu više od 80% svog otpada na deponije, svaki od navedenih ciljeva se može produžiti za još 4 godine.

Direktivom o deponijama se između ostalog uspostavljaju uslovi koje treba da ispune postojeće deponije prilikom svog rada. Iznad svega, države članice su u obavezi da odluče o budućnosti postojećih deponija na osnovu inspekcija i planova upravljanja deponijama. Deponije koje ne ispunjavaju tehničke kriterijume treba da bude modernizovane ukoliko je to moguće ili zatvorene. Tehnički zahtevi uključuju upravljanje procedim vodama, zaštitu zemljišta i vode, kontrolu gasova, i smanjenje neprijatnih mirisa i opasnosti. Prema Direktivi, naknade za odlaganje otpada na deponije treba da uključuju pored operativnih troškova, i procenjene troškove zatvaranja deponije i održavanje deponije nakon zatvaranja za period od najmanje 30 godina.

*Direktiva o spaljivanju otpada 2000/76/EC* ima za cilj da spreči ili da ograniči negativne efekte na životnu sredinu, posebno zagađenje od emisija u vazduh, zemljište, površinske i podzemne vode, i kao posledice rizika po zdravlje ljudi, od spaljivanja otpada (EC, 2000). Ovaj cilj biće ispunjen putem strogih uslova rada postrojenja i tehničkih uslova, uspostavljanjem graničnih vrednosti emisije prilikom spaljivanja otpada.

*Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu 94/62/EC* ima za cilj da uskladi nacionalne mere koje se odnose na upravljanje ambalažom i ambalažnim otpadom, s jedne strane, da spreči bilo kakav uticaj istih na životnu sredinu svih država članica, kao i trećih zemalja ili da smanji uticaj pružajući visok nivo zaštite životne sredine. U tom smislu ova Direktiva predviđa mere koje imaju za cilj, kao prvi prioritet, sprečavanje proizvodnje ambalažnog otpada, kao i dodatno osnovno načelo mere za ponovno iskorišćenje ambalaže, reciklažu i druge oblike iskorišćenja ambalažnog otpada i samim tim smanji konačno odlaganje otpada. Ova Direktiva obuhvata svu ambalažu koja se nalazi na tržištu u EU i ambalažni otpad, bilo da se koristi ili nalazi u industriji, komercijalnom sektoru ili u domaćinstvima, ili bilo kom drugom nivou, bez obzira na materijal koji se koristi.

U januaru 2004. godine, dopunom Direktive (2004/12/EC), usvojeni su novi ciljevi za ponovno iskorišćenje i reciklažu ambalažnog otpada, koji su podrazumevali da se ne kasnije od 2008. godine, između 55% kao minimum i 80% kao maksimum ambalažnog otpada mora reciklirati, kao i da se najmanje 60% mora ponovo iskoristiti ili termički tretirati uz iskorišćenje energije.

Takođe, ova Direktiva propisuje i ciljeve za reciklažu pojedinačnih ambalažnih materijala i ambalažnog otpada, uključujući:

- 60% od ukupne mase ambalaže od stakla, papira i kartona;
- 50% od ukupne mase ambalaže od metala;
- 22,5% od ukupne mase ambalaže od plastike;
- 15% od ukupne mase ambalaže od drveta.

*Direktiva o upotrebi kanalizacionog mulja u poljoprivredi 86/278/EEC* za cilj ima da reguliše upotrebu mulja iz kanalizacije u poljoprivredi na takav način da se spreči štetni uticaji na zemljište, vegetaciju, životinje i čoveka, čime se ohrabruje pravilna upotreba kanalizacionog mulja.

*Direktiva o istrošenim baterijama i akumulatorima 91/157/EEC* – cilj Direktive je približi zakone država članica na ponovno iskorišćenje i kontrolisano odlaganje istrošenih baterija i akumulatora koji sadrže opasne materije, definisane u Aneksu I Direktive.

*Direktiva o načinu odlaganju polihlorovanih bifenila (PCB) 96/59/EC – cilj Direktive je da ujednači zakone u državama članicama o kontrolisanom uklanjanju PCB, dekontaminacija ili odlaganje opreme koji sadrži PCB i/ili odlaganje korišćenih PCB kako bi se u smanjio negativna uticaj PCB na životnu sredinu i zdravlje.*

*Direktiva o istrošenim vozilima 2000/53/EC - za cilj, kao prvi prioritet, na prevenciju otpada iz vozila i uz to na ponovnu upotrebu, reciklažu i druge oblike ponovne upotrebe istrošenih vozila i njihove komponente kako bi se smanjilo odlaganje otpada , kao i na poboljšanje životne sredine performanse svih ekonomskih operatera (činilaca) uključenih u životni ciklus vozila i posebno operatere direktno uključene u tretman istrošenih vozila.*

*Direktiva o ograničenju upotrebe određenih opasnih supstanci u električnoj i elektronskoj opremi 2002/95/EC – cilj Direktive je da ograniči upotrebu opasnih supstanci u električnoj i elektronskoj opremi i da doprinese zaštiti zdravlja ljudi i ponovnoj upotrebi električne i elektronske opreme i odlaganju pri tome štiteći životnu sredinu.*

*Direktiva o električnom i elektronskom otpadu 2002/96/EC - kao prvi prioritet ove Direktive je prevencija nastajanja električnog otpada i elektronske opreme (WEEE), i pored toga, ponovna upotreba, reciklaža i drugi oblici ponovne upotrebe uz energetska iskorišćenje otpada, kako bi se smanjilo odlaganje otpada. Takođe potrebno je poboljšanje ekoloških performansi svih operatera uključeni u životni ciklus električne i elektronske opreme, na primer proizvođači , distributeri i potrošači i posebno operateri direktno uključeni u tretman otpada električne i elektronske opreme.*

#### **1.2.4 Zakonodavni okvir Srbije u oblasti upravljanja otpadom**

Oblast upravljanja otpadom zakonski je regulisana brojnim zakonskim i podzakonskim aktima koji su delom, a neki u potpunosti usklađeni sa Direktivama Evropske unije u oblasti upravljanja otpadom.

*Strategija upravljanja otpadom u periodu od 2010-2019. godine (Sl. Glasnik RS 29/2010) predstavlja osnovni dokument koji obezbeđuje uslove za racionalno i održivo upravljanje otpadom na nivou Republike Srbije. U okviru strategije razmatraju se potrebe za institucionalnim jačanjem, razvojem zakonodavstva, sprovođenjem propisa na svim nivoima, edukacijom i razvijanjem javne svesti. Upravo ovim dokumentom je definisano 26 regiona upravljanja otpadom i načini njihovog funkcionisanja.*

Strategija upravljanja otpadom:

- određuje osnovnu orijentaciju upravljanja otpadom za naredni period, u saglasnosti sa politikom EU u ovoj oblasti i strateškim opredeljenjima Republike Srbije;
- usmerava aktivnosti harmonizacije zakonodavstva u procesu približavanja zakonodavstvu EU;
- identifikuje odgovornosti za otpad i značaj i ulogu vlasničkog usmeravanja kapitala;
- postavlja ciljeve upravljanja otpadom za kratkoročni i dugoročni period;
- utvrđuje mere i aktivnosti za dostizanje postavljenih ciljeva

Generalni cilj Strategije upravljanja otpadom, jeste da se primenom osnovnih principa upravljanja otpadom na nacionalnom nivou, tj. rešavanjem problema otpada na mestu nastajanja, principom prevencije, odvojenim sakupljanjem otpadnih materijala, principom neutralizacije opasnog otpada, regionalnim rešavanjem odlaganja otpada i sanacijom smetlišta, implementiraju osnovni principi EU u oblasti otpada, i spreči dalja opasnost po životnu sredinu.

Oblast upravljanja otpadom definisana je *Zakonom o upravljanju otpadom* (Sl. glasnik RS 36/2009 i 88/10) koji uređuje vrste i klasifikaciju otpada, planiranje upravljanja otpadom, subjekte, odgovornosti i obaveze u upravljanju otpadom, upravljanje posebnim tokovima otpada, uslove i postupak izdavanja dozvola za preko-granično kretanje otpada, izveštavanje, finansiranje upravljanja otpadom, nadzor i druga pitanja od značaja za upravljanje otpadom. Upravljanje otpadom je delatnost od opšteg (javnog) interesa, a podrazumeva sprovođenje propisanih mera za postupanje sa otpadom u okviru sakupljanja, transporta, skladištenja, tretmana i odlaganja otpada, uključujući nadzor nad tim aktivnostima i brigu o postrojenjima za upravljanje otpadom posle zatvaranja.

Planiranje upravljanja otpadom zakonski je regulisano sledećim planskim dokumentima :

- 1) strategijom upravljanja otpadom;
- 2) nacionalnim planovima za pojedinačne tokove otpada;
- 3) regionalnim planovima upravljanja otpadom;
- 4) lokalnim planovima upravljanja otpadom;
- 5) planom upravljanja otpadom u postrojenju za koje se izdaje integrisana dozvola;
- 6) radnim planom postrojenja za upravljanje otpadom.

*Zakon o ambalaži i ambalažnom otpadu* (Sl. glasnik RS 36/2009) usklađen je sa zakonodavstvom EU iz ove oblasti, njegov osnovni cilj je smanjenje generisanih količina ambalažnog otpada i podsticanje na upotrebu recikliranih materijala, kako bi se smanjila količina deponovanog otpada. Konkretni nacionalni ciljevi koji se odnose na ponovno iskorišćenje i reciklažu ambalažnog otpada definisani su u okviru *Uredbe o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2010. do 2014. godine* (Sl. glasnik RS 88/2009). Prema Izveštaju o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom za 2012. godinu, postavljeni nacionalni ciljevi za reciklažu su ispunjeni uz dostignut nivo reciklaže ambalažnog otpada od 19,95%.

*Zakon o energetici* (Sl. glasnik RS, 145/2014) između ostalog, definiše korišćenje obnovljivih izvora energije, tipove obnovljivih izvora energije kao što je biomasa čiji biorazgradivi deo može biti industrijski i komunalni otpad. Zakon definiše energetske subjekte koji mogu steći status povlašćenog proizvođača električne energije, uključujući elektrane na otpad.

*Uredbom o odlaganju otpada na deponiju* (Sl. glasnik RS 92/2010), započeto je usklađivanje sa Direktivom Evropske unije o deponovanju. Uredba je doneta u skladu sa odredbama EU Direktive, čiji osnovni cilj je smanjenje količina biorazgradivog komunalnog otpada koji se

deponuje. Za sada u Srbiji nije definisana strategija smanjenja količina biorazgradivog komunalnog otpada koji se odlaže na deponije. Referentna godina za smanjenje količina biorazgradivog otpada koja se odlaže na deponiju, je 2008. godina, pri čemu krajnji cilj je potrebno dostići 2030. godine i smanjiti ukupnu količinu za 65% od ukupne količine generisanog biorazgradivog otpada (IMG, 2014).

*Pravilnikom o uslovima, načinu i postupku upravljanja otpadnim uljima* (Sl. glasnik RS br. 71/2010) propisuju se uslovi, način i postupak upravljanja otpadnim uljima koja su neupotrebljiva za svrhu za koju su prvobitno bila namenjena. Odredbe ovog pravilnika ne odnose se na upravljanje otpadnim uljima koja sadrže halogene, polihlorovane bifenile (PCB), polihlorovane terfenile (PCT) ili pentahlorofenole iznad 50 mg/kg/ulja.

*Pravilnik o uslovima i načinu sakupljanja, transportu, skladištenju i tretmanu otpada koji se koristi kao sekundarna sirovina ili za dobijanje energije* (Sl. glasnik RS br. 98/2010 ) bliže propisuju uslove i način sakupljanja, transporta, skladištenja i tretmana otpada koji se koristi kao sekundarna sirovina ili za dobijanje energije .

*Pravilnik o načinu i postupku upravljanja istrošenim baterijama i akumulatorima* (Sl. glasnik RS br. 86/2010 ) bliže propisuje sadržinu i izgled oznaka na baterijama, dugmastim baterijama i akumulatorima prema sadržaju opasnih materija, način i postupak upravljanja istrošenim baterijama i akumulatorima, kao i uređajima sa ugrađenim baterijama i akumulatorima .

*Pravilnik o načinu i postupku upravljanja otpadnim gumama* (Sl. glasnik RS, br. 104/2009 i 81/2010 ) bliže propisuje način i postupak upravljanja otpadnim gumama.

*Uredba o vrstama otpada za koje se vrši termički tretman, uslovima i kriterijumima za određivanje lokacije, tehničkim i tehnološkim uslovima za projektovanje, izgradnju , opremanje i rad postrojenja za termički tretman otpada , postupanju sa ostatkom nakon spaljivanja* (Službeni glasnik RS, br. 102/10 ) utvrđuje vrste otpada za koje se vrši termički tretman, uslovi i kriterijumi za određivanje lokacije, tehnički i tehnološki uslovi za projektovanje, izgradnju, opremanje i rad postrojenja za termički tretman otpada, postupanje sa ostatkom nakon spaljivanja, kao i druga pitanja od značaja za rad postrojenja za termički tretman otpada.

*Uredbom o visini posebne naknade za podsticaj u 2015. godini* (Sl. glasnik RS, br. 05/2015) - Ovom uredbom utvrđuje se visina posebne naknade za podsticaj u 2015. godini, i ona iznosi 0,093 din/kWh koju u skladu sa zakonom plaćaju krajnji kupci uz račun za pristup prenosnom, odnosno distributivnom sistemu i posebno se iskazuje.



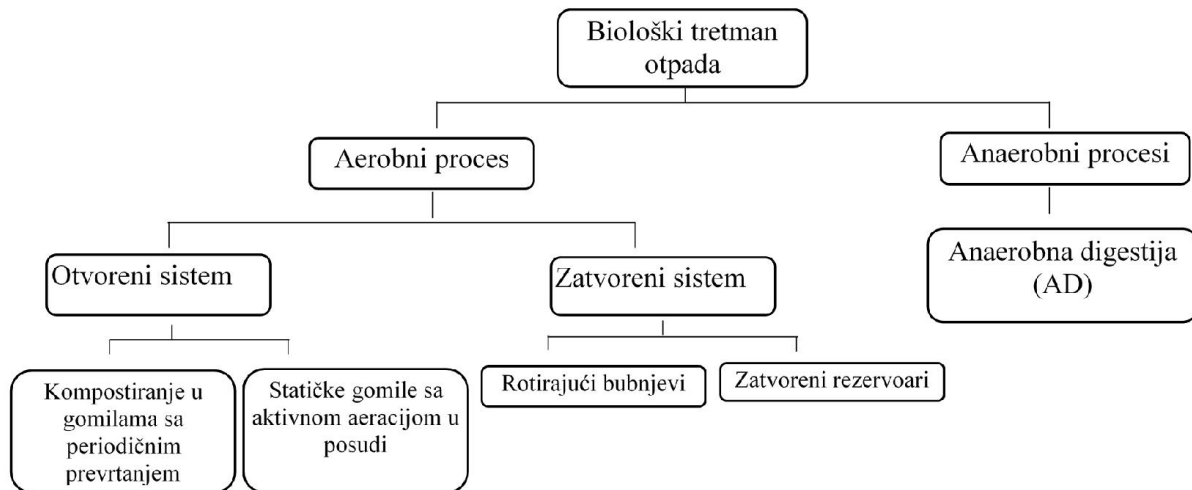
### **1.3 Pregled tehnologija za tretman otpada**

Tehnologije za tretman otpada uključuju mehaničke, termičke i biološke metode ili kombinacije navedenih metoda. Svrha tretmana otpada je ponovna upotreba reciklažnog otpada, iskorišćenje energije iz otpada ili poboljšanje karakteristika otpada pre daljeg rukovanja (uklanjanje nečistoća, mirisa otpada, smanjenje zapremine itd.) (Christensten, 2011).

- Mehanički tretman podrazumeva smanjenje veličine, sortiranje i sabijanje otpada i može biti zastupljen kao poseban tretman ili u kombinaciji sa termalnim ili biološkim tretmanom otpada. Mehanički tretman ima za cilj da promeni fizičke, ali ne hemijske karakteristike otpada.
- Termička obrada uključuje spaljivanje i pirolizu/gasifikaciju na visokim temperaturama uz potpuno ili delimično, sagorevanje otpada, što dovodi do promena u hemijskim i fizičkim karakteristikama otpada. Insineracija je sagorevanje sa viškom vazduhom donosi gotovo potpunu oksidaciju organskih ugljenika u ugljen dioksid. Tokom termalnih procesa proizvode čvrst ostatak, lebdeći pepeo i pepeo sa dna rešetke koji se moraju prečistiti.
- Biološki tretman podrazumeva kompostiranje, anaerobnu digestiju i njihovu kombinaciju. Kompostiranje je biološki aerobni proces kojim se lako razgradiv organski otpad pretvara u ugljen-dioksid i stabilnu organsku materiju. Čvrste ostatke čine kompost i ostatak nakon tretmana koji se odlaže na deponiju. Anaerobna digestija je biološka razgradnja organskog otpada u odsustvu kiseonika (anaerobnoj sredini), pri čemu se stvara metan i ugljen dioksid. Ostaci su tečnost ili čvrsta materija, koji se zavisno od kvaliteta, dalje obrađuju, odlažu na deponiju ili se koriste kao đubrivo. Gasovi koji se stvaraju tokom biološkog procesa se moraju kontrolisati.

#### **1.3.1 Biološki tretman otpada**

Biološki tretman podrazumeva kompostiranje, anaerobnu digestiju i njihovu kombinaciju. Kompostiranje je biološki aerobni proces pretvaranja lako razgradivog organskog otpada u ugljen-dioksid i stabilne organske materije. Anaerobna digestija predstavlja degradaciju organskog otpada u odsustvu kiseonika što dovodi do stvaranja biogasa (metana) i ugljen dioksida. Metan predstavlja gas koji se može koristiti kao izvor energije. Ostaci nakon biološkog tretmana mogu biti u tečnom ili čvrstom stanju, a u zavisnosti od njihovog kvaliteta, oni se dalje obrađuju, deponuju ili koriste kao đubrivo. Gasovi koji nastaju tokom procesa kompostiranja i anaerobne digestije moraju se kontrolisati (Christensen, 2011). Tipologija bioloških procesa tretmana otpada prikazana je na slici 12.



Slika 12: Tipologija biooloških tretmana prema tipu procesa (AWAST, 2004)

### 1.3.1.1 Kompostiranje

Kompostiranje se definiše kao kontrolisano bioološko aerobno prevođenje organske materije iz otpada u stabilniji materijal (AWAST, 2004)(DEFRA, 2013b). Prema Zakonu o upravljanju otpadom kompostiranje se definiše kao tretman biorazgradivog otpada pod dejstvom mikroorganizama, u cilju stvaranja komposta, u prisustvu kiseonika i pod kontrolisanim uslovima. Krajnji produkti kompostiranja su ugljen - dioksid, voda, minerali i stabilizovana organska materija koji ne utiču štetno na životnu sredinu.

Tehnologija kompostiranja najčešće podrazumeva sledeće 3 faze :

- 1) Priprema sirovine
- 2) Proces kompostiranja
- 3) Sazrevanje komposta

Priprema sirovine obično podrazumeva usitnjavanje kako bi se poboljšala mikrobiološka aktivnost i izdvajane inertnih materijala (staklo, plastika, metali, itd.). Priprema organske frakcije otpada predviđene za kompostiranje se može sprovesti na dva načina :

- Mehanički - podrazumeva usitnjavanje, koju prati separacija inertnih materijala pomoću sita, magnetnom separacijom, ili nekom drugom operacijom.
- Bioološki i mehanički - U kombinovanom procesu, otpad se mehanički tretira kao i u prethodnom načinu, a potom se prenosi u bioološki reaktor na period od 1 do 3 dana.

Nakon pripreme sirovine vrši se kompostiranje. U tom trenutku prisutni mikroorganizmi aktivno razlažu otpad. U ovoj fazi dolazi do najintenzivnijih fizičkih i hemijskih promena otpada. Kontrola prerade komposta se zasniva na homogenizaciji i mešanju otpada zatim aeracija i često dodavanje vode (navodnjavanje), što omogućava stabilizovanje organske

materije, bogate huminskim supstancama i hranljivim materijama. Tehnologije kompostiranja bez aeracije su jeftinije od tehnološki naprednijih sistema sa dovodenjem vazduha i regulisanjem temperature procesa. Postrojenja za kompostiranje mogu preraditi više od 100 000 tona biorazgradivog otpada godišnje, ali obično kapacitet postrojenja je oko 10 000 do 30 000 tona godišnje (EEA, 2002).

Proces kompostiranja u gomilama započinje kada je omogućen protok (difuzija) kiseonika i prisustvo suve materije koja omogućava mikrobnj rast. Temperatura biomase se povećava usled mikrobne aktivnosti i izolacionih svojstava nagomilanog materijala. Temperatura često dostiže 65-75 °C u roku od nekoliko dana, a zatim opada polako. Visoka temperatura dovodi do eliminacije patogena i semena korova. U zavisnosti od sastava materijala otpada i primenjene metode kompostiranja, kompost može biti spreman nakon tri do 18 meseci. Proizvodi kompostiranja su čvrste materije u obliku komposta i ostataka; tečnosti u obliku procednih voda; gasa u obliku ugljen-dioksida, isparavanje vode i amonijaka. Jedinjenja sa neprijatnim mirisom, osim amonijaka se mogu generisati u slučaju nedostatka kiseonika (EEA, 2002).

Kompostiranje se može podeliti na četiri faze (Vujić i dr., 2012):

1. Mezofilna faza– predstavlja početnu fazu kada bakterije i gljive razlažu velike količine visoko energetskih, lako razgradivih jedinjenja poput šećera i proteina na temperaturama od 24-40 °C.
2. Termofilna faza- Organizmi adaptirani na više temperature, od 35 do 65°C počinju postepeno da dominiraju, razgradnja se ubrzava sve dok temperatura ne dostigne oko 62°C. U ovoj fazi se uništavaju patogeni organizmi, inhibiraju se semena korova i larve insekata. Mana temperatura većih od 70°C je da se ubijaju većina mezofila, a time izostaje i oporavak tih kultura nakon hlađenja.
3. Faza hlađenja (druga mezofilna faza )– U ovoj fazi aktivnost termofilnih organizama prestaje zbog nedostatka supstrata, temperatura počinje da opada. Za ovu fazu je karakteristično povećanje broja mikroorganizama koji degradiraju skrob i celulozu.
4. Faza sazrevanja - Tokom faze sazrevanja, kvalitet supstrata otpada. Obično se procenat gljivica povećava, dok broj bakterija opada. Formiraju se jedinjenja koja nisu dalje razgradiva kao što je kompleks lignin - humusa.

Obzirom da je proces kompostiranja biološki proces, podložan je brojnim faktorima spoljašnje sredine koji određuju tok razgradnje organske materije. Pošto su procesi biološke razgradnje veoma složeni, njihov detaljan tok je nepoznat, i bazira se na naučnim saznanjima o potrebnim uslovima za život mikroorganizama u otpadu odnosno kompostu (Christensen, 2011). Glavni faktori sredine koji utiču na kompostiranje su prisustvo nutrijenta, temperatura, pH vrednost, aeracija, vlaga i veličina frakcije materijala koji se kompostira, biorazgradivosti supstrata.

*Nutrijenti-* Odnos organskog ugljenika i ukupnog azota (C/N) je veoma važan za proces kompostiranja. Mikroorganizmi koriste ugljenik i azot za dobijanje energije i za sintezu novog ćelijskog materijala. Ako je količina ugljenika u odnosu na azot velika (visok odnos C /N), biološka aktivnost se smanjuje. Sa druge strane, ako je C/N odnos manji od 20:1 kompostiranje će biti inhibirano usled slabog snabdevanja energijom i azot će biti izgubljen u procednim

vodama i isparavanjem kao amonijak. Ako je odnos C / N otpada previsok , može se regulisati dodavanjem otpada sa povećanim sadržajem azota. Obrnuto , ako je C / N suviše nizak, može se dodati otpad sa većim sadržajem ugljenika (slama, drveni opiljci, piljevina, seckani papir). U optimalnom procesu, C/N se konstantno smanjuje, zbog biološke mineralizacije jedinjenja ugljenika i isparavanja CO<sub>2</sub>.

*Biorazgradivost* - Razgradnja organske materije tokom kompostiranja, merena kao procenat inicijalne mase isparljivih čvrstih materija koje se izgube, zavise od sastava sirovine, efikasnosti tehnologije, i dužine perioda kompostiranja uključujući i sušenje. Prilikom tipičnog procesa kompostiranja, hrana u otpadu se degradira više od 60%, biorazgradivi otpad i otpad iz dvorišta oko 50 %, a lignocelulozni biljnih materijala od 35-45%.

*Sadržaj vlage* - Količina neophodne vlage kreće se u opsegu 40 do 70 %. Obično je sadržaj vlage od 60 % u početnom materijalu zadovoljavajući. Da bi se izbegla inhibicija procesa mora se voditi računa da sadržaj vlage ne bude ispod 35-40 %. Premalo vlage znači ranu dehidraciju mase koja zaustavlja biološke procese, čime se dobija fizički stabilan, ali biološki nestabilan kompost. Prekomerna količina vlage ima tendenciju da začepi pore i sprečava razmenu gasova čime se favorizuju anaerobni procesi , što dovodi do sporijeg procesa i niskog kvaliteta finalnog proizvoda. Potrebno je održavati ravnotežu između potreba za vodom i razmenom gasova. U savremenim sistemima za kompostiranje , moguće je dodavati vodu tokom procesa .

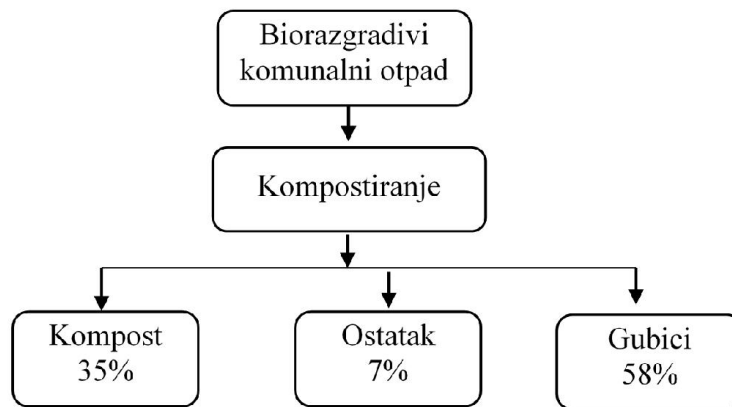
*Aeracija, sadržaj kiseonika i veličina frakcija materijala koji se kompostira* - Za materijale koji imaju stabilnu strukturu ili se ne mogu lako sabiti kao što je vlaknasti otpad, grančice i stabljike kukuruza, pogodna veličina frakcija je od 13 mm do 50 mm. Veličina frakcija biljne mase kao što su biljni ostaci , voće i trava , ne treba da bude manja od 50 mm. S druge strane , u zavisnosti od njihove razgradivosti, njihova maksimalna veličina može biti i 0,15 m , ili čak i više. Jedan od glavnih faktora na koji se može najviše uticati razvojem tehnologija i dizajnom sistema je snabdevanje kiseonikom. Dobrim projektovanjem sistema za kompostiranje kako bi proces bio uspešan, količina kiseonika može varirati od 15 do 20%, a količina CO<sub>2</sub> od 0,5 do 5%. Ako koncentracija kiseonika padne ispod 15%, anaerobni mikroorganizmi se aktiviraju i veoma brzo postaju dominantni, čime preovlađuju reakcije fermentacije i anaerobne razgradnje. Zato je važno da mikroorganizmi imaju konstantno snabdevanje kiseonikom čime bi se njihove metaboličke aktivnosti održale nepromenjene.

*Temperatura* - Većina sprovedenih studija pokazuje da optimalna temperatura tokom intenzivne razgradnje treba da bude oko 55 °C.

*pH* - Uglavnom sve organske materije koje imaju pH vrednost u opsegu od 3 do 11 se mogu kompostirati. Međutim, optimalan opseg pH je između 5,5 i 8,0. Bakterijama odgovaraju pH neutralni uslovi, dok gljivice se razvijaju bolje u blago kiselom okruženju.

Tokom procesa kompostiranja zapremina i masa organskog dela je smanjena i transformisana u stabilan proizvod - kompost koji se može koristiti za uređivanje zemljišta, poboljšavanje njenih karakteristika, takođe kao i za melioracije zemljišta (Hogg i dr., 2009). U procesu kompostiranja biorazgradivog komunalnog otpada sa aktivnom aeracijom supstrata, nastaje 35% komposta, 7% ostatka za deponovanje i 58% gubitaka (najvećim delom voda) (Alevridou i dr.,2011b; AWAST, 2001). Prema navodima Bilitewshi i dr. 1994, tokom procesa kompostiranja, 55%-65% biorazgradivog otpada se razgradi, 2-6% su ostaci za deponovanje

dok od 35% do 45% predstavlja kompost. Maseni bilans korišćen u okviru ovog rada, prikazan je slici 13. Ostaci nakon kompostiranja se mogu odložiti na deponiju ili se spaliti u postrojenju za insineraciju.



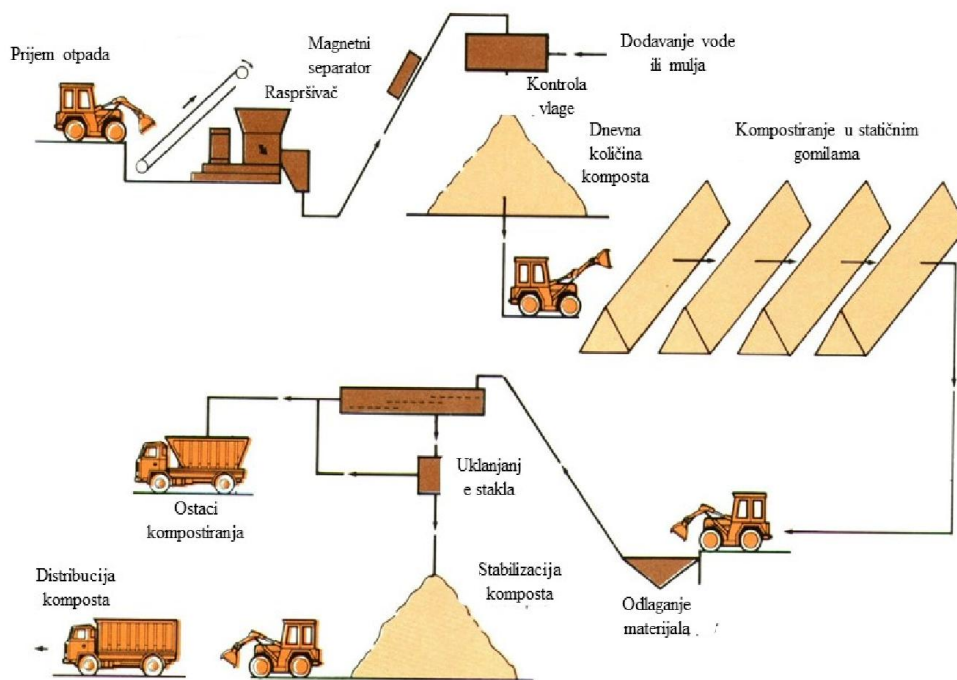
*Slika 13: Maseni bilans procesa kompostiranja (Alevridou i dr.,2011b)*

Tehnologije (metode) kompostiranja se mogu podeliti u dve grupe: kompostiranje bez dodatne aeracije i kompostiranje sa aktivnom aeracijom (EEA, 2002). U okviru kompostiranja bez dodatne aeracije razlikuju se kompostiranje u statičkim gomilama. U slučaju kompostiranja sa aeracijom razlikuju se kompostiranje sa statičkim gomilama i kompostiranje u kontinualnim diskretnim sistemima (posudama). Pored navedene podele, postoji podela kompostiranja na kompostiranje na otvorenom i kompostiranje u zatvorenim objektima.

U okviru otvorenog sistema kompostiranja razlikuje se (AWAST, 2004):

- a) Statičke gomile
- b) Statičke gomile sa aktivnom aeracijom
- c) Kompostiranje u gomilama sa periodičnim prevrtanjem (bez dodatne aeracije)

Kod otvorenog sistema kompostiranja izduvni gasovi iz procesa kompostiranja u većini slučajeva se oslobađaju u atmosferu bez prethodnog procesa uklanjanja neprijatnih mirisa, slika 14.



Slika 14: Kompostiranje u gomilama (otvoreni sistem)

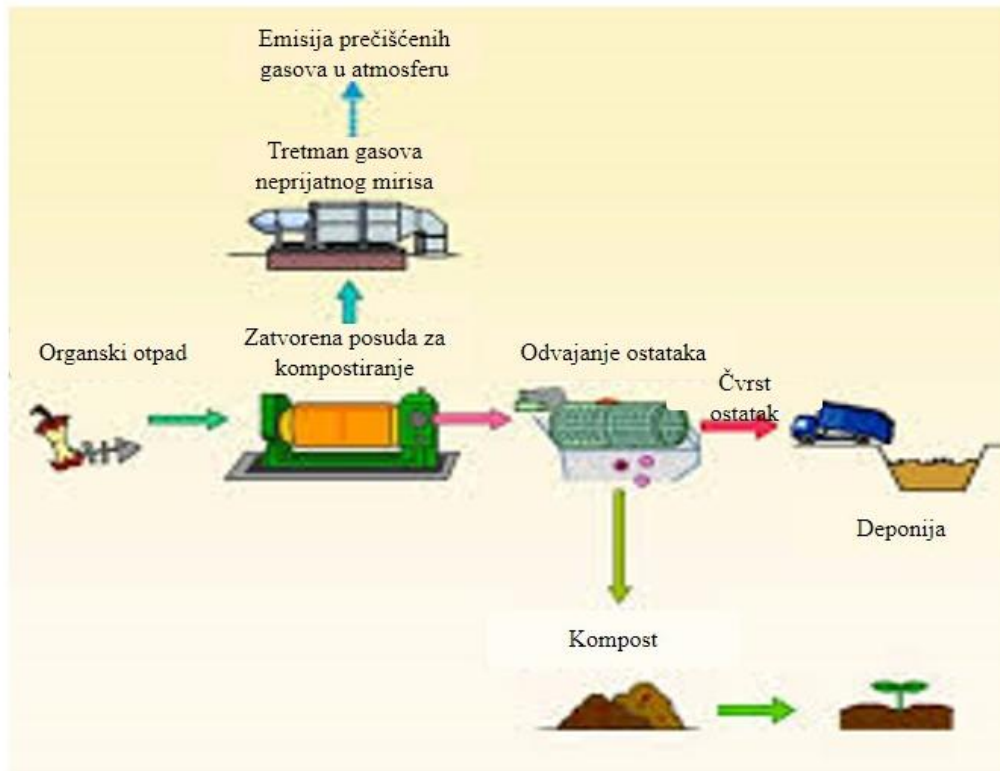
Kompostiranje u gomilama sa periodičnim prevrtanjem je metod koji je široko rasprostranjen za kompostiranje komunalnog otpada zbog jednostavnosti upravljanja. Visok stepen kompostiranja zahteva visoku frekvenciju mešanja jer je brzina razgradnje sirovine direktno proporcionalna frekvenciji mešanja. Upotrebom ovakvog metoda, proces kompostiranja može trajati od 2 meseca do jedne godine. Navedenom metodom ne mogu se kompostirati materije životinjskog porekla gde postoji mogućnost prisustva patogenih organizama ili organizama koji prenose bolesti. Glavna razlika između statične aerisane gomile i prethodnog sistema je to da se ove gomile mešaju ili prevrću. Proces kompostiranja traje 3 do 6 meseci.

U zatvorenom sistemu za kompostiranje, celokupan proces ili deo procesa odvija u zatvorenom reaktoru, slika 15. Glavna prednost zatvorenog sistema kompostiranja je da se gasovi od procesa kompostiranja se mogu kontrolisati i na taj način smanjiti emisija neprijatnih mirisa koji potiču od procesa kompostiranja. Zatvoreni sistemi za kompostiranje su sofisticirane jedinice u kojima se kompostiranje odvija unutar potpuno zatvorene komore. Faktori spoljašnje sredine se mehanički kontrolišu, u pojedinim slučajevima automatski.

Ovi sistemi obično koriste sistem kompostiranja u gomilama za sazrevanje i dele se na:

- a) Rotirajuće bubnjeve
- b) Kontinualne diskretne sisteme (posude)

Ostale tehnologije koje postoje u okviru zatvorenog sistema kompostiranja se baziraju na ove dve tehnologije.



Slika 15: Zatvoreni sistem kompostiranja (EPD, 2015)

Rotirajući bubnjevi omogućavaju kontinualno mešanje otpada. Bubnjevi su obično dugački cilindri sa nagibom kako bi se omogućilo kretanje materijala od početka ka izlazu. Snabdevanje kiseonikom se vrši kroz mlaznice vazdušne pumpe. Rotiranjem se omogućava da se nivo kiseonika održi na visokom i uniformnom nivou unutar bubnja. Ovaj tip reaktora se obično koristi za aktivnu fazu kompostiranja. Pod normalnim operativnim uslovima, reaktor se puni do 2/3 zapremine, vreme zadržavanja za prvu fazu kompostiranja je od 1 do 10 dana, lako biorazgradivi materijali mogu kompostirati za 2 do 3 dana. Posle ovog procesa materijal obično sazreva u kompostnim gomilama nekoliko nedelja.

Rezervoari su obično dugačke posude, u kojima se aeracija postiže putem eksternih pumpi koje uduvavaju vazduh kroz perforirano dno rezervoara. Mešanje materijala za kompostiranje se postiže mehanički npr. pokretnom prenosom trakom ili mešalicom sa lopaticama. Mešanjem se materijal homogenizuje i održava se poroznost materijala. Kompostiranje u rezervoaru traje od 6 do 28 dana, a potom sazreva u kompostnim gomilama od 1 do 2 meseca. Razlikujemo dva tipa kompostiranja u rezervoarima (bubnjevima)- vertikalni i horizontalni.

Jedna od glavnih prednosti kompostiranja je što krajnji produkti ovog procesa nisu štetni po životnu sredinu. Kompostiranje je rasprostranjeno u područjima koja su ekonomski slabije razvijena, obzirom da otpad u ovim zemljama sadrži u nekim slučajevima preko 80% organske materije (Christensen, 2011). U ekonomski razvijenim zemljama kompostiranje kao proces je zabeležio rast od 5,5 % godišnje (Eurostat, 2014). Tehnologija kompostiranja je prihvaćenija u javnosti i lakše ju je implementirati.

Kompostiranje tehnološki nije zahtevan proces, i samim tim finansijska ulaganja nisu velika. U nerazvijenim zemljama koriste se jednostavnije tehnologije kompostiranja, gde najveći deo procesa se obavlja ručno ili uz minimalnu obuku radne snage, dok u razvijenim zemljama se koriste tehnologije koje su sofisticiranije i skuplje. Postrojenja bez aeracije su kapaciteta od 2.000 tona godišnje do 100.000 tona. Kapitalni troškovi iznose od 300.000 € do 4.500.000 € u zavisnosti od kapaciteta postrojenja, odnosno operativni troškovi su od 130.000 € do 2.600.000 €. Postrojenja sa aeracijom su skuplja u odnosu na prethodno navedenu tehnologiju, i kreću se od 550.000 € po toni godišnje do 16.100.000 €, u zavisnosti od kapaciteta i tipa tehnologije koja se koristi. Operativni troškovi su u rangu od 270.000 €/toni godišnje do 5.400.000 € tona godišnje (EEA, 2002). U okviru zemalja Evropske unije, troškovi postrojenja za kompostiranje se značajno razlikuju, što najvećim delom zavisi od izbora tehnologije i zahteva država članica koji se tiču kvaliteta izlaza nastalog u toku kompostiranja. Kapitalni troškovi kompostiranja otvorenog tipa su najjeftiniji u Rumuniji 89 €/toni, dok su najskuplji u zemljama Beneluksa 110 €/toni, operativni troškovi su od 7 do 5 €/toni. Kapitalni troškovi postrojenja za kompostiranje zatvorenog tipa su od 159 €/toni do 221 €/toni, odnosno operativni troškovi su od 11 do 13 €/toni (ARCADIS, 2009).

Prednosti kompostiranja su između ostalog (EEA, 2002):

- Jednostavna tehnologija, jeftina i dugotrajna
- U proseku 40-45% od ukupne mase ulazne sirovine se može dalje koristiti
- Maksimalna iskorišćenost hranljivih sastojaka neophodnih za korišćenje u poljoprivredi (P, K, Mg i mikroelemenata)
- proizvodnja huminskih materija, korisnih mikroorganizama i sporo-razlagajućih azotnih bakterija potrebnih za pejzažno građevinarstvo
- eliminiše korov i patogene u otpadnom materijalu
- mogućnost kontrole procesa (osim u slučaju kompostiranja bez aeracije).

Nedostaci ove tehnologije su sledeći:

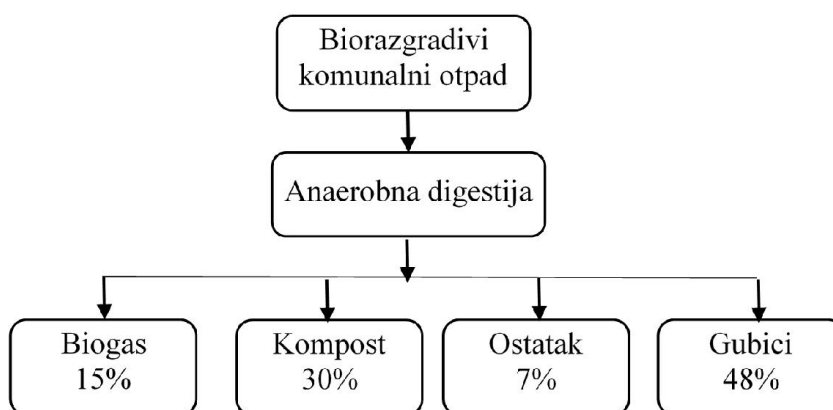
- kompost u nekim slučajevima sadrži teške metale, stoga je potrebno voditi računa o pred-tretmanu otpada za kompostiranje. Uglavnom većina zemalja u EU ima propisane vrednosti o sadržaju teških metala u kompostu.
- Tokom procesa kompostiranja su neprijatni miris i isparenja, koja je moguće kontrolisati i eliminisati između ostalog bio-filiterima.
- Biorazgradivi otpad mora biti razdvojen na mestu nastanka
- Tržište za prodaju komposta mora biti razvijeno
- Problem prenosnika bolesti, glodari, muve, galebovi, koji se mogu javiti tokom tretmana otpada.



### 1.3.1.2 Anaerobna digestija

Anaerobna digestija je biohemijski proces koji podrazumeva mikrobiološku razgradnju organske materije bez prisustva kiseonika. Tokom procesa anaerobne digestije nastaju dva produkta: energija – biogas (metan) i otpadna tečnost (efluent). Efluent, može biti u čvrstom stanju i u tečnom stanju sa vrlo malo suve materije što se nazva digestat. Digestat nije isto što i kompost osim ako izričito nije kompostiran u aerisanim uslovima (Christensen, 2011). Maseni bilans anaerobne digestije prikazan je na slici 16. Navedeni maseni bilans je korišćen prilikom razvoja modela, za tretman anaerobna digestija, izuzev vrednosti za biogas, koja je računata prema Hogg, 2012. Razlikuju se tri tipa (metode) anaerobne digestije: suvi metod, vlažni metod i ko-digestija (vlažni metod).

U okviru suve metode, organski otpad se usitjava i meša sa vodom pre ulaska u digester rezervoare (35% suve materije). Proces razgradnje se odvija na temperaturama od 25-55°C i dobija se biogas i biomasa. Biogas se prečišćava i koristi u gasnom motoru dok se ostatak nakon procesa anaerobne digestije odlaže na deponiju. Mokri metod podrazumeva odlaganje organskog otpada u rezervoar, gde se transformiše u smešu sa 12% suve materije. Dobijena smeša se prvo izlaže temperaturi od 70° C, pri pH 10 a onda hidrolizuje na 40°C pre nego što se ponovo doda voda. Smeša nastala u drugoj fazi dodavanja vode se u bio-filteru procesom digestije transformiše u biogas i otpadne vode. Otpadna voda se ponovo koristi u pulpi ili, na primer, može se koristiti kao tečno đubrivo. Vlajnasta frakcija se odvaja u kompost, a ostatak se odlaže na deponiju. Kompost obično zahteva dalju obradu. Prečišćeni biogas se može koristiti za proizvodnju električne i toplotne energije. Deo toplotne energije može se koristiti za održavanje stabilne temperature u toku hidrolize i procesima bio-filtera. Metodom ko-digestije koji je sličan metodi vlažne digestije, usitnjeni otpad se meša sa kanalizacionim muljem ili đubrivom iz farmi, u razmeri 1: 4 (EEA, 2002)



Slika 16: Maseni bilans anaerobne digestije (Alevridou i dr., 2011b)

U procesu anaerobne digestije razgradnja organske materije se odvija u 4 koraka (CIWMB, 2008):

- 1) Hidroliza – veliki proteinski makro molekuli, masti i polimeri ugljenih hidrata (kao što su celuloza i škrob) se procesom hidrolize razlažu do amino-kiselina, masnih kiselina, i šećera
- 2) Fermentacija – produkti hidrolize fermentišu u lako isparljive masne kiseline sa tri, četiri, i pet ugljenika u lancu
- 3) Acetogeneza – tokom ove faze bakterije prevode (oksidisu) proizvode iz faze fermentacije stvarajući sirćetnu kiselinu, ugljen dioksid i vodonik.
- 4) Metanogeneza - metanogeni organizmi konzumiraju acetat, vodonik, a neki delom i ugljen-dioksida za proizvodnju metana. Do produkcije metana može doći na dva načina. Prvi je konverzijom vodonika i ugljen-dioksida u metan, a drugi je konverzijom acetata u metan i ugljen-dioksid. Prosečni sadržaj metana u biogasu kreće od 40-70% (zapreminski).

Postrojenja za anaerobnu digestiju, međusobno se mogu razlikovati na osnovu nekoliko parametara: retenciono vreme (vreme zadržavanja) digestora (varira između 10 do 25 dana); sadržaj vlage u digestoru (suvi i vlažni digestori), temperatura procesa (dva operativna sistema su u upotrebi, termofilni i mezofilni) i broj faza procesa (jedna ili dve faze).

Primena vlažne digestije, pri čemu je potreban visok sadržaj vlage, predstavlja prednost prilikom tretmana otpada koji sadrži visok udeo plastike, ali utiče na smanjeni kvalitet komposta. Vlažna digestija sa druge strane dovodi do gubitka isparljivih komponenti, što kasnije utiče na smanjenu količinu proizvedenog biogasa. Vlažna digestija zahteva veću količinu ulazne energije za proces biološke razgradnje, do 50%, koja se koristi iz dobijenog biogasa, dok suva digestija koristi za sam proces od 20-30% energije.

Temperatura odvijanja procesa anaerobne digestije, utiče na količinu dobijenog biogasa, koliko dugo će trajati proces vrenja i koliki će biti stepen razgradnje. Mezofilne bakterije razvijaju se na temperaturama od 25 do 35 stepeni, i proces razgradnje teče sporije, količina biogasa je manja, ali proces razgradnje je stabilniji. Termofilne bakterije, se razvijaju na temperaturi od 55 do 60 stepeni, i one su mnogo efikasnije od termofilnih bakterija, stvaraju veću količinu biogasa, ali održavanje samog procesa ima mnogo veće troškove.

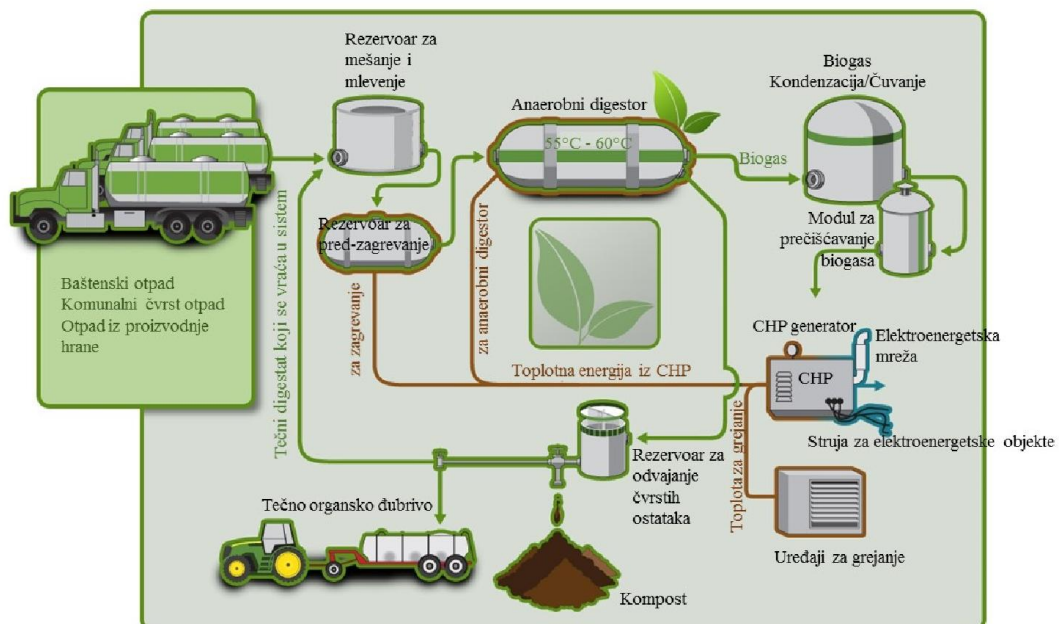
Jednostepena ili dvostepena postrojenja za anaerobnu digestiju se međusobno razlikuju u tome što, su u jednostepenom procesu anaerobne digestije obuhvaćene sve faze procesa, i smanjuje se efikasnost postupka, dok u dvostepenim postrojenjima faze anaerobne digestije su razdvojene, i proces je mnogo efikasniji. Vandevivere i dr. (2002) Verma (2002) kao najčešće tehnologije za tretman komunalnog čvrstog otpada navode sledeće:

- Jednostepeni kontinuirani sistem
- Dvostepeni kontinuirani sistem
- Tretman u posudama

Razlikuje se sedam elementa postrojenja za anaerobnu digestiju (Christensen, 2011)

- ✓ Prijem otpada (merenje otpada, vizuelna kontrola kvaliteta otpada)
- ✓ Predtretman otpada (uklanjanje neželjenih predmeta, usitnjavanje bio-otpada pre tretmana)
- ✓ Digestija otpada, zagrevanje otpada, mešanje sa mikroorganizmima
- ✓ Upravljanje gasom - sakupljanje, tretman, skladištenje i korišćenje dobijenog gasa
- ✓ Upravljanje digestatom – odvajanje tečne od čvrste faze, dalji tretman čvrstog ostatka
- ✓ Kontrola neprijatnih mirisa - funkcija ovog sistema je kontrola i minimizacija neprijatnih mirisa koji potiču od ne-tretiranog materijala , anaerobne digestije i drugih bioloških procesa u postrojenju

Prikaz tehnološkog procesa anaerobne digestije prikazan je na slici 17.



Slika 17: Anaerobna digestija (Tangelwood Organics, 2014)

Tipične vrednosti biogasa dobijene u toku procesa anaerobne digestije su od 70-180 m<sup>3</sup> po toni otpada sirovine, pri čemu se iz jedne tone komunalnog otpada može generisati 150 m<sup>3</sup> biogasa. Sadržaj metana u biogasu kreće od 50% do čak 75% , a optimalna vrednost je 60% . Ostatak je uglavnom ugljen-dioksid od 30-45%, sa tragovima elemenata drugih gasova, kao što su vodonik sulfid, amonijak i vodena para (Hogg, 2012; EC-IPPC, 2006a; Buekens, 2005). U ovom radu korišćena je minimalna vrednost od 70 m<sup>3</sup> biogasa po toni otpada, odnosno 140m<sup>3</sup> kao maksimalna vrednost. Sadržaj metana je 55% pri nižoj produkciji biogasa, odnosno 60% metana pri maksimalnoj produkciji biogasa. Energetska efikasnost postrojenja za anaerobnu digestiju sa mogućnošću kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije je 30% i 70%, što je prikazano na tabeli 2 (Hogg, 2012).

Tabela 2: Energetski bilans postrojenja za anaerobnu digestiju (Hogg, 2012)

Parametri	Minimalne vrednosti	Maksimalne vrednosti
Produkcija biogasa	70 m <sup>3</sup> /t otpada	140 m <sup>3</sup> /t otpada
Udeo metana	55%	60%
Kalorijska vrednost biogasa	385 kWh/ toni otpada	840 kWh/ toni otpada
Generisana el. energija (30% efikasnost)	116 kWh/ toni otpada	252 kWh/ toni otpada
Električna energija za izvoz (70% generisane električne energije)	81 kWh/ toni otpada	176 kWh/ toni otpada
Toplotna energija (70% efikasnost)	189 kWh/ toni otpada	412 kWh/ toni otpada
Toplotna energija za izvoz (80% od ukupno dobijene)	151 kWh/ toni otpada	329 kWh/ toni otpada

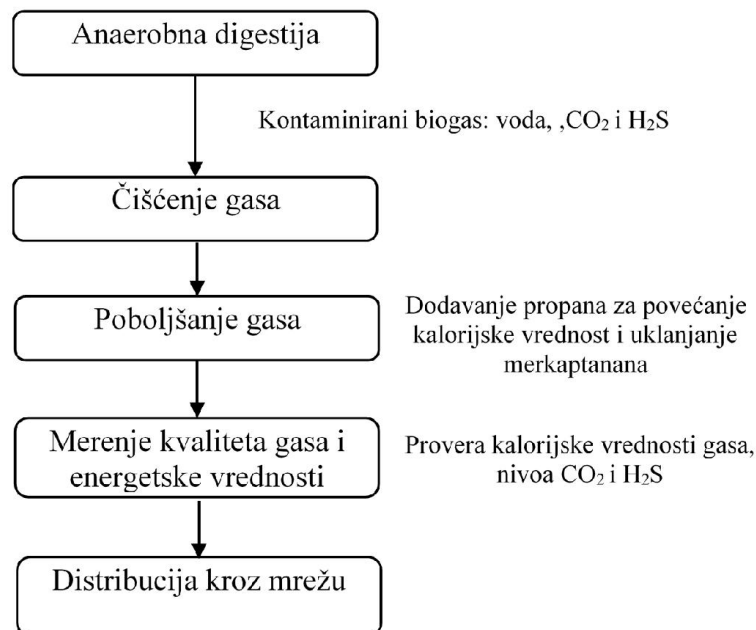
U okviru modela razvijenog u ovom radu korišćene su minimalne vrednosti date u tabeli 2.

U praksi se najčešće biogas koristi u sledeće svrhe:

- Proizvodnja toplotne energije - najjednostavnija primena biogasa pri čemu se direktno spaljuje u kotlu za internu upotrebu toplote u postrojenju ili lokalnoj toplotnoj mreži. Ovakva upotreba je moguća u manjim postrojenjima kada je cena daljeg tretmana previsoka.
- Proizvodnja toplotne i električne energije – pred-tretman za ovu svrhu podrazumeva uklanjanje vode i hidrogen sulfata. Nakon toga se gas može koristiti u standardnom gasnom motoru.
- Proizvodnja goriva za vozila - da bi se gas mogao koristiti za pokretanje vozila potrebno je da ima viši udeo metana nego što se dobija anaerobnom digestijom. Stoga se iz njega pored vode i vodonik sulfida izdvaja i ugljen dioksid da bi se postigao udeo metana od 95%.
- Korišćenje biogasa umesto prirodnog gasa - zahteva se još veći udeo metana u odnosu na njegovu primenu u vozilima. Ovakav tretman je izuzetno skup i isplativ je u retkim slučajevima.

Dobijanje energije iz biogasa je energetski efikasno i ne šteti životnoj sredini zbog niskih emisija polutanata. Najčešće se biogas koristi u ko-generaciji električne i toplotne energije. Nusproizvod digestije (digestat) je bogat azotom i u većini slučajeva (u zavisnosti od porekla sirovine) se može koristiti u poljoprivredi za đubrenje zemljišta. Ova postrojenja ne moraju biti velikog kapaciteta, pa su pogodna za zemlje u razvoju. Kao i kod kompostiranja ova tehnologija je prihvaćena od javnosti.

Pored dobijanja električne i toplotne energije iz biogasa, iz biogasa se može dobiti i čist gas, prethodnim tretmanom, koji se kao takav može distribuirati u mrežu (ARCADIS, 2009). Na slici 18 prikazan je put dobijanja gasa iz biogasa za korišćenje u distributivnoj mreži.



Slika 18: Prečišćavanje biogasa za dalju distribuciju (ARCADIS, 2009)

Navedena tehnologija se ne koristi u svim zemljama Evropske unije. Uglavnom postrojenja za ovakav tretman postoje u Finskoj, Švedskoj i Francuskoj. Troškovi ovog postrojenja su određeni na osnovu troškova postrojenja koja su u upotrebi u Kanadi (8 postrojenja) i jedno u Švedskoj. U okviru ovog rada nije analizirana mogućnost korišćenja ovog postrojenja za tretman biološkog otpada jer i dalje ne postoji dovoljan broj podataka o pouzdanosti ove tehnologije za tretman otpada.

Digestat koji nastaje nakon anaerobne digestije je potrebno dalje tretirati. Sa digestatom se može upravljati na sledeći način:

- Tečni ostatak se može tretirati u postrojenju za tretman otpadne vode jer obično ima visoku koncentraciju amonijaka i/ili rastvorene organske materije.
- Insineracija ili odlaganje na deponiju.
- Kompostiranje i korišćenje komposta predstavlja najčešću opciju. Kada kvalitet komposta ne zadovoljava uslove za korišćenje u poljoprivrednoj proizvodnji, on se može koristiti za potrebe uređenja parkova, terena za golf i sl.
- Upotreba digestata u poljoprivrednoj proizvodnji bez prethodnog tretmana je moguća samo u nekim zemljama.

Prednosti procesa anaerobne digestije, bez obzira da li se radi o suvoj ili vlažnoj metodi su:

- ✓ Skoro 100% iskorišćenost hranljivih materija iz organske materije (azot, fosfor i kalijum)
- ✓ proizvodnja higijenskog đubriva bez rizika od širenja biljnih i životinjskih bolesti. Azot je pristupačniji za biljke posle digestije
- ✓ smanjenje neprijatnih mirisa, prilikom korišćenja na poljima u poređenju sa kompostom koji nije dobijen procesom anaerobne digestije
- ✓ CO<sub>2</sub> neutralna energija u obliku električne i toplotne energije
- ✓ supstitucija komercijalnih đubriva.

Nedostaci anaerobne digestije su:

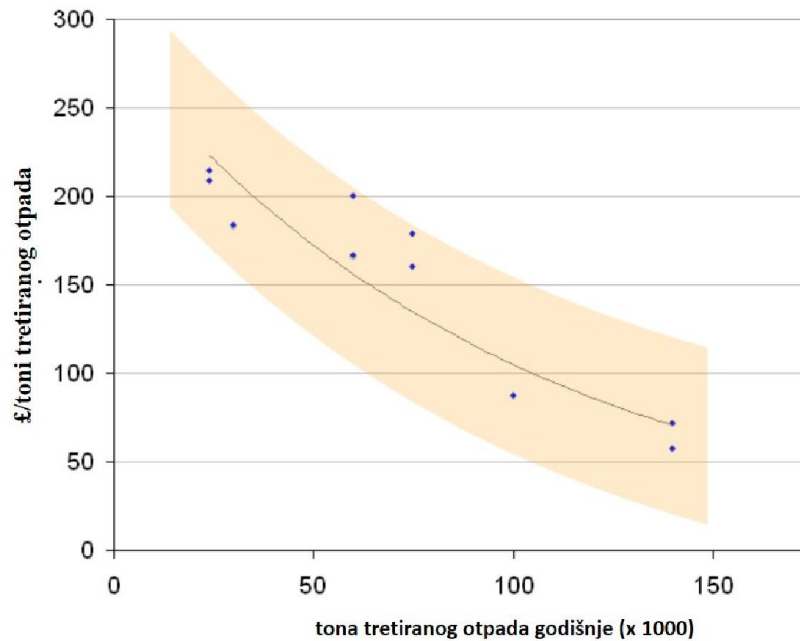
- ✓ otpad mora biti izdvojen na izvoru
- ✓ potrebna dodatna vlakna za kompostiranje ako je kompost namenjen za upotrebu u hortikulturi
- ✓ tržište za tečno đubrivo mora biti razvijeno, osim ako đubrivo ima vrlo nizak sadržaj hranljivih materija i može da se ispušta u javnu kanalizaciju
- ✓ emisija metana iz postrojenja i ne-spaljenog metana iz emisije gasova (1-4%) će doprineti procesu globalnog zagrevanja

Pored navedenih karakteristika anaerobne digestije, nedostatak ove metode je što ne može u potpunosti da razgradi lignin, glavni konstituent drveta. Sa druge strane ovaj materijal se može tretirati u insineratorima. Ovaj tretman je pogodan kad je u pitanju organski otpad koji ima visok sadržaj vlage odnosno vode, i kao takav se može tretirati direktno bez ikakvog prethodnog pred-tretmana. Anaerobna digestija je tehnološki zahtevnija i skuplja tehnologija od kompostiranja.

Troškovi postrojenja za anaerobnu digestiju zavise od velikog broja faktora, između ostalog (Hogg, 2002):

- Troškovi otkupa zemljišta
- Vrsta ulazne sirovine, što utiče na produkciju biogasa
- Izbor anaerobnog procesa odnosno tipa postrojenja
- Energetska efikasnost i iskorišćenje biogasa
- Uslovi za iskorišćenje digestata itd.

Na grafiku 1, prikazana je zavisnost troškova postrojenja i kapaciteta. Za kapacitete veće od 50.000 tona godišnje su manji troškovi postrojenja. Postrojenja od 15.000-30.000 tona godišnje, imaju iste troškove, i oni se značajno ne menjaju odnosno smanjuju do kapaciteta preko 50.000 tona, kada se postiže ekonomija obima, smanjivanje troškova po toni ulazne sirovine (toni tretiranog otpada).



Grafik 1: Kapitalni troškovi postrojenja za anaerobnu digestiju (GLA, 2011)

U zavisnosti od primenjene tehnologije, troškovi postrojenja se razlikuju. Kapitalni i operativni troškovi suve digestije kapaciteta od 5.000 tona do 20.000 tona godišnje su od 2,9 miliona € do 10 miliona €, odnosno 120.000 do 400.000 € godišnje. Kapitalni troškovi ko-digestije mokri metod kapaciteta od 20.000 do 100.000 tona godišnje, su od 3.7 miliona € do 12.5 miliona €, odnosno operativni troškovi su od 130.000 do 350.000 € godišnje (EEA, 2002).

Troškovi postrojenja za anaerobnu digestiju u okviru Evropske unije se međusobno razlikuju, ali najvećim delom ti troškovi zavise od tipa tehnologije i kapaciteta postrojenja. Između ostalog, troškovi značajno variraju zbog udela 25% radne snage u ukupnim kapitalnim troškovima i 30% u operativnim troškovima (ARCADIS, 2009). U Evropskoj uniji u upotrebi su anaerobna digestija sa mogućnošću proizvodnje električne energije, električne i toplotne energije i gasa. Cene ovih postrojenja su od 366 € po toni u Rumuniji za proizvodnju električne energije do 404 € u Danskoj, dok postrojenja sa mogućnošću kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije imaju troškove od 337 € po toni i 515 € po toni u pomenutim zemljama članicama. Postrojenje za proizvodnju gasa, pri čemu dobijeni gas može da se koristi u distributivnoj mreži, je u proseku skuplje za 50 € po toni tretiranog otpada.

### 1.3.2 Mehaničko-biološki tretman (MBT)

Mehaničko-biološki tretman predstavlja tretman otpada koji podrazumeva mehanički i biološki tretman komunalnog otpada. Prva MBT postrojenja su razvijena sa ciljem smanjenja negativnog uticaja deponovanja otpada na životnu sredinu (Christensen, 2011). MBT sistemi koriste se: 1) za izdvajanje otpada a zatim njihov tretman; ili 2) za tretman otpada, a zatim njegovo razdvajanje. U nekim slučajevima samo biološki tretman (sa osnovnim mehaničkim

odvajanjem ) tretira sav komunalni otpad pre odlaganja na deponiju. Iako postoje različiti dostupni biološki tretmani kao i mehanički tretman, ova dva procesa treba da budu optimizovani u smislu krajnjih produkata procesa, kako bi se na najbolji način mogla realizovati njihova tržišna vrednost (DEFRA, 2013a).

Postoji veliki broj različitih koncepata MBT tretmana koji su u upotrebi širom sveta. Većina postrojenja je zasnovana na kombinaciji mehaničkog i biološkog tretmana otpada.

Dve osnovne tehnologije mehaničko - biološkog tretmana su (Vujić i dr., 2012):

- a. Mehaničko - biološki predtretman, kojim se prvo iz otpada uklanja frakcija RDF-a, a zatim se ostatak otpada tretira biološkim tretmanom pre odlaganja na deponiju
- b. Mehaničko - biološka stabilizacija kojom se sav otpad kompostira, zatim suši, i nakon sušenja se izdvaja RDF frakcija. Vrlo mali ostatak nakon izdvajanja RDF-a se deponuje

Mehaničkom obradom se izdvaja RDF/SRF i reciklabilne sirovine iz mešanog otpada, koji se nakon toga tretira biološkim tretmanom. Osnovne mehaničke operacije za separaciju različitih materijala su: usitnjavanje, prosejavanje, i magnetna separacija.

Biološki tretman može biti (DEFRA, 2013a):

1. aeroban (kompostiranje) - može se koristiti za biološku stabilizaciju otpada ili tretman dela bogatog organskim sadržajem
2. anaeroban (digestija) - koristi se za tretman izdvojenog organskog otpada
3. bio sušenje - delimično kompostiranje mešanog otpada, koji nije razdvojen

Mehaničko-biološki tretman kao takav se uglavnom primenjuje kao biološka metoda, jer krajnji cilj je tretman biološkog otpada pre odlaganja na deponiju. Kao i kod prethodno opisanih bioloških tretmana, u zavisnosti od primene biološkog procesa, razlikovaće se sam tok procesa, kao i krajnji produkti. Krajnji produkt anaerobnog procesa, zahteva dalji tretman putem aerobnog procesa kako bi mogao da se deponuje. Aerobni procesi, su tehnološki manje zahtevni i kao takvi su našli primenu u zemljama u razvoju. U okviru MBT tretmana potrebno je voditi računa o emisiji gasova. MBT postrojenja su uglavnom opremljena uređajima za tretman gasova, pri čemu su emisije u atmosferu zakonski određene. U toku aerobnog procesa, potrebno je dodavati vodu, stoga je potrebno voditi računa o otpadnim vodama koje se generišu, i na adekvatan način ih tretirati.

#### **1.4 Termički tretman otpada**

Termički tretman uključuje spaljivanje otpada i pirolizu/gasifikacija na visokim temperaturama, uz potpuno ili delimično, sagorevanje otpada, što dovodi do promene hemijskih i fizičkih karakteristika otpada.

Insineracija je sagorevanje sa viškom vazduha i donosi gotovo potpunu oksidaciju organskih ugljenika u ugljen dioksid. Piroliza je delimična oksidacija tokom koje se postepeno povećava temperatura (sa unutrašnjim sagorevanjem) što rezultira stvaranjem piroliznog gasa.



Gasifikacija je proces koji se odvija na visokoj temperaturi sa dodatnim zagrevanjem otpada, a kao rezultat je oslobađanje gasova sa visokom kalorijskom vrednošću. Tokom termičkog tretmana otpada nastaju gasovi koji se moraju dodatno tretirati i čvrsti ostatak, pepeo (Christensen, 2011).

Spaljivanje otpada je toplotna konverzija otpada sa viškom vazduha. U toku procesa oslobađa se energija, čvrst ostatak kao i dimni gasovi koji se emituju u atmosferu (Christensen, 2011). Postoji nekoliko vrsta termičkih procesa za tretman otpada, spaljivanje otpada (insineracija), gasifikacija, piroliza, plazma arc tehnologija itd. Gasifikacija i piroliza su napredne tehnologije za spaljivanje (ATT) otpada, i još uvek nisu u potpunosti razvijene za komercijalnu upotrebu, za razliku od insineracije.

Insineracija i napredne tehnologije za spaljivanje otpada nude mogućnost tretmana otpada pri čemu se može dobiti energija. Ove tehnologije se razlikuju u načinu tretmana otpada i iskorišćenja dobijene energije, insineracija direktno oslobađa energiju iz otpada, dok piroliza i gasifikacija stvaraju sekundarne proizvode (gas, tečni ili čvrst) od kojih se kasnije može dobiti energija (DEFRA, 2008b).

Spaljivanje obično podrazumeva sagorevanje netretiranog čvrstog komunalnog otpada u prisustvu kiseonika na temperaturi od 850°C i više pri čemu se otpad pretvara u ugljen-dioksid i vodu. Nesagorljive materije (npr. metali, staklo) ostaju kao deo čvrstog ostatka (pepeo) koji sadrži i malu količinu rezidualnog ugljenika. Spaljivanje otpada uz dobijanje energije je dobro razvijena tehnologija za tretman komunalnog otpada. Razlikuju se spaljivanje na pokretnoj rešetki, spaljivanje u fluidizovanom sloju i spaljivanje u rotacionoj peći. Najzastupljenije je spaljivanje na pokretnoj rešetki. Spaljivanje otpada se vrši se na temperaturi od 850°C minimum 2 sekunde. (EEA, 2002). Veliki insineratori pored pokretne rešetke imaju i rotacione klinove kako bi se poboljšala efikasnost spaljivanja otpada. Lebdeći pepeo nastao tokom sagorevanja, se odvodi u poseban deo gde se sakuplja, a oslobođena energija se koristi za proizvodnju toplotne i električne energije. Pored insineratora sa pokretnom rešetkom koriste se i insineratori sa fluidizovanim slojem, koji zamenjuje rešetku za transport otpada na kome se nalazi pesak. Sagorevanje otpada se vrši uduvavanjem vazduha ispod peska ka gore.

Razlike između insineracije sa pokretnom rešetkom i insineracije u fluidizovanom sloju su:

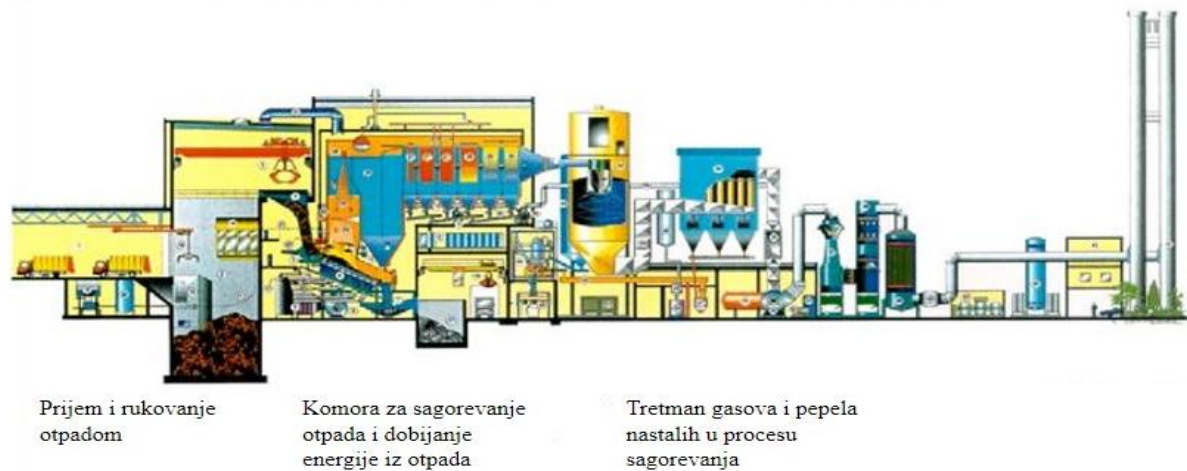
- Fluidizovani sloj je osetljiviji na kabasti otpad, dok je manje osetljiv na promene kalorijske vrednosti otpada
- Klinker iz insineratora sa fluidizovanim slojem je inertan, i sadržaj nesagorljivih materija je nizak, ali količina lebdećeg pepela je mnogo veća nego kod insineratora sa rešetkom
- Insineratori sa fluidizovanim slojem imaju veća kapitalna ulaganja (EEA, 2002).

Stvarni dizajn postrojenja i konfiguracija postrojenja se znatno razlikuju u zavisnosti od primenjene tehnologije. Bez obzira na vrstu tehnologije, postrojenja za spaljivanje otpada i dobijanje energije se sastoje iz sledećih elemenata (DEFRA, 2013b), slika 19:

- prijem otpada i rukovanje,
- komora za sagorevanje,
- postrojenje za dobijanje energije iz otpada,

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

- tretman gasova nastalih u procesu sagorevanja i
- tretman pepela i zagađenja nastalih iz uređaja kontrolu zagađenja vazduha.



*Slika 19: Postrojenje za dobijanje energije iz otpada (WtE) (GLA, 2008)*

Otpad koji se termički tretira potrebno je da zadovolji ključne parametre (EC-IPPC, 2006b):

- Hemijski sastav otpada
- Morfološki (fizički) sastav otpada i
- Termičke karakteristike otpada (kalorijsku vrednost, udeo vlage i sl.)

U cilju što efikasnijeg tretmana otpada potrebno je imati tačne informacije o količinama i sastavu otpada. Proces spaljivanja otpada je kontinuirani proces koji zahteva dostupne količine otpada za tretman, kako ne bi bilo zastoja u radu postrojenja. Isto tako, kalorijska vrednost otpada ne sme biti ispod neke minimalne vrednosti, sa sezonskim varijacijama u sastavu otpada ona iznosi 7MJ/kg (World Bank, 1999). U literaturi se može pronaći podatak da optimalna kalorijska vrednost komunalnog otpada potrebnog za tretman između 10-12MJ/kg (Christensen, 2011; EC, 2001).

U insineratorima može se tretirati mešani (nehomogeni) otpad i homogeni otpad, odnosno tehnologija omogućava da se u slučaju pokretne rešetke otpad spaljuje bez prethodnog tretmana.

U slučaju mešanog otpada nije neophodan predtretman otpada (ili je potreban u veoma maloj meri), i ovakvi sistemi se uglavnom zasnivaju na pokretnoj rešetki. Ovakva tehnologija je u širokoj upotrebi, ispunjava sve tehnološke norme i pogodna je za tretman različitih vrsta otpada po pitanju sastava i kalorijske vrednosti. Sistemi koji koriste rotirajuću peć takođe spadaju u ovu grupu, ali su manje zastupljeni.

Sagorevanje prethodno tretiranog i homogenizovanog otpada zahteva smanjivanje veličine otpada, seckanje i manuelno sortiranje, što je daleko komplikovanije. Zbog toga je ovakav tip tehnologije ograničen i manje prisutan u praktičnoj primeni (Vujić i dr, 2012; Christensen, 2011).

U zavisnosti od tipa kotla koji se koristi za sagorevanje razlikuje se i namena izlaza koji nastaju sagorevanjem. Oslobođena energija se može koristiti za:

- Toplu vodu za daljinsko grejanje.
- Procesne pare za različite vrste industrije.
- Za snabdevanje domaćinstava toplotnom i električnom energijom

Sa druge strane potrebno je voditi računa prilikom izbora krajnjeg proizvoda insineracije o potrebama i uslovima lokalnog energetskeg tržišta.

Prema analizi 50 insineratora u Evropi, koji imaju mogućnost kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije, prosečna efikasnost ovih postrojenja je 59,4% , dok od toga 49,3% energije može da se iskoristi za izvoz (prodaju). Energetski bilans insineratora sa kombinovanom proizvodnjom električne i toplotne energije dat je u tabeli 3. Vrednosti date u tabeli su korišćene prilikom analize potencijalnih prihoda od prodaje energenata u okviru modela.

*Tabela 3: Energetski bilans CHP postrojenja za insineraciju (EC-IPPC, 2006b)*

	MWh/toni otpada
Proizvodnja električne energije	0,382
Električna energija za prodaju	0,300
Proizvedena toplotna energija	0,944
Toplotna energija za prodaju	0,578

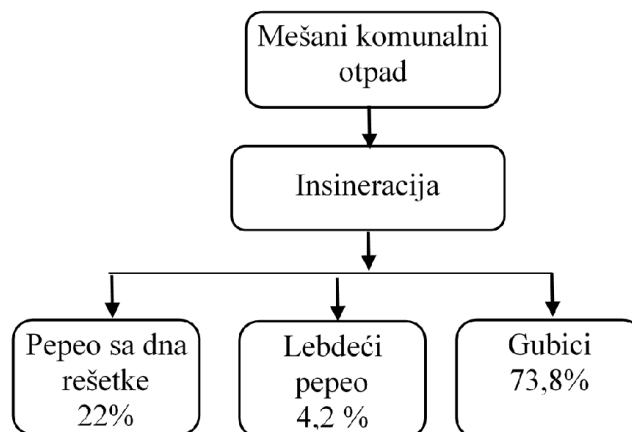
Pored energije koja se može iskoristiti u različite svrhe, kao proizvod insineracije nastaju između ostalog čvrste materije kao i emisije u atmosferu.

Tipični čvrsti produkti koji nastaju nakon procesa insineracije su pepeo sa rešetke, metalni opiljci (obojeni i neobojeni), ostaci lebdećeg pepela (DEFRA, 2013; EC-IPPC, 2006b; Christensen, 2011). U slučaju da je sistem za prečišćavanje gasova mokrim skruberom, kao proizvod nastaju i otpadne vode.

Nastali čvrst ostatak, čini 20-30% ukupne mase tretiranog otpada, od toga 1,2% čine opiljci Al i Fe koji se mogu reciklirati iz pepela preostalog na rešetki, 4,2% je lebdeći pepeo (APC) a 21% je pepeo sa dna rešetke (EC-IPPC, 2006b). Prema drugim izvorima (DEFRA, 2013b; CEWEP) sadržaj pepela sa rešetke je 80-85% mineralna frakcija, 10-15% metali, 3-5% neobojeni metali i nespaljeni deo manje od 3%.

Lebdeći pepeo, u sebi sadrži dioksine, teške metale, soli, i stoga se mora odložiti na deponiju opasnog otpada, uz prethodnu stabilizaciju ili imobilizaciju u inertnom medijumu kao što je cement. Razlikuju se tri metode/sistema za prečišćavanje gasova: suvi sistem, polu-suvi sistem, vlažni sistem. Izgled sistema za prečišćavanje gasova zavisi između ostalog od nacionalnih propisa npr. ne dozvoljava se stvaranje otpadnih voda tokom prečišćavanja (EEA, 2002).

Pepeo sa dna rešetke se može iskoristiti kao materijal u izgradnji različitih infrastrukturnih objekata npr. autoputeva, za asfaltiranje, zvučne barijere prilikom izgradnje puteva itd. Izdvojeni metali mogu se otkupiti po tržišnim cenama, 0,01-0,05 €/kg i 0,10-0,60 €/kg za obojene odnosno neobojene metale (EC-IPPC, 2006b). Maseni bilans procesa insineracije dat je na slici 20.



*Slika 20: Maseni bilans procesa insineracije (Alevridou i dr.,2011b)*

Maseni bilans procesa insineracije korišćen u modelu dat je na slici 20. U literaturi se mogu naći različiti podaci za maseni bilans insineratora. Pepeo sa dna rešetke koji ostaje nakon insineracije čini od 21% do 27% mase tretiranog otpada, lebdeći pepeo je 2% - 4%, dok ostatak predstavljaju otpadni gasovi. (EC-IPPC, 2001b; Alevridou i dr.,2011b; Brunner i Rechberger, 2004). U okviru modela, predviđeno je da se sav pepeo sa dna rešetke, 22% se detalje tretira, po ceni od 60 €/toni (EC-IPPC, 2006b), jer u Srbiji ne postoje uslovi za njegovo dalje korišćenje. Isto tako, metali koji mogu da se izdvoje iz pepela neće ulaziti u ekonomski bilans postrojenja kao potencijalni prihod. Lebdeći pepeo, 4,2% takođe se dodatno tretira po ceni od 160 € po toni (EC-IPPC, 2006b). Veoma mali deo ostatka nakon insineracije predstavljaju otpadne vode i filterski kolač, manje od 0,01 % (Stanisavljević, 2012).

Tretman otpada insineracijom beleži rast u EU, i on je povećan za 25,9 miliona tona tretiranog otpada, odnosno 81%, i ukupno se u EU-27 tretira 58,1 milion tona otpada, 24% ukupnog generisanog otpada, a po glavi stanovnika zabeležila je rast sa 67 kg po glavi stanovnika na 116 kg po glavi stanovnika (EUROSTAT, 2014). Očekuje se da će tretman otpada insineracijom i dalje beležiti rast kao vid tretmana otpada kako bi se ispunili ciljevi Direktive o deponovanju otpada.

Prednosti spaljivanja otpada su (EEA, 2002; EC-IPPC, 2006b):

- Veliki broj postrojenja u upotrebi, dostupnost i razvijenost tehnologije (odnosi se na insineratore sa rešetkom)
- Visok stepen energetske efikasnosti - do 85%, u slučaju kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije
- Celokupni komunalni otpad može da se tretira u ovim postrojenjima bez prethodnog tretmana kao i pojedine vrste industrijskog otpada
- Zapremina otpada je smanjena na 5-10% od količine koja je tretirana, i ostatak uglavnom čini pepeo (klinker) koji se može reciklirati i koristiti u građevinskoj industriji
- Čvrst ostatak je sterilan
- CO<sub>2</sub> neutralna tehnologija za dobijanje energije, može se koristiti kao zamena za fosilne izvore energije

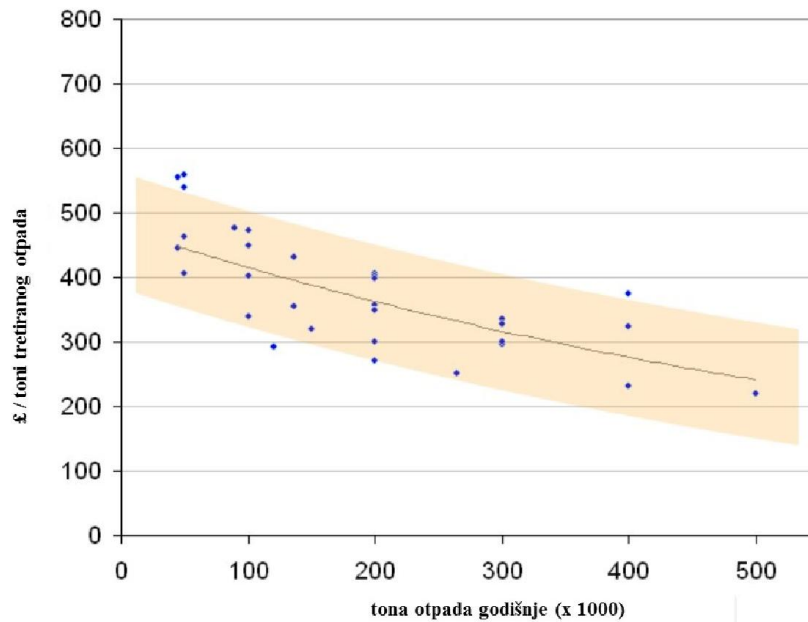
Nedostaci spaljivanja otpada su:

- Velika investiciona ulaganja
- Obiman sistem za prečišćavanje gasova
- Stvaranje lebdećeg pepela koji se mora odložiti na kontrolisanu deponiju
- Stvaranje NO<sub>x</sub> i ostalih gasova i čestica

Troškovi postrojenja za spaljivanje otpada, slično kao i kod postrojenja za anaerobnu digestiju zavise od (Hogg, 2002):

- Troškova otkupa zemljišta
- Kapaciteta postrojenja
- Stepenu iskorišćenosti kapaciteta postrojenja
- Energetske efikasnosti, ukoliko postoji iskorišćenje energije iz otpada
- Prihoda koji se mogu ostvariti prodajom energenata
- Uslova tržišta za prodaju sekundarnih sirovina i ostataka od spaljivanja otpada npr. metalni opiljci iz pepela
- Zahteva za tretman lebdećih čestica nastalih sagorevanjem otpada koje se smatraju opasnim otpadom itd.

Kapitalni troškovi postrojenja za spaljivanje otpada direktno zavise od kapaciteta postrojenja. Generalno, troškovi postrojenja se značajno smanjuju povećanjem kapaciteta, od 100.000 do 200.000 tona godišnje, odnosno 400.000 tona godišnje. Optimalni kapacitet postrojenja je teško odrediti. Smatra se da ekonomski isplativa postrojenja imaju kapacitet između 100.000 i 150.000 tona godišnje (GLA, 2008). Na grafiku 2, prikazana je zavisnost kapitalnih troškova postrojenja za spaljivanje otpada.



**Grafik 2:** Kapitalni troškovi postrojenja za spaljivanje otpada (GLA, 2008)

Troškovi tehnologije predstavljaju čak 84% ukupnih kapitalnih troškova insineratora sa mogućnošću proizvodnje električne energije i proizvodnju električne i toplotne energije (ARCADIS, 2011). U Evropskoj uniji najzastupljenije su tehnologije spaljivanja otpada sa mogućnošću proizvodnje električne energije, proizvodnje toplotne energije i kombinovana tehnologija. Najveću energetska efikasnost imaju postrojenja za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije. Najmanji kapitalni troškovi su za postrojenja koja imaju mogućnost proizvodnje električne energije 531 € po toni tretiranog otpada, dok su za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije je 645 € po toni, a samo toplote 625 € po toni (ARCADIS, 2011).

## 1.5 Pregled naučnih i drugih projekata u oblasti upravljanja otpadom

U ovom poglavlju biće dat kratak prikaz naučnih i drugih projekata iz oblasti upravljanja otpadom.

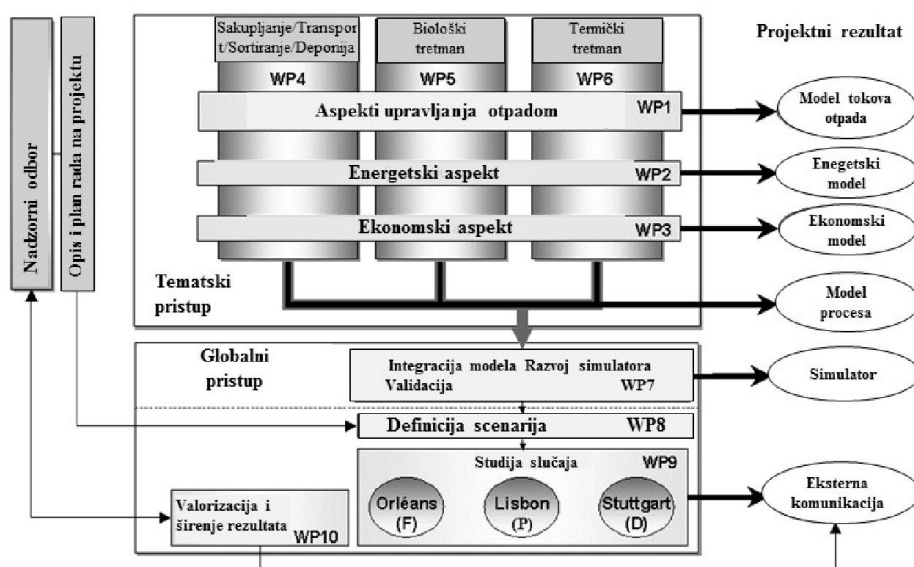
**AWAST** – Aid in Management and European Comparison of Municipal Solid Waste Treatment methods for Global and Sustainable Approach

Cilj projekta AWAST je da odgovori na zahteve i potrebe u oblasti upravljanja komunalnim čvrstim otpadom u EU, koji su u skladu sa Direktivama EU iz oblasti upravljanja komunalnim čvrstim otpadom. Softver razvijen sa ciljem da pruži krajnjim korisnicima alat za donošenje odluka u oblasti upravljanja otpadom koji uzima u obzir: tehničke, društveno-ekonomske, ekoloških aspekte upravljanja otpadom kako bi pomogao poboljšanju upravljanja otpadom na nivou grada. Projekat je realizovan u okviru 5. Okvirnog programa EU, na kome je učestvovalo 11 partnera iz EU, u periodu od 2001-2003. godine slika 21.

Softver je zasnovan na analizi i simulaciji procesa, uključujući energetske i ekonomske aspekte upravljanja otpadom. Analiza obuhvata: sakupljanje, transport, reciklažu, biološki tretman, termički tretman otpada i deponovanje otpada.

Analizom procesa upravljanja otpadom i njegovom simulacijom kroz kontrolu tehničkih, energetskih i ekonomskih aspekata, dat je doprinos poboljšanju kontrole uticaja upravljanja otpadom na životnu sredinu i analiza njegov društveno-ekonomskog uticaja.

Kao globalni alat za podršku donošenja budućih odluka, softver omogućava da se prilagode najbolje prakse iz oblasti upravljanja otpadom i izgradi strategija za održivo upravljanje komunalnim otpadom, odlaganje i ponovno korišćenje u gradovima EU. Ovaj alat, zahvaljujući svojoj fleksibilnosti i prilagodljivosti na lokalnom nivou, moguće je primeniti na nivou lokalnih zajednica u EU, za razvoj sistema upravljanja otpadom. Razvijeni softver je testiran u tri evropske lokalne zajednice (Orlean u Francuskoj, Lisabon u Portugalu i Štuttgart u Nemačkoj) kako bi se potvrdio pristup korišćen prilikom razvoja softvera.

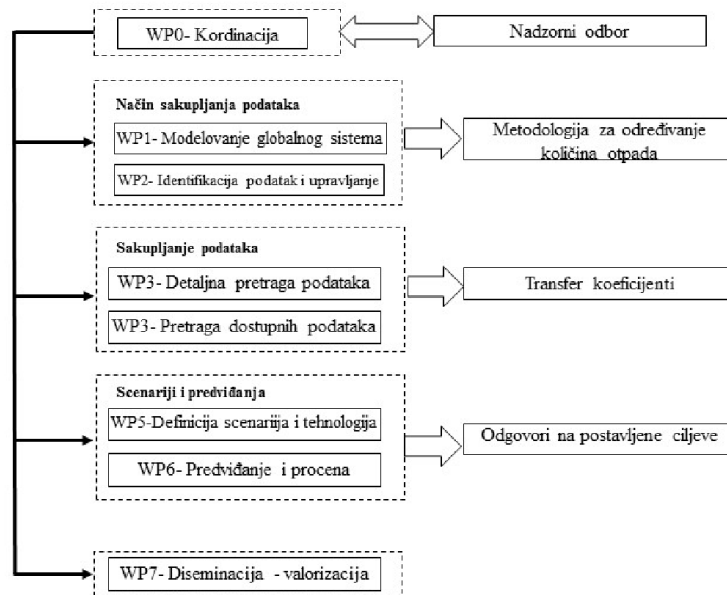


Slika 21: Plan projekta AWAST (AWAST, 2001)

**FORWAST** - Overall mapping of physical flows and stocks of resources to forecast waste quantities in Europe and identify life-cycle environmental stakes of waste prevention and recycling

Cilj projekta FORWAST da se obezbede sveobuhvatni i tačni podaci o tokovima materijala, zalihama sa negativnim uticajem na životnu sredinu, a potiču iz različitih faza životnog ciklusa korišćenja otpada kao sirovine/resursa, slika 22. U širem kontekstu cilj ovog projekta je pojašnjavanje veze između održivog razvoja i zaštite životne sredine, kao i veze između upotrebe prirodnih resursa, njihovog kretanja u privredi i generisanje otpada i upravljanje istim. Projekat je realizovan u okviru 6. Okvirnog programa EU, na kome je učestvovalo 7 partnera iz EU, u periodu od 2007-2009. godine (FORWAST). Rezultati modela omogućuju procenu budućih količina otpada na osnovu istorijskih podataka i procenu uticaja različitih scenarija prevencije nastajanja otpada, reciklaže otpada i tretmana otpada na životnu sredinu.

Ovaj model je prošireni „input-output“ model životne sredine, koji istovremeno uključuje fizičke tokove otpada i delimično je dinamički, jer predviđa rast otpada u narednih 25 godina na nivou EU-27. Model je testiran na seriji istorijskih podataka, zasnovanih na ulazu resursa u privredu, a potom kalibrisan na poznate količine otpada, čime je omogućena procena koeficijenata tokova različitih materijala (pesak/šljunak, drvo, metal, papir, itd.) čime je dobijen dinamički model koji prati dinamičke varijacije parametara vezanih za generisanje otpada kao i dinamičko kretanje tokova materijala kroz sistem.



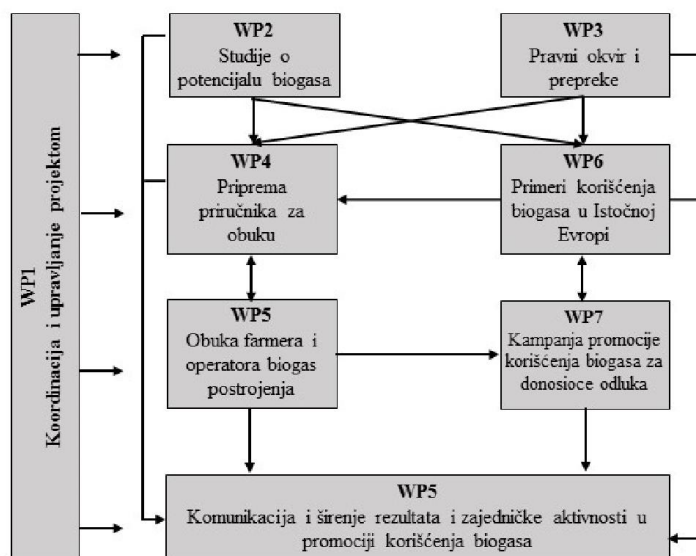
Slika 22: FORWAST projekat (FORWAST, 2004)

## BiG>EAST – Biogas for Eastern Europe

**BiG>EAST** projekat ima za cilj proizvodnju i korišćenje biogasa kao sigurnog i održivog izvora energije u nekoliko odabranih zemalja srednje i istočne Evrope, slika 23 (BIGEAST,2010). Promocijom korišćenja biogasa kao obnovljivog izvora omogućiće se prenos znanja i iskustava iz zemalja zapadne Evrope u oblasti proizvodnje biogasa poljoprivrednicima, operatorima biogas postrojenja i donosiocima odluka u južnoj i istočnoj Evropi. Inicijativa BiG>EAST obuhvata skup aktivnosti sa ciljem da se dobije i prenese znanje o proizvodnji biogasa i njegovo iskorišćavanje u istočnoj i južnoj Evropi. Projekat BiG>EAST je podržan od strane Evropske komisije u okviru programa pametna energija za Evropu (Intelligent Energy for Europe Program) i trajao je od septembra 2007. do februara 2010. godine. Opšti cilj BiG>EAST projekta je da promoviše proizvodnju i korišćenje biogasa kao sigurnog i održivog izvora energije u šest ciljnih zemalja istočne i južne Evrope: Bugarska, Hrvatska, Letonija, Rumunija, Slovenija i Grčka. Cilj projekta je da se izgrade kapaciteti, prenese znanje i iskustvo u ovoj oblasti iz partnerskih zemalja zapadne Evrope u projektu poljoprivrednicima, operaterima biogas postrojenja, i donosiocima odluka u južnoj i istočnoj Evropi. Jedan od rezultata ovog projekta je priručnik o anaerobnoj digestiji i drugim



tehnologijama koje se mogu koristiti za dobijanje biogasa, tehničkim i ne-tehničkim aspektima postrojenja za biogas, planiranju, izgradnji i upravljanju postrojenjima za dobijanje biogasa, kao i mogućnostima za korišćenje biogasa i digestata.



*Slika 23: BiGEAST projekat (BiGEAST, 2010)*

*SWIS MODEL – Model opštinskog informacionog sistema za upravljanje čvrstim otpadom*

**SWIS model** je alat osmišljen za prikupljanje i analizu podataka o upravljanju komunalnim otpadom i namenjen je javnim entitetima zaduženim za pružanje ovih usluga. On pomaže lokalnim samoupravama da prikupe i obrade relevantne podatke o najvažnijim pitanjima u oblasti upravljanja komunalnim otpadom. Primarni cilj SWIS modela je podrška lokalnim samoupravama u proceni i organizaciji prikupljanja i obrade informacija, na način koji će im pomoći da steknu jasnu sliku o stanju upravljanja otpadom u lokalnoj zajednici. Istovremeno to predstavlja, prvi korak ka unapređenju metodološkog i organizacionog okvira upravljanja komunalnim otpadom kao i polazna tačka u razmatranju i planiranju daljih koraka o načinima unapređenja upravljanja otpadom u lokalnim zajednicama. Ovaj model razvijen je u okviru NALAS (Network of Associations of Local Authorities of South-East Europe), radne grupe za upravljanje čvrstim otpadom u okviru projekta koji finansira GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit) regionalni fond za komunalne usluge, a sprovodi ga Stalna konferencija Gradova i opština - Asocijacija lokalnih vlasti u Srbiji (SKGO).

## **2 Metode i modeli za ocenu sistema upravljanja otpadom**

### **2.1 Modeli za ocenu sistema upravljanja otpadom**

Danas postoji razvijen veliki modela koji se koriste kao podrška prilikom donošenja odluka u oblasti upravljanja otpadom (Morrissey i Browne, 2004) (Finnveden i dr., 2007). Kriterijumi i metode koje se koriste za razvoj modela su različiti. Prema Morrissey i Browne (2004) modeli upravljanja otpadom se mogu podeliti u tri osnovne grupe :

- modeli zasnovani na „cost-benefit“ analizi,
- modeli zasnovani na oceni životnog ciklusa i
- modeli koji koriste više-kriterijumske tehnike (MCDA)

Prema Finnveden i dr. (2007) modeli za procenu uticaja na životnu sredinu koristiti različite metode za analizu, koje se mogu podeliti u dve grupe: proceduralne i analitičke metode. Proceduralne metode se koriste u kontekstu donošenja odluka koje se tiču društva kao celine, dok se analitičke metode više odnose na odluke koje se tiču tehničkog aspekta analize (Wrisberg i dr., 2002 citirano u Finnveden i dr., 2007). Primer proceduralne metode je strateška procena uticaja na životnu sredinu ili procena uticaja na životnu sredinu, dok analitičku metodu predstavlja analiza životnog ciklusa ili procena rizika, koji istovremeno mogu predstavljati deo proceduralne metode, strateške procene uticaja. Pored navedenih metoda za donošenje odluka u oblasti upravljanja otpadom, kao glavni kriterijum za izbor metode je dimenzija održivosti (Zurbrügg, 2013). Prema kriterijumu održivosti metode se mogu podeliti u 6 grupa: 1) metode sa aspekta životne sredine i zdravlja, 2) metode sa aspektom na tehnologiju, 3) metode koje obuhvataju organizacione aspekte, 4) društveni i institucionalni aspekt, 5) ekonomski i finansijski aspekti 6) više-kriterijumske metode.

Analizom 151 studije iz oblasti upravljanja otpadom, utvrđeno je da najčešće korišćene metode u oceni sistema upravljanja otpadom su zasnovane na LCA, čak 41% analiziranih studija, multi-kriterijumskim tehnikama za donošenje odluke, „cost-benefit“ analizi, proceni rizika i benčmarkingu. U najvećem broju cilj studija je pronalaženje najboljeg rešenja (scenarija) za celokupni sistem upravljanja otpadom ili pojedinačne projekte/kompanije, evaluacijom više mogućnosti. Predmet analize ovih istraživanja je sistem upravljanja otpadom, ili postrojenje(a) za tretman otpada (Allesch A. & Brunner P.H, 2014).

Dostupnost velikog broja pojedinačnih metoda, samim tim i modela, za analizu postavljenih problema čine njihovu primenu složenom. Stoga, korisnici i donosioci odluka imaju teškoća da izaberu i primene metodu, odnosno model koji je odgovarajući za njihov specifični problem.

Kao posebnu grupu modela predstavljaju modeli za podršku donošenja odluka (DSS), koji se još nazivaju „platforme za sistemsku analizu“ (Chang i dr, 2011). Prednost ovih modela, je što koriste jedan ili više metoda ocenjivanja u kombinaciji, čime se omogućava holistički pristup problemu. DSS modeli imaju za cilj da pomognu donosiocima odluka da na najbolji način primene dostupne metode kako bi doprineli poboljšanju u oblasti upravljanju otpadom obezbeđivanjem boljeg poznavanja situacije tj. problema i posledicama određenog izbora.

Modeli se još mogu klasifikovati u dve kategorije: one koji koriste metode optimizacije i one koje koriste metode ustupka/kompromisa. Modeli optimizacije uključuju analizu troškova i dobiti i vrednosti su izražene u novcu, nezavisno da li je uključena ili zanemarena vremenska vrednost novca (Rodžers i Grist, 2001).

U nastavku biće dat kratak prikaz metoda za ocenu sistema upravljanja otpadom sa aspekta životne sredine i ekonomskog aspekta kao i kratak pregled najčešće citiranih i korišćenih metoda, odnosno modela. Iako metode za ocenu sistem upravljanja otpadom sa društvenog i institucionalnog aspekta nisu korišćene prilikom razvoja ovog modela, dat je prikaz socijalnog i institucionalnog aspekta upravljanja otpadom, jer predstavlja sastavni deo održivog sistema upravljanja otpadom.

## **2.2 Metode za ocenu sistema upravljanja otpadom**

### **2.2.1 Metode ocene sistema upravljanja otpadom sa aspekta očuvanja životne sredine**

Jedan od osnovnih ciljeva upravljanja otpadom je pored zaštite i očuvanja zdravlja stanovništva, je očuvanje životne sredine i prirodnih resursa. Dve metode koje imaju široku primenu i predstavljaju osnov za ostale metode iz ove grupe su ocena životnog ciklusa (LCA) i analiza tokova materijala (MFA). Metoda za ocenu stanja životne sredine u procesu upravljanja otpadom kao podrška odlučivanju, koja ima najširu primenu je LCA metod (Christensen, 2011). Pored LCA, MFA metod se može koristiti nezavisno od drugih metoda, ali istovremeno se koristi u okviru LCA metode u cilju kvantifikacije masenih tokova i tokova supstanci u okviru procesa. Ostale metode ocene sa aspekta životne sredine, kao što su procena uticaja na životnu sredinu (EIA) i strateška procena uticaja (SEA) predstavljaju analitičke metode koje koriste iste tehnike kao i LCA kao deo proceduralne metode (Finnveden et al., 2003).

#### **2.2.1.1 Ocena životnog ciklusa (LCA)**

Ocena životnog ciklusa je metoda za ocenu ekoloških performansi i potencijalnih uticaja proizvoda ili usluga tokom celog njihovog životnog ciklusa, uključujući potrošnju resursa, proizvodnju, korišćenje i na kraju odlaganje. Postupak sprovođenja LCA je definisan i opisan standardom ISO 14040 (ISO 14044, 2006). Analiza životnog ciklusa je podeljena u četiri faze:

- i) definisanje cilja i obima analize
- ii) formiranje baze podataka, ulaznih i izlaznih podataka za analizirani sistem (LCI)
- iii) analiza uticaja i
- iv) tumačenje rezultata.

Kategorije uticaja koji se koriste u LCA su: globalno zagrevanje, oštećenje ozonskog omotača, stvaranje fotohemijskog ozona (smoga), acidifikacija, eutrofikacija, kao i uticaj na ljude i ekotoksičnost analiziranog objekta. U zavisnosti od kategorije uticaja koja se analizira koriste se odgovarajuće metode.

LCA metoda je našla široku primenu u oblasti upravljanja otpadom. Danas postoji veliki broj modela kao podrška odlučivanju, zasnovanih na metodi LCA. Prednost korišćenja LCA u analiziranju sistema upravljanja otpadom je što pruža sveobuhvatan pregled procesa i njihov uticaj n životnu sredinu (Finnveden i dr., 2007). Ukoliko se u analizi uticaja sistema upravljanja

otpadom ne primenjuje holistički pristup, kao što je LCA, koncentrišući se pri tome na pojedine kategorije, kao što je eutrofikacija, sistem može doprineti narušavanja sistema kao celine, u odnosu na ostala pitanja zaštite životne sredine (Morrissey i Browne, 2004).

Svi modeli su razvijani u okviru LCA metodologije, ali zbog različitih ciljeva, ciljnih korisnika, ili regulativa u oblasti životne sredine u zemljama gde su razvijeni modeli, ipak postoje međusobne razlike (Christensen, 2011). U tabeli 4 dat je prikaz najčešće korišćenih modela zasnovanih na LCA metodi.

Tabela 4: LCA modeli upravljanja otpadom (bazirano na Christensen, 2011)

Model	Funkcionalna jedinica	Analizirani tokovi otpada	Životni vek deponije	Obim/Okvir analize	Rezultati analize modela	Specifičnosti modela
IWM-2	Količina komunalnog otpada generisana u definisanom geografskom području i definisanom vremenskom periodu	Tokovi komunalnog otpada: papir, staklo, metal, plastika, tkanine, organski otpad i ostalo	Podrazumeva sastav deponijskog gasa i procednih voda zasnovan na trenutnim merenjima	Ulazni i izlazni tokovi otpada (LCI) definisanog područja bez procene uticaja na životnu sredinu Ekonomska procena uticaja troškova generalno	Neto potrošnja energije, 22 tipova emisije u vazduh, 26 različitih emisija u vodu, iskorišćenost kapaciteta deponije, iskorišćenost materijala i kompost	Uštede CO <sub>2</sub> ostvarene reciklažom papira
ORWARE	Tretman otpada generisanog u definisanom području tokom definisanog vremenskog perioda	Komunalni otpad, industrijski otpad, građevinski otpad, i odgovarajuće potkategorije, kanalizacioni mulj	Kratak vremenski period do faze završetka generisanja metana, dopunjen neodređenim vremenskim periodom sa svim deponovanim materijalima koji se ubrajaju kao potencijalne emisije	Ulazni i izlazni tokovi otpada (LCI) definisanog područja i procena uticaja na životnu sredinu. Ekonomska analiza finansijskih troškova i troškova negativnog uticaja emisija na životnu sredinu	Ponovno iskorišćenje energije, približno 30 različitih emisija u vodu, vazduh i zemljište	Tokovi otpada moraju biti opisani u smislu elementarnog sastava, koji određuje osobine postrojenja za tretman. Nove frakcije otpada se lako mogu dodati kada je elementarni sastav dostupan
WISARD	Sakupljanje i tretman komunalnog otpada generisanog na lokalnom nivou (ili više lokalnih zajednica) tokom jedne godine	Komunalni otpad podeljen na potkategorije u obojene metale, fine delove, staklo, zapaljive materije, pelene, nezapaljive materije, neobojene metale, papir, plastiku, organski otpad, tekstil	Do kraja faze formiranja biogasa što odgovara periodu oko 100 godina.	Ulazni i izlazni tokovi otpada (LCI) definisanog područja i procena uticaja na životnu sredinu. Postoji mogućnost kategorizacije uticaja dostupnim metodama. Ekonomska analiza finansijskih troškova	Korišćenje sirovina, potrošnja vode potrošnja ulaznih polu sirovina, emisija u vazduh, vodu, i zemljište, rezidualni otpad, iskorišćenje materija, potrošnja energije	Model razvijen za pojedinačne država. Tokovi otpada moraju biti opisani u smislu elementarnog sastava. Pojednostavljen prikaz rezultata modela radi jednostavnijeg razumevanja Omogućava Monte Karlo simulaciju tj. određivanja opsega netačnosti/nesigurnosti rezultata

---

EASEWASTE	Količina otpada generisana na nivou grada/oblasti	48 frakcija npr. novine, papir i karton, meka plastika, plastične boce, drva, tekstil, guma, čisto staklo, aluminijske konzerve, metalna folija, zemljište, šljunak, pepeo, keramika, baterije.	Proces je podeljen na četiri nezavisna vremenska perioda: odlaganje otpada, zatvaranje deponije, period aktivnog generisanja gasa i procednih voda, neaktivni period bez sakupljanja gasa i procednih voda. Ovi periodi mogu biti definisani za bilo koji vremenski interval	Realni podaci o masenim bilansima (LCI) definisanog područja i procena uticaja na životnu sredinu	Potrošnja svih sirovina, emisije u vazduh, vodu i zemljište, generisane količine otpada za sistem upravljanja otpadom	Omogućava realne podatke o masenim bilansima (LCI) i LCA tabele o tehnologijama zasebno, kao na celokupne scenarije. Podaci mogu biti prebačeni u Excel. Svi podaci mogu biti podešeni od strane korisnika. Mogućnost proračuna analize osetljivosti
-----------	---	---	--	---	---	--

---

U tabeli 4 možemo videti da je LCA ima široku primenu u oblasti upravljanja otpadom kao pomoć prilikom donošenja odluka. Ipak, i pored široke primene i velikog broja kompjuterskih modela koji su razvijeni, mnogi autori pored prednosti ističu i nedostatke primene ove metode.

Prednost korišćenja LCA u analizi jednog sistema upravljanja otpadom, je sveobuhvatan pregled procesa i uticaja koji obuhvataju analizirani sistem, i omogućava komparativnu analizu pojedinačnih tretmana otpada i njihov uticaj na životnu sredinu (Finnvenden i dr., 2007; Morrissey i Browne, 2004).

Nedostatak LCA metode je što se odnosi isključivo na procenu uticaja na životnu sredinu, pri čemu ne može da proceni stvarne efekte na životnu sredinu, jer stvarni efekti emisije i otpada na životnu sredinu će zavisiti od toga kada, gde i kako su pušteni u životnu sredinu. (Morrissey i Browne, 2004)(Finnvenden i Ekvall, 1998). Stoga je potrebno ovakve modele proširiti da obuhvataju i uticaj na ekonomiju i društvo, kako bi na najbolji način oslikali održivost jednog takvog sistema.

Primena LCA metode ima i određena ograničenja za svoju primenu, pogotovo kad se radi o zemljama za koje ne postoje dostupni podaci, kao što je slučaj sa zemljama u razvoju. Prema UNEP-u (2005) glavne prepreke za primenu LCA analize:

- ✓ nedostatak odgovarajućih podataka (nepostojanje baze podataka za pojedine zemlje)
- ✓ nedostatak stručnog i obučenog kadra za LCA / know-how
- ✓ nedostatak sredstava za LCA
- ✓ odsustvo uočenih potreba

Iz gore navedenog, možemo zaključiti da se LCA metoda, se uspešno primenjuje u oblasti upravljanja otpadom, ali je zbog njene isključive orijentisanosti na aspekte životne sredine, potrebno uzeti u obzir i druge metode procene uticaja na životnu sredinu (npr. procenu rizika) kao i aspekte koji se tiču uticaja na ekonomiju i društvo u celini. Isto tako, sama metoda ima ograničenja u primeni koje se tiču dostupnih podataka i potrebnih veština, pa je shodno tome potrebno primeniti metode koje se mogu primeniti u skladu sa dostupnim resursima.

### **2.2.1.2 Analiza tokova materijala (MFA)**

Analiza tokova materijala (MFA) je metoda koja ima korene u analizi sistema. Koristi se za opis sistema sa procesima, transformacije tokova i zaliha materijala ili materija u analiziranom sistemu. U razvijenim zemljama, MFA se pokazao kao pogodan način i sredstvo za rano prepoznavanje problema zaštite životne sredine i razvoja mera za ublažavanje negativnog uticaja na životnu sredinu (Baccini i Brunner, 2012). Jedan definisani sistem karakterišu ulaz, izlaz i zalihe u skladu sa zakonom o očuvanju materije, stoga MFA analiza predstavlja kontrolisani materijalni bilans jednog sistema. (Brunner i Rechberger, 2004). MFA se može primeniti za analizu tokova materijala na nivou grada ili regiona, za analizu promena u obrascima potrošnje, za analizu tretmana i prečišćavanja otpada i otpadnih voda i njihovu ponovnu upotrebu i analizu zagađenja životne sredine.

Ono što MFA analizu razlikuje od LCA analize, je to da može da se primeni u sistemima gde postoji nedostatak podataka tj. postoji prilagodljivost ove metode prema dostupnim podacima, što je od značaja za zemlje u razvoju i na taj način se može prevazići nedostatak LCA analize i njene primene u zemljama u razvoju (Montangero i Belevi, 2007). Tokovi materijala definisanih scenarija koji su razvijeni u okviru ovog modela biće prikazani korišćenjem softvera STAN, koji se koristi za prikaz i modelovanje tokova materijala.

### **2.2.2 „Input-output“ tabela emisije otpada (WIO)**

„Input-output“ tabela je dobro razvijena knjigovodstvena metoda za opisivanje međuzavisnosti između različitih sektora privrede jedne države ili regiona, koja proizilazi iz njihove međusobne razmene dobara i usluga. „Input-output“ modeli prikazuju kako izlazi iz jednog industrijskog sektora mogu postati ulaz u drugi industrijski sektor. Vasilij Leontijev je bio prvi koji je koristeći matrice nacionalnih (ili regionalnih) privreda razvio input-output modele. Razvijeni modeli su u osnovi linearni i daju fleksibilnost u računanju efekata promena u tražnji. Input-output modeli za različite regione mogu biti povezani, kako bi se ispitao uticaj među-regionalne trgovine. Pored navedenog IO modela danas postoje i „proširenja“ klasičnog IO modela, IO model životne sredine (EIO) i IO model emisije otpada (WIO).

Leontijev je proširio konvencionalni IO, kako bi odredio emisije zagađivača, i njihova smanjenja/povećanja, kroz međuzavisnost konvencionalnih sektora proizvodnje dobara i usluga koji utiču na zagađenje životne sredine. EIO se koriste da kvantifikuju i procene efekte politika zaštite životne sredine koji utiču na šeme potrošnje, kao i nivo ekonomske aktivnosti, odnosno kako i na koji način promene u finalnoj tražnji utiču na upotrebu prirodnih resursa i/ili na povećanje/smanjenje zagađenja.

Proširenje EIO na sektor otpada, predstavlja WIO koju su razvili japanski naučnici Nakamura i Kondo (Nakamura & Kondo, 2009; Nakamura & Kondo 2002a; Nakamura & Kondo 2002b). WIO predstavlja računovodstveni sistem koji opisuje međuzavisnost sektora proizvodnje i potrošnje i sektora tretmana otpadnih materija privrede, u smislu tokova proizvedenih dobara i nastalog otpada. Razvijeni WIO model ima mogućnost da kombinuje različite tretmane otpada sa različitim tokovima otpada, što nije bilo moguće u EIO, gde je postojala jednostrana povezanost između otpada (polutanta) i načina njegovog umanjavanja (tretmana), pod uslovom da kombinacija tehnički izvodljiva, tretman odgovara tipu otpada. Broj, vrsta otpada i metode tretmana mogu se proizvoljno odrediti. Pored toga, model kao ulaz može imati otpad iz bilo kog izvora u privredi, uključujući čvrst komunalni otpad iz finalne potrošnje, industrijski i komercijalni otpad iz privrednog sektora usluga i dobara, i ostatke tretmana iz proizvodnog sektora za prečišćavanje otpadnih materija ili otpad iz poljoprivrede itd.

Osnovno za kvantitativnu analizu problema otpada je posmatranje stanja bilansa mase (otpada), iz koje slede dve važne implikacije za WIO (Nakamura & Kondo, 2002). Prva implikacija je jednakost ponude i tražnje za određeni otpad:

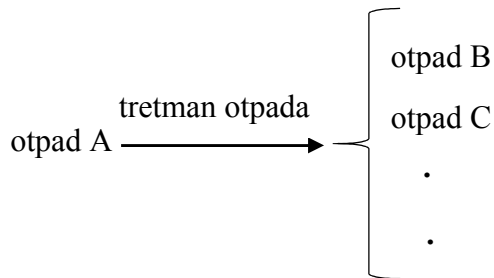
$$\text{emisija (produkcija) otpada} = \text{recikliranje otpada} + \text{tretman otpada}$$

Nivo emisije i reciklaža otpada su u velikoj meri određeni uslovima (koji vladaju u, ili koje nameće sektor proizvodnje roba) u sektoru za proizvodnju roba. Nivo tretiranja (tretmana) otpada se tada određuje kao rezidual. U tom smislu, tretman otpada ima sam po sebi pasivnu



prirodu. U WIO, prethodna implikacija igra centralnu ulogu u određivanju nivoa tretmana otpada.

Druga implikacija je činjenica da je tretman otpada proces pretvaranja date vrste otpada u različite (*druge*) vrste otpada:



Na primer, spaljivanjem, otpad se pretvara u pepeo, „leteći“ pepeo i dimne gasove. U kombinaciji sa prvom implikacijom sledi da poseban (*naročito*) tretman otpada može nastati naknadnim tretmanom sekundarnih otpada. Na primer, prema japanskim propisima, lebdeći pepeo, mora biti dalje obrađivan (procesuiran), kako bi se sprečilo njegovo „curenje“ pre nego što se deponuje.

Prilikom razvoja modela za analizu upravljanja komunalnim otpadom, nivo reciklaže i količina otpada (emisija) najvećim delom su određeni potrošnjom domaćinstva, (tj. određeni su ponudom i tražnjom dobara), a stepen i vrsta tretmana komunalnog otpada određena je njegovim karakteristikama, odnosno njegovom pasivnom prirodom.

### **2.3 Ekonomske metode za ocenu sistema upravljanja otpadom**

Ekonomski uticaji predstavljaju efekte bilo kog projekta na nivou privredne aktivnosti u datoj oblasti. Cilj analize, koja uzima u obzir ekonomske aspekte jeste da se utvrdi da li projekat ima pozitivan ili negativan uticaj u datoj oblasti, odnosno da li se implementacijom projekta ostvaruje dobit, kako ekonomska tako i društvena. Ekonomski aspekt upravljanja otpadom je jedan od važnih elementa analize prilikom određivanja buduće strategije upravljanja otpadom i uvođenja tehnologija za tretman otpada. Troškovi upravljanja komunalnim otpadom u zemljama u razvoju, u većini slučajeva, idu na teret opština i domaćinstava. Takođe za industriju, troškovi eliminisanja otpada mogu biti visoki. Sa druge strane, reciklaža i ponovna upotreba otpada može da pruži mogućnost za poboljšanje položaja ugroženog dela populacije npr. romske populacije kao i mogućnost razvoja malih i srednjih preduzeća (SME). Međutim, za druge reciklate za koje postoji ograničena potražnja, može predstavljati veći trošak proizvodnje od finansijske koristi od tih proizvoda. Imajući u vidu ograničena finansijska sredstva u zemljama u razvoju, potrebno je poboljšati postupke finansijske procene za upravljanje čvrstim otpadom.

U daljem delu teksta biće dat kratak prikaz najčešće korišćenih metoda za ekonomsku procenu procesa upravljanja otpadom u cilju donošenja budućih odluka.

### **2.3.1 „Cost-benefit“ analiza i analiza troškova i efikasnosti**

„Cost-benefit“ analiza predstavlja ekonomsku metodu ocenjivanja, koja uključuje sve troškove i sve koristi u vezi sa projektom i izračunava ukupnu vrednost izvođenja konkretnog projekta. Projekat koji daje najviše neto koristi je projekat koji je potrebno realizovati (Christensen, 2011). Vrlo slična metoda „cost-benefit“ analizi je i analiza efikasnosti i troškova, koja se odnosi na troškove projekata, odnosno troškove krajnjih ishoda projekta ili koristi projekta. „Cost-benefit“ analiza analizira korak dalje, pokušavajući da uporedi troškove više projekata uzimajući u obzir vrednost novca i korisnost pojedinačnih projekata i na osnovu toga vrši njihovo poređenje.

Prema Cellini i Kee (2010) postoji 10 koraka za sprovođenje „cost-benefit“ analize i analize efikasnosti i troškova:

1. Definisavanje okvira analize, i da li je analiza potrebna
2. Određivanje granica analize - koji troškovi i koristi će se analizirati
3. Utvrđivanje i kategorizacija troškova i koristi
4. Troškovi projekta i koristi tokom životnog ciklusa projekta
5. Određivanje troškova u novčanim jedinicama
6. Koristi izražene preko novčanih jedinica i jedinice efikasnosti
7. Umanjenje troškova i koristi kako bi se dobila sadašnja vrednost projekta
8. Izračunavanje neto sadašnje vrednosti (CBA) i odnos troškova i efikasnosti (CEA)
9. Analiza osetljivosti
10. Preporuke (u potrebnim slučajevima)

### **2.3.2 Metod diskontovanih novčanih tokova - Neto sadašnja vrednost (NSV) i interna stopa rentabilnosti (IRR), indeks profitabilnosti (PI) i period povraćaja investicije (DPP)**

Potrebno je razlikovati pojmove kriterijumi za donošenje investicionih odluka i metode za ocenu efekata investicija. Kriterijumi za donošenje investicionih odluka su zahtevi da se postigne cilj, koji donosilac odluka investiranjem želi da ostvari. Ciljem je određen karakter efekata kojim se meri doprinos investicije. Efekat investicije je određena veličina ili vrednost. Kriterijum je zahtev za maksimiranjem ili minimiziranjem ovih veličina ili vrednosti tj. efekata investicija. Metode za ocenu efekata ili efektivnosti investicija dele se na:

- ✓ Statičke - ne uvažavaju vremensku dimenziju novca
- ✓ Dinamičke- uvažavaju vremensku dimenziju novca

U okviru ekonomske analize, odnosno efekata investicije u nova postrojenja za tretman otpada, korišćene su dinamičke metode. Najčešće korišćene dinamičke metode su:

- ✓ Metod neto sadašnje vrednosti (NSV)
- ✓ Metod interne stope prinosa (IRR)
- ✓ Indeks profitabilnosti (rentabiliteta) (PI)
- ✓ Diskontovano vreme povraćaja (DPP)

Troškovi i koristi sistema upravljanja otpadom koji se pojavljuju u budućnosti treba da budu pretvoreni u sadašnju vrednost u cilju što realnije procene. Ovo je posebno važno kada se porede alternativni sistemi sa potpuno različitom distribucijom troškova i koristi tokom vremena. NSV i IRR, su kriterijumi koji uključuju vremensku vrednost novca i predstavljaju metodu diskontovanja tokova gotovine.

*Neto sadašnja vrednost* (NSV) je zbir svih novčanih tokova tokom vremena trajanja projekta diskontovanih na sadašnju vrednost. Dobijena vrednost novčanog priliva po sadašnjoj vrednosti pokazuje koliko je projekat odbacio nove vrednosti posle podmirenja kreditora odnosno investicionih ulaganja. Neto sadašnja vrednost pokazuje sledeću dinamiku:

- sa povećanjem (smanjenjem) neto gotovinskog toka projekta povećava (smanjuje) se neto sadašnja vrednost
- sa povećanjem (smanjenjem) perioda eksploatacije projekta povećava (smanjuje) se neto sadašnja vrednost,
- sa povećanjem (smanjenjem) diskontne stope smanjuje (povećava) se neto sadašnja vrednost.

Neto sadašnja vrednost je indikator dodatne vrednosti postojećoj vrednosti preduzeća koja se obezbeđuje realizacijom projekta. Neto sadašnja vrednost predstavlja razliku između sadašnje vrednosti neto priliva ili efekata investicija i sadašnje vrednosti odliva gotovine ili investicionih ulaganja. Drugačije rečeno, neto sadašnja vrednost je razlika između sadašnje vrednosti neto novčanog priliva (priliva iz ekonomskog toka projekta) i sadašnje vrednosti ulaganja u projekta, tj. vrednosti investicije.

Jedan projekat je prihvatljiv pri datoj diskontnoj stopi  $d$ , ako diskontovani novčani prilivi prelaze sumu diskontovanih novčanih odliva, tako da je NSV veća od nule (Stojanovski Đ., 2009). Kriterijum odlučivanja primenom NSV je pri diskontnoj stopi  $d$ :

- ako je  $NSV > 0$ , projekat se prihvata
- ako je  $NSV < 0$ , projekat se odbacuje

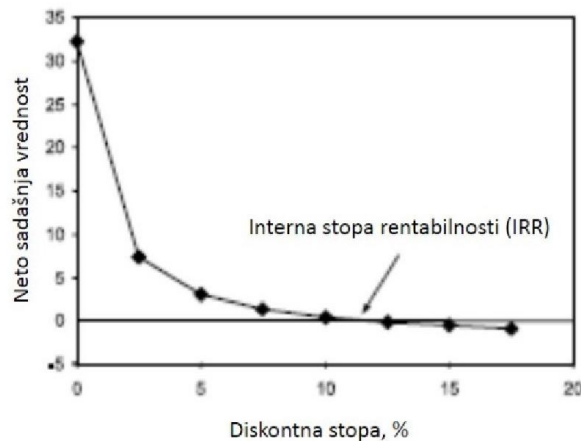
Ako je neto sadašnja vrednost veća od nule, očekuje se da će biti kreirana vrednost za investitora. Ako je manje od nule, neće kreirati vrednost za investitora. Neto sadašnja vrednost je metod kvantifikacije vrednosti koja treba da se stvori za investitora (Crundvell, 2008). U slučaju nezavisnih projekata prihvata se projekat čija je neto sadašnja vrednost veća od sadašnje vrednosti ulaganja u projekata, odnosno veća od nule,  $NSV > 0$ . U slučaju međusobno isključivih projekata prihvata se projekat čija je neto sadašnja vrednost najveća.

Neto sadašnja vrednost se računa prema jednačini (1) (Crundvell, 2008):

$$NSV = \sum_t^n \frac{CF_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

$CF_n$  je godišnji tok novca (prihodi – operativni troškovi) u  $n$ -toj godini projekta,  $i$  je diskontna stopa,  $n$  je životni vek projekta,  $t$  je tok novca tokom životnog veka projekta

Jedan od nedostataka ovog pokazatelja je izbor realne diskontne stope koja ima uticaj na sam rezultat ovog pokazatelja. Obično se uzima vladajuća kamatna stopa na tržištu kapitala.



Slika 24: Uticaj diskontnih stopa na neto sadašnju vrednost (Crundvell, 2008)

Međuzavisnost NSV i IRR prikazana je na slici 24. Tačka na krivoj gde je diskontna stopa nula predstavlja maksimalnu vrednost projekta, istovremeno i vrednost pri kojoj je vremenska vrednost novca nula. Diskontna stopa na krivoj gde NSV menja vrednost iz pozitivnog u negativni predstavlja internu stopu rentabilnosti (IRR).

IRR se definiše kao diskontna stopa pri kojoj je neto sadašnja vrednost projekta nula (2) (Crundvel, 2008).

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \quad (2)$$

$CF_t$  je godišnji tok novca (prihodi – operativni troškovi) u  $n$ -toj godini projekta,  $IRR$  je diskontna stopa,  $n$  je životni vek projekta,  $t$  je tok novca tokom životnog veka projekta

Metod interne stope rentabilnosti (IRR) polazi od zavisnosti koja postoji između sadašnje vrednosti investicija i kamatne stope kao diskontnog faktora. Ona se svodi na utvrđivanje kamatne stope pri čemu je neto sadašnja vrednost jednaka nuli. IRR predstavlja maksimalno prihvatljivu cenu kapitala pri kojoj se isplati ulaziti u projekat.

Interna stopa povrata projekta se izračunava metodom pokušaja i greške (Stojanovski Đ., 2009). Pretpostavi se jedna diskontna stopa i na osnovu nje se izračuna NSV projekta. Ako se dobije

pozitivna vrednost, postupak se ponavlja tako da se postepeno diskontna stopa povećava, i računamo NSV sve do momenta dok se ne dobije njena negativna vrednost. Kada se nađu dve diskontne stope čijim primenama se dobija jednom negativna a drugi put negativna NSV, to znači da je tražena IRR ograničena sa donje i gornje strane sa ove dve stope. Stvarna vrednost IRR se potom izračunava interpolacijom (3) (Stojanovski Đ., 2009).

$$IRR = d_p + (d_n - d_p) * (NSV_p / (NSV_p - NSV_n)) \quad (3)$$

IRR - interna stopa povrata;  $d_p$  - diskontna stopa po kojoj je  $NPV > 0$ ;  $d_n$  - diskontna stopa po kojoj je  $NPV < 0$ ;  $NPV_n$  - iznos negativne NPV uz diskontnu stopu  $d_n$ ;  $NPV_p$  - iznos pozitivne NPV uz diskontnu stopu  $d_p$

Diskontna stopa je relativna mera očekivanog učinka projekta i jedan od ključnih elemenata dinamičke metode, neto sadašnje vrednosti NSV. Ova stopa predstavlja prinos koji bi investitori zahtevali da ostvare ako bi se opredelili za ulaganje koje bi stvorilo projektovane tokove gotovine. I dok interna stopa prinosa predstavlja meru profitabilnosti projekta i zavisi od projektovanih sopstvenih novčanih tokova tj. interna je, diskontna stopa je eksterno određena i jednaka je stopi prinosa koju nude slične rizične investicije na finansijskom tržištu.

Kriterijumu za odlučivanje upotrebom IRR, pri diskontnoj stopi  $d$ :

- $IRR > d$ , projekat se prihvata
- $IRR < d$ , projekat se ne prihvata

Projekat je prihvatljiv ukoliko interna stopa povrata jednaka ili veća od kamatne stope na dugoročne kredite. Ukoliko je interna stopa manja od kamatne stope na kredite koje projekat koristi, prinos na sopstveni kapital koji vlasnik ulaže u projekat manji je od kamatne stope na kredite, projekat nije prihvatljiv. Interna stopa povrata može biti negativna. U ovom slučaju, nediskontovani novčani prilivi od projekta su manji od nediskontovanih novčanih odliva, i takve projekte treba odbaciti.

Prednost IRR metode je što diskontna stopu sami određujemo, ali na osnovu diskontne stope ne možemo donositi odluke o projektima, za razliku od NSV. S toga, ove dve metode je potrebno kombinovati, kako bi se donela što bolja odluka o budućim projektima, tj. koji će projekat biti prihvaćen a koji neće.

*Indeks profitabilnosti (PI)* ili (Benefit-Cost Ratio (BCR) projekta je sadašnja vrednost budućeg novčanog priliva prema sadašnjoj vrednosti budućeg novčanog odliva investicionog projekta (4) (Stojanovski Đ., 2009). Drugim rečima, diskontovane koristi se stavljaju u odnos sa diskontovanim troškovima.

$$PI = \frac{\sum B(t)/(1+d)^t}{\sum C(t)/(1+d)^t} \quad (4)$$

$d$  - diskontna stopa,  $t$  - godina projekta,  $B(t)$  i  $C(t)$  - ukupne koristi (novčani prilivi) i ukupni troškovi (novčani odlivi) u godini  $t$ . međusobno isključivim projektima, mera neto sadašnje vrednosti je bolja zato što izražava u apsolutnim iznosima očekivani ekonomski doprinos projekta, dok indeks profitabilnosti izražava samo relativnu profitabilnost.

Za razliku od NSV, PI vodi računa o tome da nije svejedno imati isti iznos NSV sa različitim početnim ulaganjima. Jedan od temelja ekonomske analize je rentabilnost koja stavlja u odnos

dobit sa uloženim sredstvima i bolje je da se uz manja ulaganja ostvare veći efekti. Kada je PI jedan ili veći, investicioni predlog je prihvatljiv.

Sve dok je indeks profitabilnosti jednak ili veći od 1, investicioni projekat je prihvatljiv. Za svaki projekat, metod neto sadašnje vrednosti i indeks profitabilnosti daju isti zaključak u vezi sa prihvatljivošću projekta. Međutim, ako moramo da odlučujemo za niz vrednosti diskontnih stopa, PI će biti veće od 1, a samim tim projekat će biti prihvatljiv. Za veće vrednosti diskontnih stopa PI će biti manji od jedan, i projekat će biti odbačen. Očigledno je da odluka da li će projekat biti prihvaćen zavisi od vrednosti diskontne stope koja će se primeniti pri odlučivanju.

*Diskontovano vreme povrata (DPP)* govori nam o broju godina koje su potrebne da se nadoknadi početno novčano ulaganje. To je razmera početnog ulaganja i godišnjih novčanih primanja u razdoblju povraćaja. Kod ovoga pokazatelja računa se diskontna vrednost neto rezultata i određuje se period gde se izjednačavaju ulaganja sa prihodima nastalim iz projekata. Može se tumačiti kao period tokom kojeg je potrebno prikupljati pozitivne neto prihode kako bi se zbir negativnih neto prihoda sveo na nulu, a sve se to posmatra kroz diskontni faktor. To razdoblje ne sme biti duže od ekonomskog veka projekta, odnosno uložena investicija mora se vratiti najkasnije do kraja ekonomskog veka projekta. (Puška A., 2011)

### **2.3.3 Računovodstvo punih troškova (FCA)**

FCA je sistematski pristup za identifikaciju, sumiranje, i izveštavanje stvarnih troškova upravljanja čvrstim otpadom (EPA, 1999). Ovaj pristup uzima u obzir prošle troškove i buduće troškove, troškove zaposlenih (nadzora i pomoćne uslužne troškova), i operativne troškove. Ovaj metod je razvila američka Agencija za zaštitu životne sredine (EPA), u cilju donošenja boljih odluka vezanih za upravljanje čvrstim otpadom, poboljšanje efikasnosti usluga, i boljeg planiranja u budućnosti. Razlikuju se tri osnovna tipa troškova vezanih za upravljanje otpadom:

- Up-front (inicijalni) troškovi
- Operativni troškovi
- Back-end (krajnji) troškovi

Up - front troškovi obuhvataju početne investicije i troškove potrebne za implementaciju usluge upravljanja čvrstim otpadom. Operativni troškovi su dnevni troškovi upravljanja otpadom. Back-end troškovi obuhvataju troškove pravilnog zatvaranja operacija nakon isteka životnog veka postrojenja i pravilna briga o deponijama i drugim objektima nakon završetka svog životnog ciklusa. Troškovi zaposlenih, zdravstvena zaštita, i otpremnine za radnike takođe spadaju u ovu kategoriju.

Navedene tri kategorije troškova, zajedno čine "životni ciklus" upravljanja otpadom, od kolevke do groba („cradle to grave”).

Korišćenjem metode punih troškova dobija se tačan prikaz troškova koji su korisni za računovodstveno upravljanje troškovima i izveštavanje.

## **2.4 Društveni i institucionalni aspekti kao metode ocene sistema upravljanja otpadom**

Upravljanje otpadom, odnosno zaštita životne sredine, se ne rešava samo odabirom adekvatne tehnologije, inženjerskim metodama ili inovacijama. Upravljanje otpadom predstavlja važan element svakog urbanog sistema, koji je blisko povezan sa ljudima/stanovništvom preko procesa generisanja otpada, odnosno potrošačkim i svakodnevnim navikama stanovništva. Obzirom da aktivnosti stanovništva predstavljaju glavni izvor otpada u gradovima, socio-ekonomske aspekte i kulturološke aspekte je važno uzeti u obzir prilikom donošenja budućih odluka vezanih za upravljanje otpadom. Učestvovanje stanovništva je neophodno u svim fazama razvoja sistema upravljanja otpadom. Važan aspekt upravljanja otpadom, je društvena prihvatljivost, pristupačnost usluge i mogućnost plaćanja usluge, jer obezbeđivanjem navedenih uslova omogućuje se dugoročna održivost novog sistema upravljanja otpadom. Vrlo su česti slučajevi u praksi da društvena neprihvatljivost projekta onemogućuje dalji razvoj sistema upravljanja otpadom, jer javnost nije dovoljna upoznata sa projektom, njegovim prednostima i nedostacima, rizicima i slično.

Kao deo analize društva sa aspekta upravljanja otpadom, sastavni deo predstavlja identifikacija interesnih grupa (stakeholder-a). Planiranje, projektovanje, funkcionisanje i održavanje projekata upravljanja čvrstim otpadom nije jednostavan zadatak. Potrebno je široko i sveobuhvatno poznavanje funkcionisanja sistema upravljanja otpadom kao i razumevanje specifičnih uslova lokalne zajednice. Multidisciplinarni pristup, koji uključuje prirodne nauke inženjerske nauke i društvene nauke može na adekvatan način da odgovori i reši složene situacije u oblasti životne sredine u urbanim uslovima (Benn i dr., 2009). Razumevanje projekta i lokalnih uslova uključuje i percepciju, stavove i uloge interesnih strana (stakeholder). Interesne strane su grupe ili organizacije na koje projekat ima uticaj i/ili one svojim aktivnostima utiču na projekat. Većina razvijenih modela za upravljanje otpadom analiziraju ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu, jako mali broj analiziraju društveni/socijalni aspekt (Morrissey i Browne, 2004). Nillson-Djerf i McDougall (2000) smatraju da održivi sistem upravljanja otpadom je sistem koji je efikasan sa aspekta životne sredine, ekonomski prihvatljiv i društveno prihvatljiv. Društvena prihvatljivost opcija za tretman otpada, insineratora i deponija, takođe su faktori u određivanju politike upravljanja otpadom. Stoga je neophodno modele upravljanja otpadom optimizovati, uključivanjem društvenog aspekta prilikom određivanja (modelovanja) sistema upravljanja otpadom.

Razlikuju se tri grupe stakeholder-a, pri čemu međusobna razgraničenost nije jasna i očigledna (DFID, 2002):

- Ključni stakeholder-i su oni čiji uticaj u velikoj meri može da utiče na uspešnost projekta
- Primarni stakeholder-i uključuju pojedince i grupe koji na kraju predstavljaju korisnike koji su pogođeni odlukama (u negativnom ili pozitivnom smislu)
- Sekundarni stakeholder-i su svi pojedinci ili grupe, institucije ili organizacije, sa određenim ulogom, interesom ili imaju posredničku ulogu u aktivnostima, na koje odluke nemaju velikog uticaja

U društvenim naukama, institucije su široko definisane kao pravila, formalna ili neformalna. U inženjerstvu isti termin se, međutim često koristi za vladine organizacije. Sve one se jednim nazivom mogu podvesti pod naziv institucionalne organizacije, koje su društveno priznate i imaju autoritet i moć da ustanovljavaju i primenjuju pravila (Aligica, 2006).

Kad se govori o upravljanju čvrstim otpadom, institucionalna analiza može pomoći da se identifikuju i procene (Morgan i Taschereau, 1996):

- lokalni kontekst u pogledu raspodele odgovornosti kao što je definisano zakonima i politikom, pravila zaštite životne sredine, pravni i planski okviri oblasti, političke pokretače, ključne institucije procesa upravljanja i njihove aktere
- način na koji vlade donose odluke
- procesi na nacionalnom i nivou sektora koji se odnose na životnu sredinu i usluge javnog dobra
- veze ili nepostojanje veze između institucija
- institucionalne podsticajne mere, mogućnosti i prepreke koje mogu da utiču na buduće promene
- potencijalni lideri u vladi, društvu, privatnom sektoru koji bi doprineli budućem razvoju sistema upravljanja otpadom itd. .

Zemlje u razvoju se karakterišu fragmentacijom sistema u kombinaciji sa nedostatkom koordinacije što često dovodi do suprotnih akcija različitih aktera ili čak dupliranja napora da se nešto sprovede, i samim tim rasipanja resursa. Nedostatak zakona je delimično odgovorno za fragmentaciju odgovornosti.

Uobičajena situacija u zemljama u razvoju, među kojima je i Srbija, je postojanje pravnog okvira i uređenosti u oblasti zaštite životne sredine, u pojedinim slučajevima i usklađenost sa Direktivama Evropske unije, ali problem predstavlja njihovo sprovođenje, odnosno praćenje implementacije zakona i pratećih odredbi.

Uspešan i održiv sistem upravljanja otpadom, čine dve celine(Wilson i dr., 2013). Prva celina („hardware“) čine tri elementa:

- 1) zaštita zdravlja stanovništva koja se odnosi na sakupljanje otpada
- 2) životna sredine – zaštita životne sredine kroz tretman i odlaganje otpada
- 3) 3R – smanjenje, reciklaža i ponovna upotreba otpada, odnosno iskorišćenje otpada kao sirovine

Druga celina („software“) odnosi se na upravljanje sistemom i strategije koji treba da omogućé nesmetano funkcionisanje na dug rok.

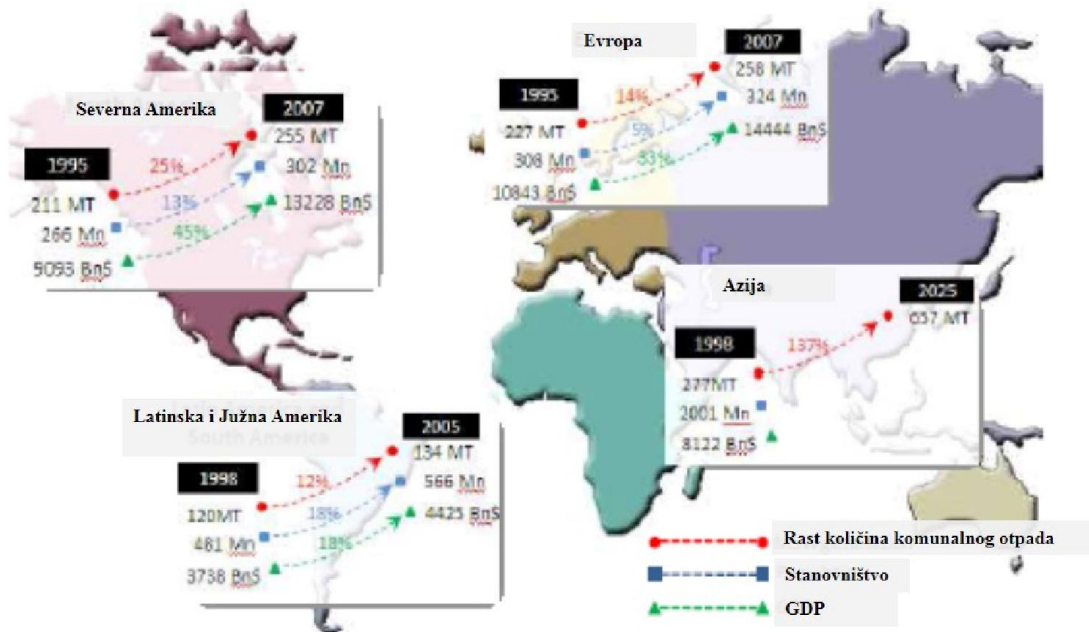
Sistem kao celina treba da :

- 1) omogući uključivanje stakeholder-a u sistem, i doprinese njegovom funkcionisanju kao korisnika usluga, pružaoca usluga i neko ko omogućuje pružanje usluge
- 2) bude finansijski održiv, troškovno efikasan i priuštiv
- 3) se zasniva na jakim i transparentnim institucijama i proaktivnim odredbama

U zemljama u razvoju postoje brojni primeri neuspešnih implementacija „dokazanih“ tehnologija za tretman otpada, zato što drugi element sistema „software“ nije bio prilagođen uslovima lokalne zajednice (Wilson, 2013), Stoga je važno prilagoditi sistem upravljanja otpadom lokalnim uslovima. Pri tome vodeći računa da svi elementi obe celine budu obuhvaćeni prilikom razvoja novog sistema upravljanja otpadom.



Na slici 25 prikazana je uzajamna povezanost količina otpada, populacije i BDP. Rast količina otpada zavisi od broja stanovništva i njihovog ekonomskog blagostanja. BDP raste mnogo većom brzinom, nego populacija i količina otpada, ali korelacija je pozitivna. Prema podacima Svetske banke, ekonomski slabije razvijene zemlje najveći deo budžeta predviđen za upravljanje otpadom izdvajaju na sakupljanje i transport otpada, stoga njihov sistem sakupljanja otpada je veoma neefikasan. Jedan od uzroka lošeg sistema upravljanja otpadom u slabo razvijenim i srednje razvijenim zemljama je nepostojanje javne svesti o značaju upravljanja otpadom kao i stav lokalnih zajednica da otpad nema vrednost, odnosno ne posmatra se kao resurs (Wilson, 2007).



Slika 25: Povezanost rasta količina otpada, stanovništva i GDP (Modak P., 2011)

### 3 Razvoj modela

#### 3.1 Ulazni podaci za razvoj modela

##### 3.1.1 Morfološki sastav i količine otpada u regionu Novog Sada

Morfološki sastav i količine otpada za region Novog Sada, dobijene su u skladu sa metodologijom koju su definisali Vujić i dr. (2010). Merenja količina otpada u Srbiji su prvi put urađena 2008. godine, dok buduće količine otpada za Srbiju, samim tim i za region Novog Sada, predstavljaju procene budućeg rasta otpada na osnovu merenja iz 2008. godine. Morfološki posmatrano, najveći udeo zauzima biorazgradivi otpad, skoro 50% ukupnog otpada, na osnovu čega se može zaključiti da region Novog Sada prema morfološkom sastavu otpada pripada zemljama u razvoju, što se odnosi i na Srbiju generalno (World Bank, 2012). Ulazni podaci korišćeni prilikom razvoja modela dati su u tabeli 5.

Tabela 5: Sastav komunalnog otpada u regionu Novog Sada (Vujić i dr., 2011)

Frakcije otpada	tona/godišnje	udeo u ukupnoj količini otpada (%)
Baštenski otpad	24.737	13
Ostali biorazgradivi otpad	62.367	33
Papir	13.704	7
Staklo	10.380	6
Karton	13.666	7
Karton-vosak	1.408	0,70
Karton-aluminijum	1.608	0,90
Metal- ambalažni i ostali	2.371	1
Metal - Al konzerve	466	0,25
Plastični ambalažni otpad	8.105	4
Plastične kese	11.293	6%
Tvrda plastika	8.071	4
Tekstil	7.497	4
Koža	1.038	0,50
Pelene	6.809	3,60
Fini elementi	15.569	8
Ukupno	189.089	100

Ukupno generisani otpada na teritoriji regiona Novog Sada u modelu prikazan je preko frakcija otpada, koji su izraženi u procentima (relativnim pokazateljima) i u tonama (apsolutni pokazatelji). Apsolutni pokazatelji se odnose na godine, odnosno količine generisanog otpada u toku jedne godine.

Ukupna količina otpada (M), predstavlja polaznu tačku za definisanje tokova otpada/frakcija u modelu koje su izražene u tonama na godišnjem nivou. Prema zahtevima EU Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu definisana je frakcija otpada za reciklažu (R). R frakcija se računa prema (5):

$$R = k * AO_u \quad (5)$$

k – procenat reciklaže ukupnog ambalažnog otpada ili pojedinačne frakcije ambalažnog otpada, može biti od 0% do 100%;  $AO_u$  – ukupna godišnja količina ambalažnog otpada ili ukupna količina pojedinačne frakcije ambalažnog otpada

Ambalažni otpad za reciklažu je grupisan na:

- Papir – papir, karton, karton-vosak, karton-aluminijum
- Plastika – plastični ambalažni otpad, tvrda plastika, plastične kese
- Metal – ambalažni i ostali, aluminijumske konzerve
- Staklo – ambalažni stakleni otpad i ostali stakleni otpad

U okviru studije „Utvrđivanje sastava otpada i procene količine u cilju definisanja strategije upravljanja sekundarnim sirovinama u sklopu održivog razvoja Republike Srbije“ određen je udeo ambalažnog otpada, u komunalnom otpadu na nivou Republike Srbije. Udeo ambalažnog otpada je sledeći:

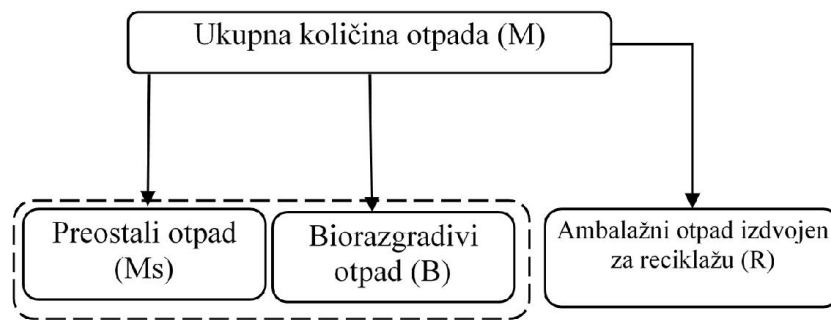
- 50% ambalažnog papira i kartona od ukupne količine generisanog papira i kartona
- 60% ambalažne plastike od ukupne količine generisanog plastičnog otpada
- 70% ambalažnog stakla od ukupne količine generisanog stakla
- 70% ambalažnog metala od ukupne količine generisanog metala
- 5% ambalažnog otpada od ukupne količine preostalog otpada

Prema zahtevu Direktive o deponovanju otpada, potrebno je smanjiti količinu biorazgradivog otpada koja se odlaže na deponiju, za 65% od ukupne količine. U skladu sa ovim zahtevom u modelu je definisana je frakcija B, koju je potrebno tretirati u skladu sa navedenom Direktivom. Jednačina (6) definisana je za određivanje frakcije B:

$$B = B_U * k \quad (6)$$

$B_U$  – ukupna godišnja količina biorazgradivog i baštenskog otpada; k – procenat reciklaže, može biti od 0% do 100%

Izdvajanjem frakcije za reciklažu, od ukupne količine otpada, dobija se frakcija „otpada za dalji tretman“ ( $M_p$ ). Izdvajanjem frakcije biorazgradivog otpada, ostaje frakcija „preostali otpad“ ( $M_s$ ), slika 26.



----- Mp frakcija za insineraciju

Slika 26: Tokovi otpada definisanih u modelu

Pored mogućnosti promena količina frakcija otpada, u skladu sa rastom ukupne količine otpada, model omogućava i promene procentualne zastupljenosti frakcija otpada. Promena procentualne zastupljenosti otpada u modelu nam daje mogućnost praćenja dinamike promene budućih količina otpada i definisanje potrebnih kapaciteta za tretman otpada. Prema sastavu otpada razvijenih zemalja, udeo biorazgradivog otpada se smanjuje a povećava se udeo ambalažnog otpada (World Bank, 2012).

### 3.1.2 Bruto domaći proizvod (BDP)

Bruto društveni proizvod predstavlja tržišnu vrednost ukupne mase proizvoda (materijalnih dobara i proizvodnih usluga) proizvedenih u jednoj zemlji za određeni period vremena, obično za godinu dana (Linkgroup). BDP dakle meri vrednost celokupne društvene proizvodnje u jednoj godini i predstavlja najkorišćeniji makroekonomski agregat, kako u ekonomskim analizama konkretne privrede, tako i u njenom poređenju sa drugim privredama je bruto društveni proizvod. Cilj makroekonomskih agregata je kvantitativno izražavanje vrednosti društvene proizvodnje kako bi se ona dalje mogla analizirati i razmatrati, planirati i porediti sa rezultatima drugih privreda. BDP je makroekonomski agregat koji istovremeno izražava dve veličine – ukupan dohodak privrednih subjekata i ukupne troškove svih roba i usluga u određenoj privredi. To znači da je ukupan dohodak uvek jednak ukupnom trošku i može se obračunati na dva načina: sabiranjem troškova svih privrednih subjekata i sabiranjem dohodaka svih privrednih subjekata. Celokupan BDP koji je ostvaren u okviru određene privrede odnosno nacionalne ekonomije se raspodeljuje na različite vidove potrošnje. BDP se sastoji iz četiri komponente (7) (Linkgroup):

$$BDP = P + I + G + (E - M) \quad (7)$$

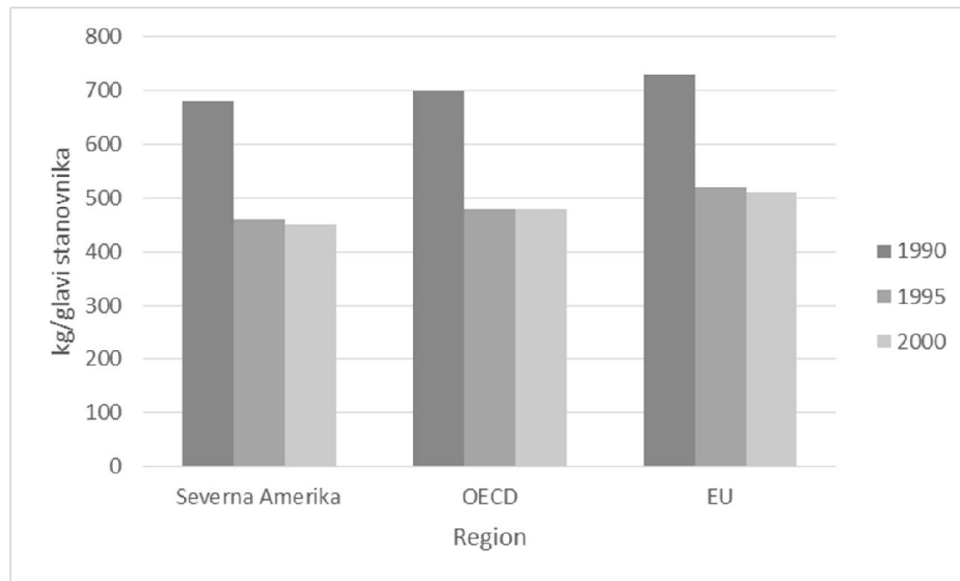
Potrošnja (P) – obuhvata finalnu potrošnju pojedinaca odnosno domaćinstava; domaćinstva svoj dohodak troše u celosti ili određeni deo dohotka štede; investicije; (I) – odnose se na potrošnju preduzeća kao privrednih subjekata i obuhvataju kupovinu osnovnih sredstava,

opreme, objekata i slično; državna potrošnja (G) – obuhvata sva trošenja državnog aparata, od ulaganja u izgradnju modernih saobraćajnica do plata državnih službenika (ove plate jesu deo državne potrošnje jer njima država plaća rad radne snage koju je angažovala); u državnu potrošnju, međutim, ne spadaju takozvana transferna plaćanja (penzije, socijalna davanja, subvencije preduzećima) jer ova plaćanja nisu izraz proizvodnje pa kao takva i ne mogu biti deo državne potrošnje; razlika između izvoza i uvoza odnosno neto izvoz ( $E - M$ ) – izvoz povećava bruto društveni proizvod, dok ga uvoz smanjuje; većina savremenih privreda predstavljaju takozvane otvorene privrede što znači da razmenjuju robe i usluge sa inostranstvom (za razliku od zatvorenih privreda koje to ne čine) i zbog toga u obračun svog bruto društvenog proizvoda moraju uneti i komponente izvoza i uvoza.

Pomenućemo i bruto nacionalni proizvod (GNP – Gross National Product) i društveni proizvod po glavi stanovnika (BDP per capita). GNP se razlikuje se od BDP-ja jer isključuje dohotke koji su strani građani ostvarili u domaćoj zemlji odnosno uključuje dohotke koje su domaći građani ostvarili u inostranstvu i društveni proizvod per capita odnosno društveni proizvod po glavi stanovnika. Društveni proizvod po glavi stanovnika pokazuje vrednost proizvodnje određene zemlje stavljen u odnos sa brojem njenih stanovnika. Što je društveni proizvod po glavi stanovnika viši to je i viši životni standard u posmatranoj zemlji. Ovaj pokazatelj se najčešće koristi i kao agregatni pokazatelj stepena razvijenosti nacionalne ekonomije – što je zemlja ekonomski razvijenija ona će ostvarivati veću vrednost proizvodnje po glavi stanovnika.

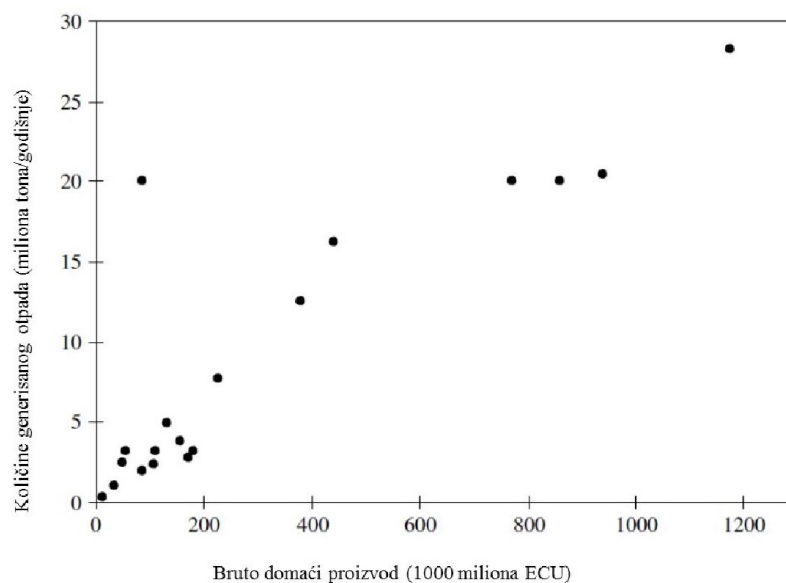
Od navedenih elemenata BDP, na rast otpada utiče komponenta potrošnja i izdaci domaćinstava na dobra i usluge. Udeo potrošnje domaćinstava u ukupnom BDP Srbije iznosi 73,7%, što ukazuje na činjenicu da veliki deo generisanog komunalnog otpada potiče iz domaćinstava, dok manji deo potiče od privrednih subjekata. (CIA, 2015).

Rast otpada nije lako predvideti. Razlog tome je veliki broj činilaca koji utiču na rast otpada. Među brojnim činiocima koji utiču na rast otpada mogu se izdvojiti dva koji u velikoj meri određuju rast budućih količina otpada, prvi je populacija i njen rast u određenom regionu, a drugi je potrošačke navike društva koje direktno zavise od bruto domaćeg proizvoda po glavi stanovnika. Prema makroekonomskim podacima 30 OECD zemalja, procenjeno je da povećanje nacionalnog dohotka za 1% će povećati količinu generisanog otpada za 0,69 % (Mavropoulos, 2010). Povećanje prihoda po glavi stanovnika indukuje rast potrošnje dobara i usluga, što neminovno dovodi do rasta količina otpada. Veći prihodi po glavi stanovnika rezultuju većim količinama otpada, slika 27.



Slika 27: Količine generisanog otpada po glavi stanovnika u OECD regionima (OECD, 2004)

Stanners & Bourdeau (1995), su pokazali povezanost između BDP-ja i generisanog otpada za nekoliko OECD zemalja, grafik 3.



Grafik 3: Generisani komunalni otpad kao funkcija BPD (Stanners & Bourdeau, 1995)

Privredni rast uz poboljšanje materijalnog stanja stanovništva isto tako može ukazati na vezu između količina generisanog otpada i privrednog stanja države (OECD, 2004)

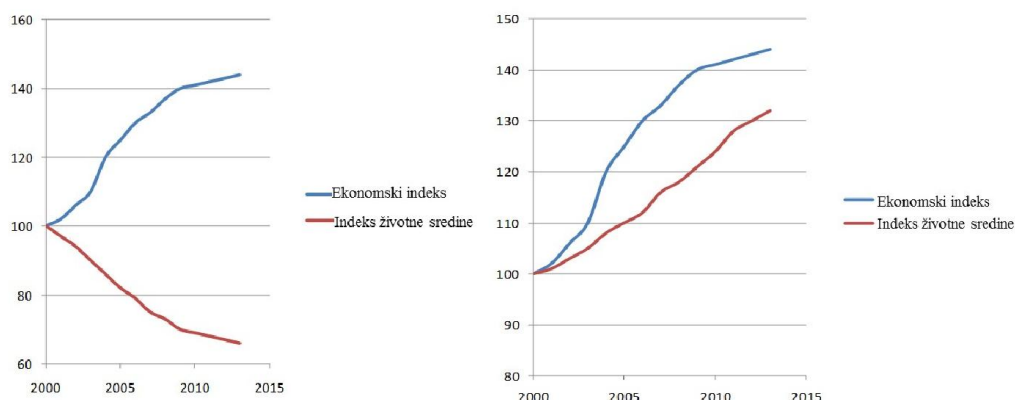
U tabeli 6 dat je prikaz povezanosti između rasta BDP, rasta populacije i rasta količina otpada. Prema prikazanim podacima, možemo zaključiti da je rast BDP mnogo veći od rasta populacije i količine otpada.

Tabela 6: Rast količina generisanog otpada u periodu od 1990. do 2000. godine u odnosu na rast populacije i bruto domaći proizvod (OECD, 2004)

	Rast količina otpada (%)	Rast BDP-ja (%)	Rast populacije (%)
Severna Amerika	13	37	10
Azijsko-Pacifički region	-11	25	5
OECD Evropa	23	23	5
EU 15	26	23	3
OECD ukupno	14	28	8

Ekonomski rast, ili rast proizvodnje i potrošnje, je ključna pokretačka snaga koja stoji iza povećanja količina otpada (BALKWASTE, 2010). EU Okvirna Direktiva o otpadu, je postavila kao jedan od opštih ciljeva „razdvajanje“, prekid veze, između ekonomskog rasta i uticaja ekonomskog rasta na životnu sredinu preko količina generisanog otpada. Osnovna svrha je da se odredi način merenja uticaja na životnu sredinu izazvanog ukupnom količinom generisanog komunalnog otpada. Intenzitet generisanja otpada, predstavlja indikator delovanja činilaca koji utiču na količine generisanog otpada i pokazuje odgovor na antropogene aktivnosti. Otpad koji nastaje po jedinici BDP (ukupni intenzitet otpada ) pokazuje da li postoji razdvajanje rasta otpada od ekonomskog rasta. Promene u vrednosti ovog pokazatelja omogućuju procenu efikasnosti politike zaštite životne sredine (UNECE, 2007)

Razdvajanje se javlja kada je stopa rasta ekološki relevantnih promenljivih manja od njenog ekonomskog pokretača (npr. BDP) za dat period. Stoga je važno napraviti razliku između apsolutnog i relativnog odvajanja, grafik 4. Ako BDP prikazuje pozitivan rast, "apsolutno odvajanje" je kada stopa rasta ekološki relevantnih promenljivih je nula ili negativna tj. uticaj na životnu sredinu je stabilan ili pada. "Relativno odvajanje" je kada stopa rasta ekološki relevantnih varijabli pozitivna, ali je manje od stope rasta BDP (OECD, 2002). Termin "razdvajanje" često se koristi u smislu odvajanje veze između "ekološki štetnih stvari" i "ekonomskih dobara". Posebno, se odnosi na stopu rasta faktora koji utiču na životnu sredinu i ekonomski relevantne promenljive sa kojim je uzročno povezano.



Grafik 4: „Apsolutno“ (grafik levo) i „relativno“ (grafik desno) razdvajanje (Alevridou i dr.,2001a)

BDP predstavlja jedan od mnogobrojnih faktora koji utiču na količine generisanog komunalnog otpada. Istovremeno, BDP je jedini ekonomski faktor preko koga se može pratiti količina generisanog komunalnog otpada, jer BDP predstavlja porast ili pad proizvodnje i potrošnje i ekonomski rast jedne zemlje. Rast BDP nije direktno proporcionalan količini generisanog otpada, neelastičan je u odnosu na BDP, što predstavlja nedostatak BDP kao kriterijuma za projekciju budućih količina otpada.

### **3.2 Kriterijumi za razvoj modela**

Razvoj modela za podršku odlučivanju za održivo upravljanje čvrstim otpadom je jedan od najčešće ispitivanih tema tokom poslednjih decenija (Karmperis i dr., 2013).

Sve veći broj lokalnih zajednica usvajaju koncept integrisanog upravljanja čvrstim otpadom, kako bi smanjila količine otpada koje se odlažu na deponiju. Integrisano upravljanje čvrstim otpadom ( ISWM ) je praksa kombinovanja različitih opcija tretmana otpada kako bi se ispunile zakonske odredbe, i na najefikasniji i najekonomičniji način zaštitila životna sredina, prirodni resursi i zdravlje stanovništva. Bez pravilnog i adekvatnog upravljanja otpadom i primenom razvijenih tehnologija, otpad se ne može efikasno tretirati čime se može oštetiti životna sredina i habitat (Bani dr., 2009).

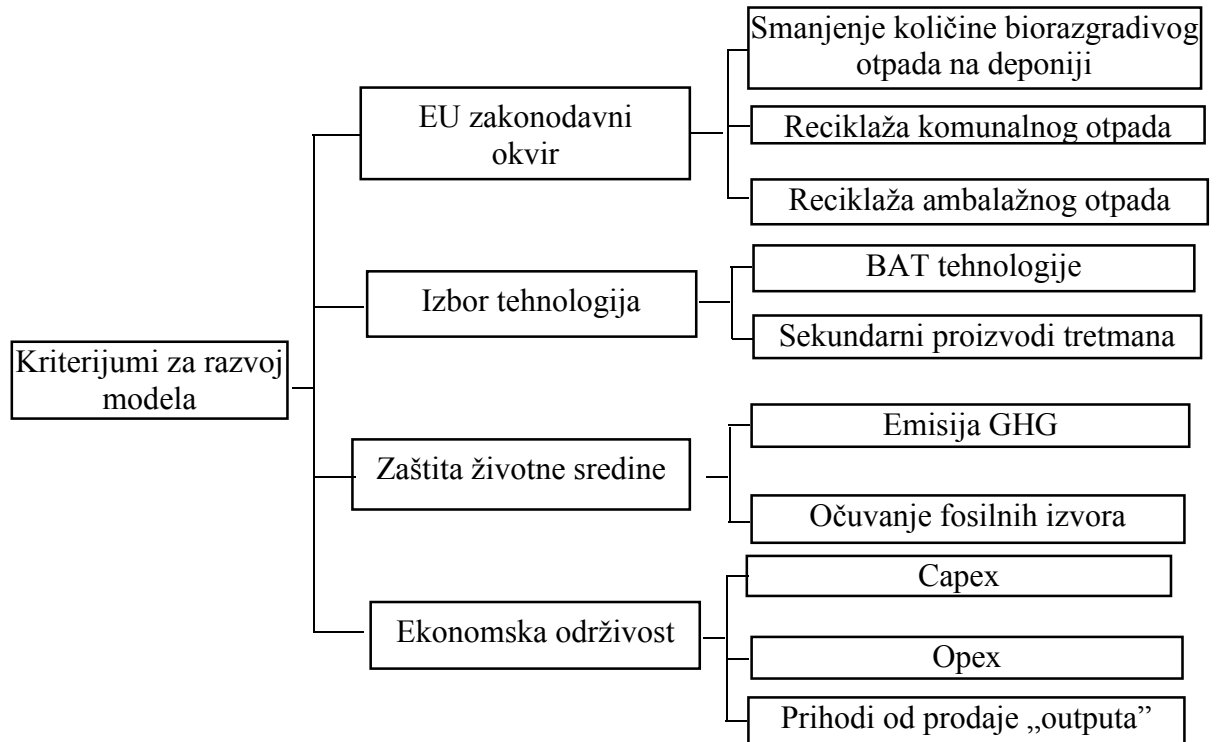
U analizi upravljanja otpadom , najčešći izbor kriterijuma zasnovan je na metodologiji od vrha ka dnu (top-down), počevši od definisanja primarnog cilja a to je izbor najbolje dostupnog tretmana otpada (BALKWASTE, 2011). Opšti ciljevi, su grupisani, u kriterijume drugog reda koji su više specifični za svaku od definisanih grupa. Kriterijumi drugog reda se karakterišu (Diakoulaki i Grafakos 2004):

- relevantnim vrednostima: kriterijumi bi trebalo da su povezani sa osnovnim ciljevima stakeholder-a kako bi se omogućilo da se na osnovu kriterijuma odrede prioriteta
- razumljivost: koncept svakog kriterijuma treba da bude jasan, kao i da postoji zajedničko merilo za određivanje budućih alternativnih opcija
- merljivost: performanse alternativa treba da su merljive, kvantitativno ili kvalitativno
- jedinstvenost kriterijuma: svaki od kriterijuma je jedinstven i važan, bez uticaja na druge kriterijume prilikom određivanja budućih alternativnih opcija

Model razvijen u okviru ovog rada zasnovan na „input-output“ analizi, predstavlja alat/sredstvo donosiocima odluka za izbor optimalnog sistema upravljanja otpadom, koji je zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti. Glavni cilj modela je izbor optimalnog tretmana otpada (scenarija), pri čemu su uzeti u obzir sledeći definisani kriterijumi, slika 28.

- ✓ ispunjavanje ciljeva Evropske politike i propisa u oblasti upravljanja otpadom
- ✓ izbor tehnologija koje su dokazane kao pouzdane za tretman otpada (BAT)
- ✓ zaštita životne sredine u smislu smanjenja emisije GHG izabranih opcija za tretman otpada, i maksimalno iskorišćenje otpada kao resursa,
- ✓ ekonomska održivost sistema za upravljanje otpadom na dug rok





Slika 28: Kriterijumi za razvoj modela

### 3.2.1 Zakonski propisani ciljevi u oblasti upravljanja otpadom

Kao prvi i osnovni kriterijum za razvoj modela su zahtevi EU Direktiva u oblasti upravljanja otpadom. Srbija se nalazi u procesu pridruživanja EU, što podrazumeva transpoziciju i sprovođenje pravnih normi EU, između ostalog pravnih normi koje se odnose na zaštitu životne sredine, uključujući i segment koji se odnosi na zakonsku regulativu iz oblasti upravljanja otpadom.

Tri ključne Direktive iz oblasti upravljanja otpadom su od značaja za razvoj budućeg sistema upravljanja otpadom u regionu Novog Sada, kao i za Srbiju:

- ✓ Okvirna Direktiva o upravljanju otpadom,
- ✓ Direktiva o deponovanju otpada i
- ✓ Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu.

Odredbe koje je potrebno sprovesti i implementirati prema navedenim Direktivama su brojne. Najvažniji zahtevi iz navedenih Direktiva, koji su korišćeni prilikom razvoja modela, su:

- ✓ Zahtevi Okvirne Direktive prema kojima je potrebno sistem upravljanja otpadom organizovati u skladu sa hijerarhijom upravljanja otpadom, reciklirati minimum 50% od ukupne količine generisanog komunalnog otpada.

- ✓ Zahtev Direktive o deponovanju otpada prema kojem je potrebno smanjiti količinu biorazgradivog otpada koji se odlaže na deponiju, u skladu sa definisanim ciljevima
- ✓ Zahtevi Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu, prema kojima je potrebno ispuniti ciljeve koji se tiču reciklaže i energetskog iskorišćenja ambalažnog otpada i ispuniti ciljeve za reciklažu pojedinačnih tokova ambalažnog otpada

Iskustva zemalja članica EU ukazuju da zemlje članice koje su imale razvijene sisteme upravljanja otpadom (Nemačka, Holandija), gde je postojala taksa za deponovanje otpada, nisu imale poteškoća da sprovedu Direktive i ispune propisane ciljeve. Druga grupa zemalja, Španija, Mađarska, Portugalija su delimično ispunile ciljeve propisane Direktivama. Problem predstavlja nedovoljan stepen reciklaže, upravljanje otpadom nije u skladu sa hijerarhijom otpada i u pojedinim slučajevima biološki otpad se i dalje odlaže na deponije. Zemlje članice koje su svoje sisteme upravljanja otpadom zasnivale isključivo na deponovanju otpada i dalje ne mogu da ispune propisane ciljeve npr. Grčka, Bugarska, Rumunija. U ovim zemljama još nisu uvedene takse za odlaganje otpada na deponije, drugi vidovi tretmana otpada su retki ili ne postoje (BiPRO, 2013).

Ispunjavanje navedenih zahteva u ove tri Direktive će u velikoj meri uticati na izgled budućeg sistema upravljanja otpadom u regionu Novog Sada. Model kao ulazni podatak koristi vrednosti koje se tiču generisanog komunalnog čvrstog otpada na teritoriji regiona Novog Sada i smatra se da je pokrivenost uslugom sakupljanja otpada 100%, i nije analizirana efikasnost sakupljanja otpada. Obzirom da u regionu Novog Sada nije uspostavljeno odvojeno sakupljanje biorazgradivog otpada, u modelu je pretpostavka da postoji odvojeno sakupljanje biorazgradivog otpada.

Prema zahtevima Okvirne Direktive o otpadu, potrebno je reciklirati minimum 50% od ukupne količine komunalnog otpada i to najmanje za papir, plastiku, metal i staklo. Okvirna Direktiva, odnosno Odlukom 2011/753/EC, predložena su četiri modela za proveru stepena usaglašenosti sa ciljem Direktive, reciklažom minimum 50% od ukupne količine generisanog otpada.

Prema zahtevima EU Direktive o deponovanju, smanjivanje količine deponovanog biorazgradivog otpada potrebno je sukcesivno smanjivati, a kao krajnji cilj je smanjenje 35% ukupno deponovanog biorazgradivog otpada koje je potrebno ispuniti 2016. godine. Na osnovu vremenskog perioda definisanog u Direktivi o deponovanju, u modelu je definisan vremenski horizont od 15 godina za koji je potrebno smanjiti količine deponovanog biorazgradivog otpada do 35%. Obzirom da u Republici Srbiji nije još uvek definisana strategija smanjenja biorazgradivog otpada i nije definisana referentna godina od koje će se pratiti ispunjenje ciljeva, a činjenica da se u Srbiji nisu sprovodila merenja karakteristika otpada pre 2008. godine, kao referentna godina je uzeta 2008. godina (Batinić B., 2015).

U morfološkom sastavu otpada regiona Novog Sada, postoje baštenski otpad i ostali biorazgradivi otpad. U modelu ove dve frakcije otpada su spojene u jednu, frakciju B (biorazgradivi otpad), kako bi se pratilo ispunjenje kriterijuma koji se tiče smanjenja količina biorazgradivog otpada koji se odlaže na deponije prema Direktivi o deponovanju i reciklaže otpada prema Okvirnoj Direktivi. Frakcija B predstavlja ukupnu količinu baštenskog i biorazgradivog otpada koju je potrebno tretirati i njena vrednost je primarno definisana prema Direktivi o deponovanju otpada, 65% od ukupne količine, a moguće je i povećati stepen reciklaže (količinu) do 100%.

Važno je napomenuti da Okvirna EU Direktiva o otpadu i Direktiva EU o deponovanju otpada različito definišu pojmove biorazgradivi otpad i „bio-otpad“. Na osnovu definicije koja se koristi u Direktivi EU o deponijama, kao i u domaćem Zakonu o upravljanju otpadom (Službeni glasnik RS - 88/2010), pod biorazgradivim komunalnim otpadom se podrazumeva: „otpad koji je pogodan za anaerobnu ili aerobnu razgradnju, kao što su hrana, baštenski otpad, papir i karton“. „Bio-otpad“ koji se koristi u sklopu Okvirne EU Direktive o otpadu podrazumeva otpad iz bašte, parkova, ostaci hrane koji potiču od domaćinstava, restorana, prodavnica i maloprodajnih objekata, a uključuje i otpad koji nastaje iz procesa prerade hrane. U ovom radu pojam biorazgradivi otpad se odnosi na definiciju datu u Direktivi EU o deponijama.

Direktivom o ambalaži i ambalažnom otpadu propisuju se ciljevi za reciklažu ambalažnog otpada od minimum 55% do maksimalnih 80% od ukupne količine generisanog ambalažnog otpada, kao i ciljeve za pojedinačne tokove ambalažnog otpada:

- papir 60%,
- staklo 60%,
- plastiku 22,5%,
- metal 50% i
- drvo 15%.

Pored ciljeva propisanih za reciklažu ambalažnog otpada, ovom Direktivom propisani su i ciljevi za energetske iskorišćenje ambalažnog otpad od minimum 60%. Ispunjenje ovog cilja je moguće pratiti u razvijenom modelu, ali u samom radu nije rađena analiza ispunjenja ovog cilja. Praćenje postizanja ciljeva prema Direktivi o ambalaži i ambalažnom otpadu i određivanje količina ambalažnog otpada koje je potrebno reciklirati, u modelu je definisano preko parametra R. Parametar R predstavlja količinu ambalažnog otpada potrebnu da se reciklira kako bi da se ispunili ciljevi za reciklažu ambalažnog otpada. U zavisnosti od cilja koji želi da se postigne prema Direktivi, u modelu se mogu definisati stepen reciklaže za pojedinačne ambalažne tokove ili reciklažu ukupno generisanog ambalažnog otpada.

U Srbiji navedene odredbe Direktivi su već implementirane u nacionalnim zakonskim aktima, ali njihova implementacija zaostaje, najviše iz razloga slabo razvijenih mehanizama koji bi podstakli njihovu implementaciju, nedostatka kaznene politike, slabih institucionalnih kapaciteta za njihovo sprovođenje, nejasno definisane nadležnosti itd.

Procenat reciklaže, biorazgradivog otpada i ambalažnog otpada moguće je menjati u vremenskom horizontu, u zavisnosti od promena morfološkog sastava otpada i količina otpada npr. promenom morfološkog sastava otpada, povećanjem ili smanjenjem određene frakcije, menja se njena količina koju je potrebno reciklirati. Na ovaj način moguće je odrediti buduće količine potrebne da se recikliraju, planirati ciljeve za odvajanje otpada i samim tim odrediti način na koji će se ovi ciljevi ostvariti npr. izdvajati više plastike a manje papira u jednoj godini zbog promena u morfološkom sastavu itd.

### **3.2.2 Izbor tehnologija**

Tehnološki postupci za tretman otpada koji su prikazani u modelu, su u praksi dokazani kao adekvatni za tretman komunalnog otpada i široko su primenjeni su u praksi. Izabrane tehnologije su tehnički i tehnološki u potpunosti razvijene i primenjive bez velikih ograničenja. Iako danas postoje u upotrebi napredne tehnologije za termički tretman (ATT) otpada (piroliza, gasifikacija), one nisu analizirane jer ne postoje relevantni dostupni podaci o njihovim mogućnostima za tretman komunalnog otpada i troškovima. Sa druge strane, prilikom izbora tehnologije prednost je data tehnologijama čiji krajnji produkti, nakon tretmana otpada, imaju tržišnu vrednost, naročito tehnologijama kojima se može dobiti energija iz otpada. Tehnologije koje omogućavaju energetska iskorišćenje otpada, doprinose energetske stabilnosti i sigurnosti sistema i doprinose ispunjavanju cilja koji je vezan za povećanje udela obnovljivih izvora energije u ukupnom energetske bilansu. Prema podacima koji se mogu naći u literaturi, životni vek postrojenja za biološki tretman otpada je između 10 i 15 godina, u zavisnosti od primenjenog tehnološkog procesa. Postrojenja za termički tretman imaju životni vek od 20 do 30 godina (ARCADIS, 2009; World Bank, 2012).

Danas postoje različite opcije za tretman otpada, mešanog/ne sortiranog čvrstog komunalnog ili pojedinačnih frakcija otpada izdvojenih za ponovnu upotrebu i reciklažu ili pred-tretman pre odlaganja na deponiju. Generalno možemo razlikovati dva tipa sistema upravljanja otpadom: upravljanje mešanim otpadom i upravljanje otpadom koji se razdvaja. U zavisnosti od načina upravljanja otpadom, postoji nekoliko mogućnosti za tretman otpada. U slučaju mešanog otpada, otpad se može deponovati, spaljivati u insineratorima sa pokretnom rešetkom i tretirati u MBT postrojenju. Otpad koji se razdvaja, u slučaju biorazgradivog otpada, podleže procesu kompostiranja ili anaerobne digestije, dok reciklaža predstavlja ponovnu upotrebu frakcija otpada koje se mogu nakon tretmana ponovo koristiti u istom ili izmenjenom obliku.

U praksi se uglavnom biološki tretmani primenjuju isključivo za odvojeni biorazgradivi otpad, jer ostale frakcije koje se nalaze u otpadu ne podležu biološkoj razgradnji i s toga se ne mogu tretirati na ovaj način. Anaerobna digestija inicijalno je korišćena za tretman mešanog otpada, uključujući i kanalizacioni mulj. U literaturi se može pronaći podatak da u Kanadi postoji oko 80 postrojenja za anaerobnu digestiju koji kao sirovinu koriste mešani otpad, ali ne postoje precizniji podaci (Stantec, 2009).

Značajan ekonomski aspekt reciklaže je da se reciklirani proizvodi moraju prodati na tržištu po ceni koja pokriva najmanje troškove njihovog ponovnog iskorišćenja, bez ikakvih subvencija. Cena recikliranih materijala u velikoj meri zavisi od kvaliteta reciklata, načina pred-tretmana, čime je cena veća u odnosu na mešani otpad odnosno sirovine koje nisu razdvojene na mestu nastanka nego su izdvajane iz mešanog otpada. Iskustva su pokazala da najbolju cenu imaju sirovine koje su izdvojene u domaćinstvima za dalju reciklažu.

Analizirane tehnologije u okviru modela prikazane su u tabeli 7. U okviru tretmana anaerobnom digestijom, generisani biogas se koristi za dobijanje električne i toplotne energije. U slučaju odlaganja otpada na deponiju, količine sa oznakom  $\Delta$ , predstavljaju ostatke nakon tretmana koji se odlažu na deponiju npr. ostaci nakon kompostiranja. U okviru modela definisani su sistemi za upravljanje mešanim i razdvojenim otpadom, odnosno tehnologije u okviru svakog sistema u skladu sa definisanim frakcijama otpada i njihovim izlazima „output-ima“ koji predstavljaju prihode postrojenja i masenim izlazima, tabela 7.

Tabela 7: Ulazni i izlazni parametri analiziranih tretmana otpada u modelu

Tehnologija tretman otpada	Deponija	Insineracija CHP	Anaerobna digestija CHP	Kompostiranje zatvorenog tipa
„Input“-frakcije (t./god.)	Ms; ΔMs; ΔB	Ms; Mp	B	B
„Output-i“	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• električna energija,</li> <li>• toplotna energija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kompost</li> <li>• električna energija</li> <li>• toplotna energija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kompost</li> </ul>
Maseni izlazi	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pepeo sa dna rešetke</li> <li>• lebdeći pepeo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ostaci nakon tretmana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ostaci nakon tretmana</li> </ul>

### 3.2.3 Zaštita životne sredine – uticaj emisija gasova sa efektom staklene bašte (GHG) iz postrojenja za tretman otpada na klimatske promene

Prvi i osnovni cilj upravljanja otpadom je zaštita životne sredine i očuvanje zdravlja stanovništva (Willson i dr., 2011) (Brunner & Fellner, 2007). Kao jedan od najvećih problema u zemljama u razvoju je postojanje velikog broja nekontrolisanih divljih deponija, koje predstavljaju rizik po životnu sredinu i zdravlje ljudi, pri čemu dolazi do emitovanja metana, gasa sa efektom staklene bašte, koji se stvara na deponijama. Jedan od razloga takvog stanja u oblasti upravljanja otpadom, u zemljama u razvoju, je nedostatak finansijskih sredstava za razvoj naprednijeg sistema upravljanja otpadom kao i istorijskog nemara pitanja čvrstog otpada koji je uglavnom fokusiran na ispunjenje minimuma koji se tiče očuvanja javnog zdravlja stanovništva (Stanic-Maruna i Fellner, 2012).

Danas, sektor otpada doprinosi sa manje od 5% ukupne globalne emisije gasova staklene bašte (Bogner i dr., 2007). Smatra se da emisija metana sa deponija predstavljaju glavni uzrok promena klime koja potiče iz sektora otpada, 700 miliona tona ekvivalenta CO<sub>2</sub> prema procenama za 2009-tu godinu (UNEP, 2010). Od preostalih GHG koji imaju uticaj na klimatske promene, a potiču od upravljanja otpadom i deponovanja su ugljen -dioksid (CO<sub>2</sub>) i azot oksid (N<sub>2</sub>O). Sva tri gasa se stvaraju u toku procesa upravljanja i odlaganja otpada. Upravljanje otpadom ima širok spektar negativnih uticaja na životnu sredinu. Negativni uticaji između ostalog uključuju zdravlje ljudi što se može pripisati zagađujućim materijama, kao što su NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, dioksini i sitne čestice, emisija supstanci koje oštećuju ozonski omotač, kontaminacija vodenih tokova, iscrpljivanje neobnovljivih izvora, buka, nezgode itd.

Danas postoje razvijene tehnologije kojima je moguće smanjiti emisiju GHG koji potiču od otpada, uključujući deponovanje otpada i energetsko iskorišćenje deponijskog gasa ( smanjuje

emisije CH<sub>4</sub>), recikliranje otpada nakon upotrebe (izbegava se stvaranje otpada), kompostiranje otpada (smanjuje emisiju GHG), kao i procese koji smanjuju GHG emisiju u odnosu na deponije (termalni procesi uključujući spaljivanja i industrijski ko-spaljivanje, MBT sa deponovanjem ostataka, i anaerobna digestija). Smanjenje emisije gasova staklene bašte iz otpada mora se rešavati u kontekstu integrisanog upravljanja otpadom (Bogner i dr., 2007).

Naučni dokazi pokazuju da su uzrok globalnom zagrevanju su emisije GHG. Jedan od glavnih gasova staklene bašte je ugljen -dioksid. Ali takođe azot sub-oksida (N<sub>2</sub>O), metan (CH<sub>4</sub>) i nekoliko drugih jedinjenja su uzročnici pojave globalnog zagrevanja. Kako se njihovi potencijali globalnog zagrevanja razlikuju, praksa je da težinu svojih efekata (emisija) na globalno zagrevanje mere preko potencijala globalnog zagrevanja (GWP) tokom perioda od 100 godina, a zatim se efekat emisije izrazi preko CO<sub>2</sub> ekvivalenta. GWP je indeks za procenu relativnog uticaja emisije na globalno zagrevanje 1 kg GHG u odnosu na emisiju 1 kg CO<sub>2</sub>. Metan ima potencijal globalnog zagrevanja 23 kg za 100 godina, što znači da 1 kg CH<sub>4</sub> zagreva zemaljsku kuglu 23 puta višem nego ista količina CO<sub>2</sub> u proseku tokom 100 godina (Rutz i Janssen, 2008).

U okviru studije koju je sprovedla Evropska komisija, analiziran je uticaj različitih tehnologija (tretmana) komunalnog čvrstog otpada na klimatskih promene, pri čemu je urađena analiza svih dostupnih tehnologija na nivou EU, i procenjen njihov uticaj na globalno zagrevanje, izražen preko CO<sub>2</sub> eq. (EC, 2001). U okviru studije analiziran je uticaj na globalno zagrevanje sledećih elemenata procesa upravljanja otpadom:

- Mobilizacija - predstavlja indirektno emisije vezane za prikupljanje, sortiranje, preradu i transport otpada koje utiču na klimatske promene.
- Proces - emisije koje potiču od procesa ili tretmana otpada, uključuje emisije gasova koji potiču od otpada (direktna emisija) i iz goriva koje se koristi prilikom tretmana (indirektno emisije).
- Odlaganje/korišćenje - obuhvata emisiju gasova staklene bašte koji potiču od odlaganja otpada na deponije ili korišćenje materijala koji potiču od otpada.
- „Rasute/Izmeštene“ emisije – emisije u atmosferu koje su izbegnute upotrebom energije ili materijala dobijenih iz otpada, i time smanjena emisija iz alternativnih izvora energije koji bi bili iskorišćeni u sistemu da nije dobijena energija iz otpada. Energija dobijena spaljivanjem otpada u insineratorima, uz stvaranje električne i toplotne energije, smanjuje emisiju koja bi nastala npr. upotrebom fosilnih goriva za dobijanje iste te energije.

Uticaj na klimatske promene dostupnih tretmana otpada je zbir uticaja navedenih elemenata za svaki od analiziranih tretmana. U okviru modela analiziran je uticaj sledećih tretmana otpada na klimatske promene:

- Deponovanje netretiranog otpada
- Reciklaže
- Kompostiranja
- Anaerobne digestije
- Insineracije CHP

#### *Reciklaža otpada*

Reciklažom otpada, odnosno frakcija koje mogu nakon obrade da se ponovo koriste kao sirovine za nove proizvode, smanjuje se količina otpada koja se deponuje i smanjuje se upotreba neobnovljivih resursa za proizvodnju novih sirovina, uključujući i smanjenu potrošnju energije. Prema istraživanjima, reciklaža rezultira najvećim smanjenjem GHG, tj. najmanjim uticajem na klimatske promene, u odnosu na druge metode upravljanja otpadom. (ISWA 2009, Christensen T., 2011; US EPA, 2006). Procene smanjenja GHG se uglavnom zasnivaju na premisi da reciklirani materijali, zamenjuju jednaku - ili gotovo jednaku - količinu materijala koja bi se iskoristila u sistemu za proizvodnju istog proizvoda. U tabeli 8, prikazani su emisioni faktori prilikom reciklaže ambalažnog otpada koji potiče iz mešanog otpada, po toni frakcije za reciklažu. Vrednosti su dobijene na osnovu emisionih faktora datih u tabeli 9, na osnovu morfološkog udela frakcija ambalažnog otpada u komunalnom otpadu na nivou EU i odnose se na tonu sakupljenog otpada za reciklažu. U okviru modela iWARM (Individual Waste Reduction Model), koji je razvijen od strane EPA, kako bi se analizirale uštede energije prilikom reciklaže, emisioni faktor za reciklažu mešanog ambalažnog otpada je 410 kg CO<sub>2</sub>eq (EPA, 2013). Dobijena vrednost se odnosi na tonu sakupljenog otpada za reciklažu.

*Tabela 8: Emisioni faktori iz procesa reciklaže mešanog otpada (prilagođeno prema EC, 2001)*

	Staklo	Plastika (HDPE)	Obojeni metali	Aluminijum	Papir	Ukupno reciklaža
Emisija GHG (kg CO <sub>2</sub> eq.)	-30	-41	-63	-95	-177	-400

Ukoliko se posmatraju pojedinačne frakcije za reciklažu, papir, plastika, karton, staklo, aluminijum, reciklažom 1 tone aluminijuma ostvari se smanjenje emisije CO<sub>2</sub> eq. od 9.074 kg. Prema studiji urađenoj u Nemačkoj, reciklažom papira i kartona ostvaruje se smanjenje emisije CO<sub>2</sub> eq. od 731 kg po toni recikliranog papira, reciklažom stakla smanjuje se emisija CO<sub>2</sub> eq. za 465 kg po toni recikliranog stakla, dok reciklažom 1 tone plastike se smanjuje emisija CO<sub>2</sub> eq. za 741 kg.

Tabela 9: Emisioni faktori za pojedinačne frakcije recikliranog otpada (kg. CO<sub>2</sub> eq.) (prilagođeno prema EC 2001)

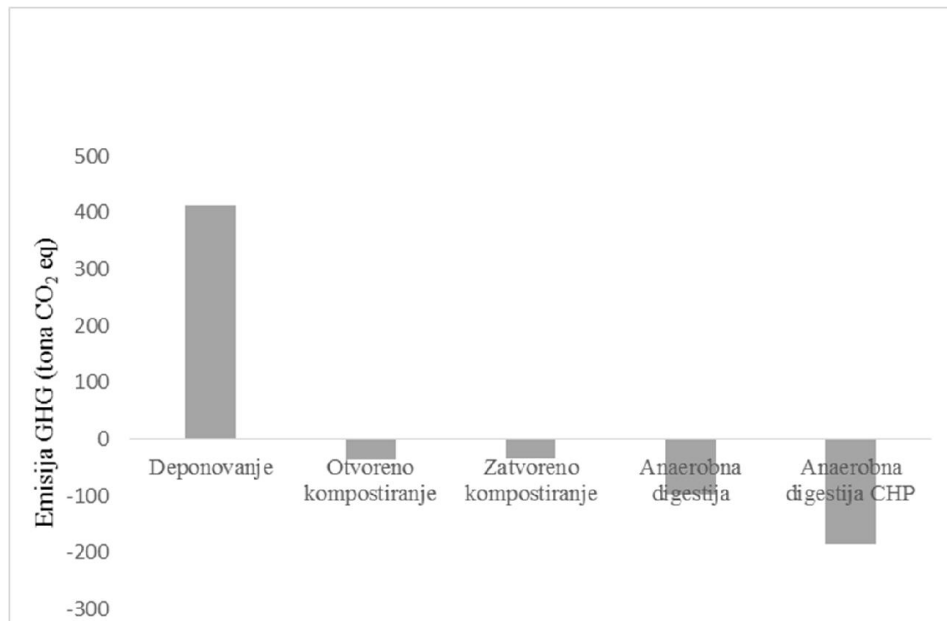
Frakcija otpada	CO <sub>2</sub> poreklom iz fosilnih goriva				Ukupan C i izdvojeni C (GHG flux)
	Mobilizacija	Proces	Odlaganje/korišćenje	„Izbegnute“ emisije	
Papir	0	24	-634	10	-600
HDPE plastika	0	24	-530	15	-491
PET plastika	0	24	-1800	15	-1.761
Staklo	0	24	-287	10	-253
Obojeni metali	0	24	-1521	10	-1.487
Aluminijum	0	24	-9108	10	-9.074
Tekstil	0	24	-3203	10	-3.169

Obzirom da je u modelu razmatrana reciklaža ukupne količine ambalažnog otpada koju je potrebno sakupiti za reciklažu, emisioni faktor za proces reciklaže korišćen u modelu je -400 CO<sub>2</sub> eq. po toni tretiranog otpada.

#### *Biološki tretman otpada – kompostiranje i anaerobna digestija*

Procenjuje se da uticaj kompostiranja na klimatske promene, zatvoreni i otvoreni sistem kompostiranja u Evropi, smanjuje emisiju GHG za 35 kg CO<sub>2</sub> eq. po toni mokrog organskog otpada (EC, 2001; Boldrin i dr 2009 ), uzimajući u obzir đubriva i supstituciju treseta i skladištenje ugljenika u zemljištu. Prema drugim izvorima, proces kompostiranja doprinosi smanjenju emitovanog CO<sub>2</sub> eq. u atmosferu za 57 kg po toni tretiranog biorazgradivog otpada, uključujući i skladištenje ugljenika u zemljištu (Dehourst i dr., 2010).





Grafik 5: Emisija GHG prilikom tretmana biorazgradivog otpada (prilagođeno prema EC, 2001)

Anaerobna digestija, kao alternativa kompostiranju, u zavisnosti od energetske efikasnosti i krajnje upotrebe generisanog biogasa, može doprineti neto smanjenju GHG i uticaju na klimatske promene, u rasponu od 375 do 111 kg CO<sub>2</sub> eq. po toni tretiranog organskog otpada (Møller i dr., 2009). Prema Billinger A. (2010), proces anaerobne digestije doprinosi smanjenju emitovanog CO<sub>2</sub> eq od 62 kg do 86 kg po toni tretiranog biorazgradivog otpada. Na grafiku 5, date su vrednosti emisije GHG prilikom tretmana biorazgradivog otpada. U poređenju sa kompostiranjem, anaerobna digestija značajno doprinosi smanjenju emitovanog CO<sub>2</sub>, dok je efekat smanjenja emitovanog CO<sub>2</sub> najveći u slučaju iskorišćenja biogasa za dobijanje toplotne i električne energije. U tabeli 10 prikazan je uticaj postrojenja za anaerobnu digestiju na klimatske promene prilikom iskorišćenja energije dobijene iz biogasa, odnosno zamenom drugih izvora energije u sistemu. Navedene emisione faktore potrebno je pomnožiti sa tretiranom količinom biorazgradivog otpada.

Tabela 10: Emisija GHG iz procesa AD uz iskorišćenje energije u sistemu (prilagođeno prema EC 2001)

Tretman otpada	Frakcija otpada	Tok ugljenika koji potiče od biorazgradivog otpada (kratak ciklus C)	CO <sub>2</sub> poreklom iz fosilnih izvora					„Zarobljeni“ C koji potiče od kratkog ciklusa C	Ukupan fosilni C i „zarobljeni“ C (GHG emisija)
			Proces	Korišćenje energije	Smanjenje korišćenja energije i sirovina	Mobilizacija /transport			
<i>AD – dobijanje el. energije iz biogasa</i>									
Prosečna elektrana EU	u	Biorazgradivi organski otpad	721	0	0	-90	8	-22	-104
		Papir	250	0	0	-90	8	-22	-104
Energija vetra		Biorazgradivi organski otpad	721	0	0	-37	8	-22	-51
		Papir	250	0	0	-37	8	-22	-51
Energija uglja	iz	BMW	721	0	0	-151	8	-22	-165
		Biorazgradivi organski otpad							
		Papir	250	0	0	-151	8	-22	-165
<i>AD – CHP tehnologija</i>									
Prosečna elektrana EU	u	Biorazgradivi organski otpad	721	0	0	-171	8	-22	-185
		Papir	250	0	0	-171	8	-22	-185
Energija vetra		Papir	721	0	0	-118	8	-22	-132
		Biorazgradivi organski otpad	250	0	0	-118	8	-22	-132
Energija uglja	iz	Papir	721	0	0	-232	8	-22	-246
		Biorazgradivi organski otpad	250	0	0	-232	8	-22	-246

U modelu korišćeni su sledeći emisijski faktori prilikom analize uticaja tretmana biorazgradivog otpada na klimatske promene:

- Kompostiranje otvorenog tipa – 37 kg/CO<sub>2</sub> eq.
- Kompostiranje zatvorenog tipa – 38 kg/CO<sub>2</sub> eq.
- Anaerobna digestija sa iskorišćenjem biogasa za dobijanje toplotne i električne energije – 185 kg/CO<sub>2</sub> eq.

### Insineracija

Insineracija sa pokretnom rešetkom, koja se koristi za tretman mešanog komunalnog otpada, čak i bez iskorišćenja energije, rezultira manjim neto fluksom GHG od deponija sa sistemom za sakupljanje deponijskog gasa (EC, 2001). Uticaj procesa spaljivanja otpada na klimatske promene i emisiju GHG prvenstveno zavisi od krajnje upotrebe dobijene energije tj. izvora energije koji će zameniti u sistemu. Ukoliko bi se energija dobijena spaljivanjem otpada u insineratorima CHP tipa, iskoristila za zamenu energije dobijene iz elektrane na ugalj, emisija CO<sub>2 eq.</sub> bi se smanjila za 563 kg po toni otpada, odnosno za 348 kg, ukoliko bi se energija iz otpada iskoristila za zamenu električne i toplotne energije na nivou potrošnje u EU 2000. godine, tabela 11.

Tabela 11: Emisija GHG iz insineratora sa pokretnom rešetkom\* (EC, 2001)

	Insineracija bez iskorišćenja energije	Insinerator sa iskorišćenjem el. energije	CHP insinerator
N <sub>2</sub> O	15	15	15
emisija CO <sub>2</sub> iz transporta	8	8	8
smanjena upotreba energije i sirovina	-72	-262	-601
CO <sub>2</sub> iz procesa	230	230	230
Ukupna emisija GHG (kg CO <sub>2 eq.</sub> )	181	-10	-348

\*prosečna emisija GHG pri iskorišćenju energije otpada u cilju zamene prosečno potrošene električne i toplotne energije u 2000. godini (kg CO<sub>2 eq</sub> toni otpada)

Obzirom da se ne može sa sigurnošću tvrditi da će se energija dobijena spaljivanjem otpada koristiti za zamenu energije dobijene iz uglja u modelu je korišćen emisioni faktor za analizu uticaja tretmana otpada insineracijom na globalno zagrevanje od -348 kg/CO<sub>2 eq.</sub> po toni tretiranog otpada, što odgovara efektu zamene potrošene energije na nivou EU u 2000. godini.

### Deponovanje

Deponovanje otpada, prema hijerarhiji upravljanja otpadom predstavlja najmanje poželjan tretman otpada. Danas postoje razvijene tehnologije koje omogućavaju efikasno upravljanje deponijskim gasovima, čime se u značajnoj meri smanjuje uticaj GHG koji potiču sa deponija na životnu sredinu i klimatske promene. Deponovanje otpada predstavlja krajnu mogućnost kada se radi o upravljanju otpada. Najveći uticaj na klimatske promene ima emisija metana sa deponija i onda doprinosi u značajnoj meri globalnom zagrevanju. U tabeli 12. prikazana je ukupna emisija GHG koji potiču od deponovanja netretiranog komunalnog otpada. Najveći uticaj na ukupnu emisiju GHG deponovanog otpada ima emisija metana, 721 kg CO<sub>2 eq.</sub> Ukoliko

bi se zanemario ugljenik koji je zadržan u zemljištu, deponovanje netretiranog komunalnog otpada doprinosi emisiji 699 kg CO<sub>2</sub> eq. po toni odloženog otpada na deponiju.

Tabela 12: Emisioni faktori deponovanog netretiranog komunalnog otpada (kg CO<sub>2</sub> eq./toni otpada) (prilagođeno prema EC, 2001)

Deponovanje otpada	Frakcija otpada	Fosilni ugljenik			Ugljenik preostao u zemljištu	Emisija CH <sub>4</sub>	Ukupna emisija CO <sub>2</sub>
		Korišćenje energije	Smanjena upotreba energije i materijala	Transport			
Iskorišćenje deponijskog gasa za dobijanje el. Energije		1	-22	7	-371	712	327
Zamena energije dobijena iz uglja	Mešani komunalni otpad	1	-47	7	-371	712	303
Minimalno sakupljanje deponijskog gasa		1	0	7	-371	825	462
Odlaganje otpada		1	-22	7	0	712	699
Najbolja praksa upravljanja deponijskim gasom		1	-48	7	-371	111	-299

Najbolji rezultat se ostvaruje primenom najbolje prakse u sakupljanju deponijskog gasa pri čemu se emisija CO<sub>2</sub> eq. smanjuje za 121 kg po toni deponovanog otpada. Korišćena vrednost emisionog faktora za proces deponovanja otpada u modelu je 700 kg CO<sub>2</sub> eq. po toni odloženog otpada, jer nije uzeto u obzir energetska iskorisćenje deponijskog gasa. U slučaju deponovanja otpada, nakon izdvajanja biorazgradivog otpada, korišćen je emisioni faktor 245 kg CO<sub>2</sub> eq. po toni odloženog otpada, jer je količina odloženog otpada umanjena za 65% biorazgradivog otpada.

Efekat tretmana spaljivanjem otpada i anaerobne digestije zavisi u najvećoj meri od izvora energije koji će zameniti dobijena energija iz otpada. U svakom slučaju najmanji negativni efekat ima zamena električne i toplotne energije u sistemu, postrojenje za spaljivanje otpada. Deponovanje kao tretman otpada, ukoliko postoji sakupljanje deponijskog gasa, u značajnoj meri smanjuje efekat GHG na klimatske promene, ali predstavlja „end-of-pipe“ opciju tretmana otpada. Kompostiranje ima najmanje pozitivan efekat na smanjenje emisije GHG u atmosferu, jer doprinos smanjenja emisije se ogleda samo u zameni komposta dobijenog tokom tretmana, bez ikakvog „energetskog“ uticaja na sistem.

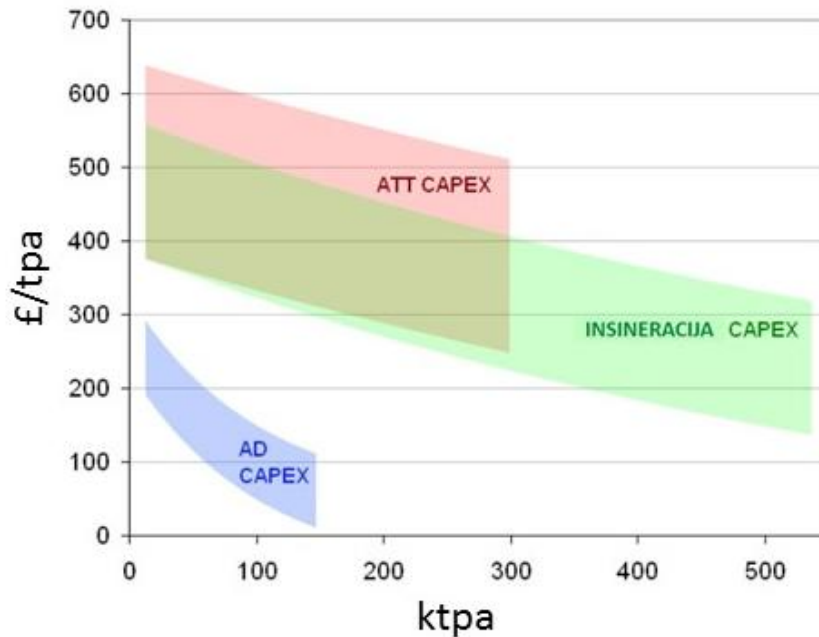
### **3.2.4 Ekonomska održivost postrojenja za tretman otpada – kapitalni (CAPEX) i operativni (OPEX) troškovi**

Procena troškova i ekonomska analiza je osnovni uslov za planiranje sistema za upravljanje čvrstim otpadom. Dostupnost različitih tehnologija za tretman otpada, njihova tehnološka, organizaciona i upravljačka specifičnost, čini ove analize kompleksnim zadatkom, kao i stalni razvoj i unapređenje tehnologija za tretman otpada (Tsilemou & Panagiotakopoulos, 2006). Unapređenje i poboljšavanje procene troškova za upravljanje čvrstim otpadom doprinosi donošenju odluka kao što su ugovaranje za novu opremu ili kada se procenjuju postojeće strategije upravljanja otpadom i donošenje novih strategija (Milke, 2006). Troškovi postrojenja za tretman otpada zavise od više faktora, najviše od tehnologije koja će biti primenjena. Zajedničko svim tehnologijama je da troškovi postrojenja zavise od ekonomije obima, odnosno kapaciteta postrojenja. Kapitalni (inicijalni) troškovi postrojenja za termički tretman otpada su mnogo veći nego troškovi za biološki tretman otpada i stoga nije ekonomski isplativo postrojenje kapaciteta koje je manje od 100.000 tona godišnje (World Bank, 1999). Operativni troškovi termičkog tretmana otpada opadaju sa povećanjem kapaciteta postrojenja, dok u slučaju biološkog tretmana otpada, operativni troškovi opadaju isto, ali su manje zavisne od kapaciteta postrojenja (CML, 2008). Pored kapaciteta na troškove postrojenja utiču i stepen iskorišćenosti kapaciteta, energetska efikasnost postrojenja, prihodi od prodaje finalnih proizvoda nastalih tokom tretmana otpada, zakup zemljišta itd. (Hogg, 2002).

Ekonomski uticaj analiziranih tehnologija obuhvataju:

- Kapitalna ulaganja/troškovi (CAPEX)
- Operativne troškove (OPEX)
- Potencijalne prihode od prodaje izlaza („output“): energenata i ostalih proizvoda nastalih tokom tretmana otpada koji imaju tržišnu vrednost,
- Troškove tretmana ostataka nakon tretmana otpada npr. lebdeći pepeo, pepeo sa dna rešetke.

Kapitalni troškovi ili kapitalni izdaci (CAPEX) su poslovni troškovi koji su uloženi u fiksni kapital. Fiksni kapital je npr. zemljište, zgrade i oprema. Troškovi zemljišta, objekata i manje složene opreme zavise od lokalnih faktora, visoko specijalizovane tehnologije kao što su npr. insineratori (mali broj kompanija u svetu je specijalizovan za ovakva postrojenja) manje zavise od lokalnih faktora i koštaju približno isto širom sveta. Troškovi planiranja i projektovanja sistema upravljanja otpadom često su povezani sa cenom kapitala (Christensen, 2011). Na grafiku 6. prikazana je zavisnost kapitalnih troškova postrojenja za dobijanje energije iz otpada. Najveće troškove imaju napredne tehnologije za termički tretman otpada (ATT), pri čemu kapacitet ovih postrojenja je još uvek mali da bi bili ekonomski isplativi, dok anaerobna digestija ima najmanje kapitalne troškove ali i najmanji instalisani kapacitet postrojenja, ne više od 150.000 tona godišnje, dok u praksi su najčešći instalisani kapaciteti postrojenja oko 75.000 tona biorazgradivog otpada.



Grafik 6: Zavisnost kapitalnih troškova od kapaciteta WtE postrojenja (BCMOE, 2008)

Operativni troškovi su rashodi koji su potrebni za svakodnevne poslovne aktivnosti: plate, komunalije, održavanje i popravke, kao i depresijaciju resursa/kapitala. Operativni ili varijabilni troškovi se računaju u toku jedne godine (poreske godine).

Tretmanom otpada, u zavisnosti od primenjene tehnologije, može se dobiti električna i toplotna energija, gas i kompost. Sa druge strane prihod mogu predstavljati sekundarne sirovine izdvojene iz otpada: papir, staklo, metal, plastika. Papir, staklo, metal i plastika se kasnije prodaju na tržištu, i prihodi zavise od tržišne cene, kao i od kvaliteta izdvojenih sekundarnih sirovina. Vrednost komposta zavisi od kvalitet proizvoda i lokalne tražnje za kompostom odnosno od kvaliteta zemljišta. Proizvedena struja se može prodavati po tržišnoj ceni ukoliko postoji mogućnost njene distribucije odnosno povezanost na električnu mrežu, dok se toplotna energija može koristiti lokalno i često se prodaje na osnovu dugoročnog ugovora sa mehanizmima regulacije cena. Biogas dobijen procesom anaerobne digestije može se pored iskorišćenja kao toplotne i električne energije, distribuirati u sistem kao prečišćeni biogas, uz prethodni predtretman.

U nekim zemljama, dobijanje energije iz otpada je deo nacionalne strategije za povećanje udela obnovljivih izvora energije u ukupnom energetske bilansu, i u takvim slučajevima je prihod od prodaje energije, odnosno cena energenata dobijenih iz obnovljivih izvora se može odrediti iznad tržišne kao podsticaj za njihovu proizvodnju. (Christensen, 2011)

Procena troškova za građevinske i inženjerske radove, kao što su postrojenja za tretman različitih tipova otpada, može uraditi različitim metodama, među kojima se razlikuju tri osnovna tipa:

1. Objekat se posmatra kao sistem koji se sastoji od komponenti ili podsistema od kojih se svaki posmatra kao poseban segment i detaljno se analizira. Za različite komponente u okviru sistem upravljanja otpadom koriste se vrednosti u širokom ali realnom opsegu, pri

čemu se za svaku komponentu ili podsistem računaju troškovi (Tsilemou i Panagiotakopoulos, 2004)

2. Metoda „faktora“ - glavni pokretači troškova su specifični glavni parametri troškova (kao što su sirovine, energija, radna snaga, zemljište, oprema, izgradnja) i procenjuju se direktno za svaki od navedenih elemenata koji su specifični za svaki tretman (Wilson 1981; Le Bozec 2004). Korišćenjem koeficijenata konverzije za procenu troškova, moguće je prilagođavati vrednosti lokalnim uslovima ili na nivou države
3. Statističke metode – koriste se, ako i kada su podaci o troškovima (stvarni ili procenjeni) dostupni, uglavnom u relevantnim publikacijama (Chang i Vang, 1995). Ovi podaci se mogu odnositi na troškove uspostavljanja sistema/tretmana i/ili operativne troškove za definisani kapacitet postrojenja za koji postoje podaci u literaturi, a procenjeni u skladu sa stvarnim kapacitetom postrojenja, ili na osnovu količine ulazne sirovine u postrojenje. Troškovi postrojenja zavise od mnogih drugih faktora kao što su vrsta procesa primenjena za tretman otpada, tip vlasništva (javna ili privatna), savremenost tehnološkog procesa, kvalitet i vrsta produkta koji nastaje nakon tretmana (izlaza), sastav ulazne sirovine (otpada), zakonodavnog okvira itd.

Prilikom razvoja modela, korišćena je statistička metoda za procenu troškova postrojenja. Istraživanjem dostupnih podataka iz literature urađena je uporedna analiza različitih metoda za procenu troškova postrojenja za tretman otpada i primenjena je metodologija koja je dala vrednosti koje su najpribližnije stvarnim. Najveći deo podataka koji je nađen u literaturi se odnosi na kapitalne i operativne troškove postrojenja po količini tretiranog otpada po toni na godišnjem nivou (EC, 2012; COWI, 2014; AWAST,2001; Tsilemou i Panagiotakopoulos, 2006).

Problem prilikom procene troškova izgradnje postrojenja za tretman otpada predstavlja različito tumačenje elemenata koji ulaze u kapitalne i operativne troškove, bez jasnih objašnjenja šta koji trošak uključuje. U pojedinim slučajevima troškovi su predstavljali samo troškove pribavljanja opreme i rada postrojenja, dok u drugim slučajevima su troškovi uključivali npr. takse i slične troškove koje su specifični za svako postrojenje odnosno lokalne uslove. U pojedinim slučajevima su dati troškovi po jedinici, najčešće toni tretiranog otpada, uključujući sirovine i slično, na osnovu čega je teško odrediti troškove koji se tiču isključivo izgradnje i rada i održavanja postrojenja. Podaci koji se tiču cene samih postrojenja su raznovrsni. U većini slučajeva za postrojenje za spaljivanje otpada dati su detaljni podaci vezano za procenu troškova, uključujući troškove postrojenja i pratećih elemenata kao i operativnih troškova koji se tiču svakodnevnog rada postrojenja (Stantec, 2011).

Dostupnih podataka o procenjenim troškovima postrojenja za biološki tretman otpada je relativno malo. Razlog tome je raznolikost bioloških procesa za tretman otpada, koji se međusobno razlikuju u elementima koji čine postrojenje npr. sistem za aeraciju, i teško je sa sigurnošću uraditi jedinstvenu procenu troškova koji će obuhvatiti sve biološke procese i njihove specifičnosti (AWAST, 2004).

U okviru studije koju se je sproveda Evropska komisija, „Procena mogućnosti za poboljšanje upravljanja bio-otpadom u Evropskoj uniji (ARCADIS) između ostalog identifikovani su troškovi postrojenja za tretman otpada koja su zatupljena na nivou EU-27, CAPEX i OPEX po

toni tretiranog otpada. Troškovi su procenjeni za različita postrojenja za svaku članicu EU-27. Za potrebe ove studije, pretpostavilo se da su troškovi tehnologije, kao što su troškovi kupovine velikih postrojenja, približno isti u svim državama članicama, dok se troškovi radne snage razlikuju. Ukupni kapitalni troškovi za različita postrojenja su konstantni, kao i operativni troškovi. Za svaku tehnologiju određen je procentualni udeo radne snage u kapitalnim i operativnim troškovima i tako omogućeno da za svaku zemlju odrede specifični ukupni kapitalni i operativni troškovi za svaku tehnologiju. Pretpostavka je da troškovi rada neće značajno varirati u okviru iste tehnologije (EC, 2001).

*FEASIBLE* (Financing for Environmental, Affordable and Strategic Investments that Bring on Large-scale Expenditure) softver je razvijen kao alat za podršku prilikom pripreme finansiranja strategija iz oblasti životne sredine, voda, otpadnih voda i komunalnog otpada za CIS i CEE regione. Metodologija je razvijena od strane OECD EAP Radne grupe za podršku u Danskoj u saradnji sa COWI. Razvijena metodologija i softver su takođe primenjivi za zemlje u razvoju (COWI, 2004)

U okviru modela *FEASIBLE* definisane su funkcije troškova investicija i operativnih troškova za različita postrojenja za tretman otpada, izražene u evrima, tabela 13. Funkcija troškova ima sledeći oblik i ista je za investicione troškove i operativne troškove, jednačina (8):

$$y = m(x_i)b \quad (8)$$

pri čemu je  $y$  ukupna investicija za postrojenje ili operativne troškove (izraženo u evrima),  $m$  i  $b$  su konstante. Vrednost  $x$ , količina otpada, se razlikuje u zavisnosti da li se računaju investicioni troškovi ili operativni troškovi. Vrednost  $x_1$  u slučaju investicionih troškova je instalisani kapacitet postrojenja, dok u slučaju operativnih troškova,  $x_2$  je stvarna količina otpada koja se tretira tokom godine.

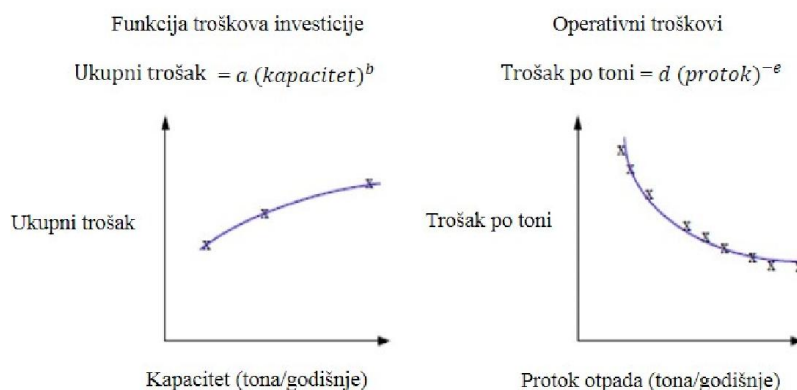


Tabela 13: Funkcije kapitalnih i operativnih troškova različitih postrojenja za tretman otpada (prilagođeno prema COWI 2004)

Tehnologija tretmana otpada	Funkcija troškova		Kapacitet postrojenja (x u 1000 tona/godišnje)
	Investicija (€)	O & M (€)	
Kompostiranje otvorenog tipa	$y = 11427(x_1)^{0.5494}$	$y = 12643(x_2)^{-0.6701}$	5-30
Kompostiranje zatvorenog tipa	$y = 42160(x_1)^{0.5207}$	$y = 8965(x_2)^{-0.5962}$	5-20
Anaerobna digestija	$y = 27470(x_1)^{0.5854}$	$y = 10650(x_2)^{-0.5313}$	5-30
Insineracija CHP	$y = 9346(x_1)^{0.754}$	$y = 1372(x_2)^{-0.333}$	120-380
Sanitarna deponija	$y = 3863(x_1)^{0.5719}$	$y = 1121(x_2)^{-0.4399}$	10-300

Funkcija troškova za postrojenja za tretman otpada je procenjena je metodom interpolacije, gde je definisana funkcija čija kriva prolazi kroz zadate tačke (vrednosti) na grafikonu. Izborom tri do četiri reprezentativna objekta različitih kapaciteta procenjeni su investicioni i operativni troškovi za svako od postrojenja čiji rezultat je generička funkcija troškova koja povezuje sve vrednosti na grafiku (COWI, 2004a).

Investicioni troškovi su procenjeni na osnovu rashoda kao što su kupovina zemljišta, ograđivanje, priprema zemljišta, građevinski radovi i razne vrste opreme. Zbir elemenata osnovnih rashoda daje ukupan trošak investicija, koji se koristi za procenu investicionog rashoda. Funkcija investicionih troškova prikazana je na grafiku 7 levo. Za procenu funkcije rashoda O & M, fiksni i varijabilni O & M troškovi su procenjeni za tri različita kapaciteta postrojenja za svaki od izabranih kapaciteta objekta, grafik 7 desno. O&M troškovi podeljeni su na fiksne i varijabilne. Fiksni deo troškova ne zavisi od promene kapaciteta postrojenja, dok se varijabilni troškovi smanjuju sa promenom kapaciteta.



Grafik 7: Generička funkcija troškova investicija i funkcija operativnih troškova postrojenja za upravljanje otpadom (COWI, 2004a)

U okviru projekta Energy, Environment and Sustainable Development Work Programme – Key action City of tomorrow and Cultural Heritage (Boer i dr, 2005) urađena je slična analiza troškova postrojenja za tretman otpada, korišćenjem statističke metode.

Generisane su funkcije inicijalnih troškova i operativnih troškova postrojenja za tretman otpada na nivou Evropske unije. Ova analiza je urađena je U okviru projekta definisane su funkcije troškova za 6 tipova postrojenja za tretman otpada, tabela 14, na osnovu detaljnog pregleda literature, funkcija troškova je izabrana za svaku vrstu postrojenja, kako za početne troškove tako i za operativne troškove (Panagiotakopoulos 2002; Tsilemou i Panagiotakopoulos 2006). Funkcije troškova napravljene su na osnovu dostupnih podataka na nivou EU za postrojenja za tretman otpada.

*Tabela 14: Funkcije troškova za različite tipove postrojenja za tretman otpada na nivou EU (prilagođeno prema Tsilemou i Panagiotakopoulos, 2006)*

Postrojenje za tretman otpada	Inicijalna kapitalna ulaganja (€)	Operativni troškovi (€/t)	Kapacitet (x u 1000 tona/godišnje)
Insineracija CHP	$y = 5000 (x)^{0,8}$	$y = 700 (x)^{-0,3}$	$20 \leq x \leq 600$
Anaerobna digestija CHP	$y = 34500 (x)^{0,55}$	$y = 17000 (x)^{-0,6}$	$2,5 \leq x \leq 100$
Kompostiranje	$y = 2000 (x)^{0,8}$	$y = 2000 (x)^{-0,5}$	$2 \leq x \leq 120$
Sanitarna deponija	$y = 6000 (x)^{0,6}$	$y = 100 (x)^{-0,3}$	$0,5 \leq x \leq 60$
	$y = 3500 (x)^{0,7}$	$y = 150 (x)^{-0,3}$	$60 \leq x \leq 1500$

Sanitarna deponija uključuje i sistem za sakupljanje deponijskog gasa i procednih voda, dok u troškove insineracije nisu uračunati troškovi tretmana pepela. Inicijalna kapitalna ulaganja obuhvataju sledeće investicione troškove: kupovinu zemljišta, upravljanje zemljištem, tehničku mrežu za povezivanje (pristupni putevi, voda, snabdevanje energijom, kanalizacija), opšte (ne-tehnološke) građevinski radove, tehničke instalacije i zgrade (bunker za otpad, skladišni prostor za ostatak). U investicione troškove još se ubrajaju i transportni uređaji, oprema za mehanički tretman otpada, oprema za proizvodnju električne energije, oprema za transport i tretman izduvnih gasova, aerobna ili anaerobna oprema za biostabilizaciju otpada, opremu za tretman otpadnih voda i drugu tehničku oprema.

Operativni troškovi i troškovi održavanja obuhvataju: održavanje i servis opreme, troškove radne snage, električnu energiju, vodu, hemikalije koje se koriste tokom tretmana otpada (kreč, amonijak) itd. Iako je teško, skoro nemoguće, odrediti tačne troškove postrojenja za tretman otpada, zbog nekonzistentnosti podataka npr. različite tehnologije, komponente troškova, funkcije troškova omogućavaju inicijalnu procenu ukupnih troškova postrojenja, u nedostatku drugih podataka, kao što je slučaj u Srbiji i njenim regionima.

Jedan od rezultata AWAST projekta je ekonomska analiza postrojenja za tretman otpada, i predloženi ekonomski modeli za svaki tretman otpada koji je razmatran u okviru projekta, biološki i termički tretman kao i deponovanje kao vid tretmana otpada uključujući separaciju (AWAST, 2004). Cilj ekonomske analize je da se utvrde svi relevantni troškovi za svako od analiziranih postrojenja, koji su podeljeni na:

- Investicione troškove, koji se odnose na novo postrojenje, uključujući troškove realizacije ugovora, ne uključujući grantove i ne uključujući finansijsku analizu odnosno analizu pribavljanja sredstava za kupovinu opreme i postrojenja
- Operativne troškove koje čine: fiksni, varijabilni troškovi i troškovi zamene i servisa postrojenja koji su primenjivi u skladu sa analiziranim tretmanom otpada
- Proizvodne troškove u toku jedne kalendarske godine, ukupne investicione i operativne troškove

Investicioni troškovi procenjeni su na osnovu nabavne cene opreme koja je potrebna za svako postrojenje. Inženjerski radovi, instrumentacija i slično, izraženi su kao deo nabavne cene opreme. Za potrebe razvoja ekonomskog modela korišćena je metoda Lang faktora. Metoda Lang faktora razvijena je za potrebe procena troškova novih postrojenja u hemijskoj i petrohemijskoj industriji, a može se primeniti i za procenu troškova postrojenja za tretman otpada. Lang faktor predstavlja odnos ukupnih troškova uvođenja nove tehnologije i troškova glavnih tehničkih komponenti postrojenja. Lang faktor varira u zavisnosti od vrste tretmana i kapaciteta postrojenja. Investicioni troškovi izraženi preko Lang faktora se računaju prema jednačini (9):

$$C_{FC} = f_L \times IEC \quad (9)$$

$C_{FC}$  - fiksni kapitalni troškovi postrojenja;  $IEC$  - troškovi instalirane opreme i  $f_L$  - Lang faktor

Lang faktor je određen za svaki tip postrojenja i konstantna je vrednost.

Troškovi instalirane opreme se mogu proračunati na dva načina. Prvi se sastoji u sumiranju troškova glavnih jedinica opreme, i ovaj metod je teže primeniti u praksi, jer procesi tretmana otpada mogu u velikoj meri da variraju (3 ili 4 različita postrojenja mogu imati istu funkciju) i više tržišnih cena postrojenja mora se uzeti u obzir. Drugi način proračuna troškova opreme za postrojenje se zasniva na proračunu troškova postrojenja u zavisnosti od njegovog kapaciteta, jednačina (10):

$$IEC = f(C_n) \quad (10)$$

$C_n$  kapacitet postrojenja u kilo tonama po godini.

Ovaj metod proračuna je jednostavniji za primenu jer se zasniva na podacima o postojećim postrojenjima i prethodnim procenama troškova. Svi podaci o troškovima za kupovinu postrojenja za tretman otpada moraju biti korigovani za inflaciju, primenjivi za različite zemlje, a prilagođen standardnim i uobičajenim kapacitetima postrojenja.

Procena operativnih troškova je složenija od procene investicionih troškova jer obuhvata mnogo veći broj parametara koji su promenljivi i utiču na troškove rada postrojenja.

U slučaju postrojenja za tretman otpada, koja se karakterišu velikim kapacitetom, operativni troškovi se mogu podeliti na fiksne i varijabilne troškove. Fiksni troškovi su nezavisni od promena kapaciteta proizvodnog procesa, u kratkom roku. Oni uključuju cenu rada, poreze, osiguranje i opšte troškove za obavljanje posla.

Varijabilni troškovi predstavljaju troškove poslovanja koji zavise od kapaciteta proizvodnje. Padom proizvodnog kapaciteta postrojenja, opadaju i varijabilni troškovi. Za procenu varijabilnih troškova korišćen je metod faktora koji se odnosi na sastavne troškove pojedinih osnovnih varijabli koje se mogu direktno proceniti i koje su poznate. Analizom raspoloživih podataka je određeno koje promenljive se mogu koristiti kao osnovne, i reprezentativni primer su ostalih varijabilnih troškova.

Osnovne promenljive su: cena sirovina (R); troškovi energije (E); direktni troškovi rada (L); kapitalni troškovi (I). Operativni troškovi računaju se prema jednačini (11):

$$Co = \alpha R + \beta E + \gamma L + \delta I \quad (11)$$

Svaka od osnovnih promenljivih je procenjena na osnovu fizičkih jedinica u kombinaciji sa standardnim cenama.

Podaci o procenjenim troškovima postrojenja ne mogu se smatrati u potpunosti pouzdanim jer:

- Dostupni podaci ne razgraničavaju jasno tehnologije u okviru istog procesa
- Različiti načini računanja troškova održavanja. Fiksni troškovi održavanja postrojenja se razlikuju zbog različitog načina interpretacije troškova. U pojedinim slučajevima fiksni troškovi održavanja se određuju na osnovu izvršenih radova na opremi, dok drugi određuju fiksne troškove srazmerno investicijama. Varijabilni deo je proporcionalan količini tretiranog otpada.
- Podaci o troškovima postrojenja se odnose se samo na referentnu godinu (godina sprovođenja istraživanja), dok je za razvoj održivog modela potreban godišnji pregled troškova (AWAST, 2004a)

Prodaja različitih dobara (proizvoda), koji su nastali u procesu tretmana otpada, predstavlja prihode koje mogu da ostvaruju postrojenja za tretman otpada i specifični su za svako postrojenje, čime se smanjuju troškovi rada postrojenja. Kao što je već rečeno u uvodnom delu, postrojenja za biološki tretman otpada analizirana u ovom radu su kompostiranje i anaerobna digestija CHP. Potencijalni prihodi od navedena dva procesa su sledeći:

- Kompostiranje – kompost
- Anaerobna digestija – kompost, električna i toplotna energija i gas

U zavisnosti od tipa biološkog procesa i kapaciteta, kompost predstavlja 30% od ukupnog izlaza, u slučaju anaerobne digestije do 45%, kada se radi o kompostiranju zatvorenog tipa. Cena komposta varira od tipa biološkog procesa i kvaliteta dobijenog komposta, od 4,50 €/toni do 6,75 €/toni. Kada se radi o anaerobnoj digestiji (AD) za izračunavanje prihoda od prodaje električne energije, 40 m<sup>3</sup> biogasa se generiše po toni tretiranog otpada, što predstavlja 2,2 do 2,5 kWh/m<sup>3</sup>, odnosno 5,25 €/toni tretiranog otpada (AWAST, 2004). Prilikom računanja potencijalnih prihoda od prodaje komposta u okviru ovog rada, uzeta je cena od 7 €/toni komposta.

Postrojenje za spaljivanje otpada (insinator) sa mogućnošću kombinovane proizvodnje toplotne i električne energije kao glavni prihod ostvaruje prodajom energenata uključujući i prihod od naknade za rad postrojenja (gate fee) (Jamasp i dr., 2008). Ostali prihodi kao što su

prodaja otpada izdvojenog za reciklažu, ili metala izdvojenog posle sagorevanja, značajno su manji ali nisu zanemarljivi. U okviru modela definisani su sledeći „output-i“ od postrojenja za spaljivanje otpada čijom prodajom se može ostvariti prihod:

- Električna energija
- Toplotna energija
- Pepeo sa dna rešetke
- Gvožđe (Fe) i aluminijum (Al) izdvojen reciklažom pepela sa dna rešetke

Obzirom da u Srbiji još uvek ne postoji mogućnost iskorišćenja pepela sa dna rešetke i izdvojenog Al i Fe iz pepela, oni nisu uzeti u obzir prilikom računanja potencijalnih prihoda od postrojenja za spaljivanje otpada.

Energetska efikasnost ovih postrojenja se međusobno razlikuje, najveću efikasnost imaju postrojenja sa ko-generacijom 85%, a najmanju imaju postrojenja koja stvaraju električnu energiju 25% (AWAST, 2004a; EC-IPPC, 2006b). Podsticajne cene su po pravilu veće od tržišnih kako bi se podstakla proizvodnja energije iz obnovljivih izvora energije. U Srbiji je Uredbom o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije regulisan samo otkup električne energije dobijene iz obnovljivih izvora, dok otkup toplotne energije nije zakonski regulisan. Podaci o posebnim tarifama za otkup toplotne energije korišćeni u modelu odnose na cene u EU.

Za električnu energiju i toplotnu energiju postoje dve vrste potencijalnih prihoda: 1) prihodi od prodaje energenata po tržišnim cenama i 2) prihodi po osnovu podsticaja za energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora energije. U većini slučajeva, u okviru ovog modela, korišćene su cene izražene u MWh po toni otpada za analizirane tehnologije.

Tržišna cena električne energije podrazumeva 60% od tržišne cene po kojoj distributeri prodaju električnu energiju krajnjim korisnicima i ona na nivou Evropske unije iznosi od 27 €/MWh do 90 €/MWh (ARCADIS, 2009). U Srbiji cena iznosi 45 €/MWh, što je korišćeno prilikom računanja potencijalnih prihoda od prodaje električne energije. Cena toplotne energije iznosi 30 €/MWh. Tržišna cena gasa uzeta za analizu prihoda postrojenja je 38€/MWh. Postoje različite vrste mehanizama npr. feed-in tarife, premijum tarife, zeleni sertifikati čiji je cilj podsticanje proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije. Tarife su određene prema kategorijama kao što su kapacitet postrojenja ili ulazne sirovine. Tipične šeme unutar EU su bazirane na fiksnom nivou cena podrške ( npr. feed-in tarifa) ili šeme zasnovane na količinama, pri čemu će dobijena cena varirati u zavisnosti od nivoa usaglašenosti sa ciljevima. Feed-in tarife su najčešći vid podrške u EU. U određenim državama članicama, postoji mogućnost izbora za feed-in tarifni sistem ili premijum tarifa npr. Slovenija. Tarifna premija se plaća dodatno na tržišnu cenu. U nekim slučajevima se smanjuje porez ili izuzimaju od istog, u nekim državama članicama, kako bi se podstakla proizvodnja energenata iz obnovljivih izvora (AWAST, 2009). Vrednosti koje se odnose za podsticajne cene za energiju proizvedenu iz obnovljivih izvora, korišćene u ovom radu su sledeće : električna energija 0,085 c€/KWh i 0,02 c€/KWh, dok podsticajne tarife za gas još uvek nisu definisane u većem delu Evrope. U nekim zemljama, npr. u Finskoj, postoje mehanizmi izuzeća od plaćanja pojedinih taksi ukoliko se koristi gas iz obnovljivih izvora. Cena toplotne energije korišćena u okviru rada je ekvivalent cene proizvodnje toplotne energije iz prirodnog gasa. Korišćeni parametri za prirodni gas su temperatura od 288,15 K (15°C) i pritisak 1,01325 bar, a referentna toplotna vrednost je kod

nas donja toplotna vrednost od 33.338,35 kJ/m<sup>3</sup>. Korišćena vrednost za efikasnost gasnog kotla je 85%. Dobijena vrednost toplotne energije, proizvedene od prirodnog gasa je 0,010894886 MWh/m<sup>3</sup>, odnosno 16 €/m<sup>3</sup>, pri čemu je tržišna cena gasa 0, 183 €/m<sup>3</sup>.

Tokom biološkog tretmana otpada, ne stvaraju se produkti koji zahtevaju dodatni tretman, dok u slučaju tretmana insineracije stvaraju se proizvodi koji zahtevaju dodatni tretman, klinker/mulj (čvrst ostatak) i ostaci prečišćenih gasova nastali spaljivanjem. Čvrst ostatak se može koristiti kao gorivo u industriji cementa, u građevinskoj industriji (za asfaltiranje) ili se može deponovati na sanitarnoj deponiji. U proseku se dobija 246-268 kg čvrstog ostatka po toni tretiranog otpada (AWAST, 2004a). Ukoliko se odlaže na deponiju, trošak odlaganja je 75 €/toni (AWAST, 2004). U literaturi se može pronaći podatak da tretman čvrstog ostatka iz insineracije, košta od 30 do 75 € po toni čvrstog ostatka (EC-IPPC, 2006b; Hogg D.). Ostaci prečišćenih gasova koji čine 2-5% otpada koji je tretiran, se mora odložiti na deponiju namenjenu za opasan otpad ili uskladištiti na sigurnom mestu (DEFRA, 2013b). U okviru ovog rada, sav mulj sakupljen sa rešetke za spaljivanje otpada, 22% se tretira po ceni od 60 € po toni čvrstog ostatka, dok 4,2% opasnog otpada se tretira po ceni od 150 €/toni.

Prihodi od prodaje ambalažnog otpada, korišćeni u modelu su zasnovani na cenama dostupnim na zvaničnim stranicama operatera ambalažnog otpada, i koje se međusobno veoma malo razlikuju. Navedene cene ne uzimaju u obzir stimulaciju za otkup ambalažnog otpada, čime bi otkupna cena bila mnogo veća, samim tim i prihod od prodaje. Stoga, u nedostatku realnih tržišnih cena korišćene su one date od strane operatera ambalažnog otpada. Cene korišćene u modelu date su u tabeli 15.

*Tabela 15: Naknada za ambalažni otpad (Ekostarpak 2015, Sekopak 2015)*

Materijal	RSD/kg
Papir/Karton	0, 6540
Plastika	1, 2080
Staklo	0, 7452
Metal	0, 8411
Drvo	0, 8778
Ostalo (tekstil/juta, keramika)	0, 6540

Za svaki od tretmana otpada analiziranih u okviru modela, definisane su funkcije kapitalnih i operativnih troškova u zavisnosti od instalisanog kapaciteta postrojenja, odnosno stvarnog kapaciteta. U slučaju troškova sanitarne deponije, investicioni troškovi i operativni troškovi računaju se na osnovu količina otpada koje se odlože na deponiju. U zavisnosti od izabranog scenarija, količine koje se odlažu na deponiju se razlikuju, i shodno promenama u količinama troškovi deponije se menjanju.

Analizirane tehnologije za tretman otpada (projekata/investicija) i njihova održivost odnosno ekonomski uticaj analizirani su sledećim metodama (kriterijuma):

- ✓ NSV
- ✓ IRR
- ✓ PI
- ✓ DPP

Cene „output-a“ (izlaza) definisanih u okviru modela za analizirane tehnologije su prikazane u tabeli 16.

*Tabela 16: Cene „output-a“ definisanih u modelu*

Tehnologija	„Output“ (izlaz)	Količina	Jedinica	Cena po jedinici (€)	
				Tržišna	Feed-in tarifa
Insineracija	Električna energija	0.300	MWh/toni	45	85
	Toplotna energija	0.378	MWh/toni	16	20
	Lebdeći pepeo	4.12%	tona/ulaz	-150	-
	Čvrst ostatak	21 %	tona/ulaz	-60	
Anaerobna digestija	Električna energija	0,011	MWh/ m <sup>3</sup>	45	85
	Toplotna energija	0,021	MWh/ toni	16	20
	Kompost	30%	tona/ulaz	7	
Kompostiranje zatvorenog tipa	Kompost	35%	tona/ulaz	7	-

U okviru razvijenog modela za procenu investicionih i operativnih troškova postrojenja za tretman otpada, korišćene su funkcije troškova tretmana definisane u okviru projekta Energy, Environment and Sustainable Development Work Programme – Key action City of tomorrow and Cultural Heritage. Definisane funkcije troškova odgovaraju definisanim količinama otpada u okviru modela, odnosno budućem instalisanom kapacitetu postrojenja i kapacitetu deponije. Iako je teško sa preciznošću odrediti troškove postrojenja za tretman otpada, zbog složenosti i velikog broja potrebnih podataka za određivanje troškova postrojenja, korišćene funkcije daju najpribližnije vrednosti i koje u nedostatku drugih vrednosti daju polazni osnov za proračun troškova postrojenja za tretman otpada (Tsilemou K. i Panagiotakopoulos D. 2006). Važno je napomenuti da procenjeni troškovi, investicioni (kapitalni) i operativni, ne uključuju troškove pribavljanja finansijskih sredstava za kupovinu postrojenja npr. krediti, grantovi i drugi oblici finansiranja.

### 3.3 Optimizacija modela

#### 3.3.1 Naknada za tretman otpada (gate fee)

Jedan od osnovnih izazova u savremenom upravljanju otpadom je da se osigura efikasan, pouzdan i ekonomičan sistem u dugom roku. Opšti cilj upravljanja otpadom je odlaganje otpada uz najmanje troškove za stanovništvo uz brigu za životnu sredinu i korišćenje otpada kao resursa. (Wilson, 1985).

Pored analize ekonomskog uticaja budućih tretmana otpada, model pruža mogućnost da se proceni naknada za tretman otpada (gate fee) za različite opcije za tretman otpada. U modelu naknada za odlaganje ili tretman otpada ima za cilj da uravnoteži neto sadašnje vrednosti troškova i prihoda, tokom životnog veka postrojenja, čime bi se osigurala ekonomska održivost postrojenja na dugi rok, u slučaju kada su novčani prilivi postrojenja manji od novčanih odliva. Naknada za tretman otpada se određuje u odnosu na količinu otpada, „inputa“, u postrojenje tokom analiziranog perioda. Naknada za tretman otpada se plaća operateru postrojenja. Kako i na koji način će se plaćati, da li kroz takse, da li kroz uslugu sakupljanja otpada stanovništvu, je pitanje koje nije obrađivano u okviru ovog rada. U nastavku je dat prikaz metodologije razvijene za računanje naknade za tretman otpada.

Za niz  $a_N (a_0, a_1, \dots a_i \dots a_N)$  definiše se operator sadašnja vrednost  $PV_d(a_N)$  (12)

$$PV_d(a_N) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{a_i}{(1+d)^i} \quad (12)$$

$a_i$ - i-ti član niza; N- dimenzija (broj članova) niza; d- diskontna stopa ( $d \geq 0$ )

U opštem slučaju, za niz  $a_N (a_0, a_1, \dots a_i \dots a_N)$  definiše se vrednost IRR kao rešenje jednačine (13):

$$PV_{IRR}(a_N) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{a_i}{(1+IRR)^i} = 0 \quad (13)$$

Za svaki od analiziranih postrojenja za tretman otpada, za godinu  $i$  (indeks godine u posmatranom investicionom periodu), za ukupni investicioni period N godina posmatraju se sledeći pokazatelji:

$X_i$  - količina otpada koju je potrebno tretirati ( $Mp, Ms, B$ )

$CF_i = Rev_i - OPEX_i - CAPEX_i$  - neto novčani tok postrojenja za godinu  $i$ , prihodi-operativni, rashodi – investicioni i drugi

$g_i$  – gate fee – naknada za tretman otpada



Na osnovu definisanog operatora PV važi jednačina (14) (odnosi se na ceo investicioni period N godina):

$$PV_{IRR}(g_N \times X_N + CF_N) = 0 \quad (14)$$

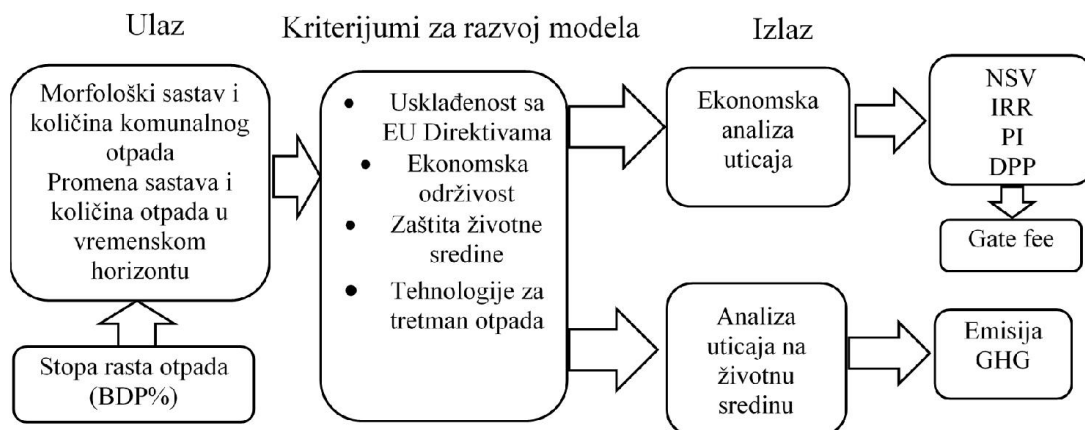
Vrednost IRR je poznata veličina a nepoznata veličina je g. Pretpostavlja se da je g konstanta (ne menja se svake godine), i tada važi jednačina (15):

$$g = -\frac{PV_{IRR}(CF_N)}{PV_{IRR}(X_N)} \quad (15)$$

Naknada za tretman otpada, se računa prema jednačini 15, može izračunati za svaki tretman pojedinačno u zavisnosti od ulaznog kapaciteta postrojenja i neto novčanog toka, za definisanu vrednost IRR.

Razvijeni model je dinamički, i omogućava praćenje promena eksternih faktora tokom vremenskog horizonta, slika 29. Model omogućava:

- Dinamičku analizu uticaja promena eksternih faktora na sektor komunalnog otpada
- Određivanje budućih količina otpada u skladu sa promenama morfološkog sastava komunalnog otpada i rastom otpada
- Praćenje ispunjenja postavljenih ciljeva u oblasti upravljanja otpadom propisanih EU Direktivama
- Izbor tehnologije za tretman otpada, na osnovu procenjenih količina i u skladu sa karakteristikama otpada
- Ekonomsku analizu uticaja sistema upravljanja otpadom primenom metode diskontovanih novčanih tokova – NSV, IRR, PI, DPP
- Procenu uticaja na životnu sredinu sistema upravljanja otpadom – emisiju GHG izraženo preko CO<sub>2</sub> eq.
- Određivanje optimalnog sistema upravljanja otpadom u zavisnosti od izbora kriterijuma
- Donošenje odluke o izboru budućeg tretmana otpada, koji je održiv sa aspekta zaštite životne sredine i ekonomskog aspekta



Slika 29: Optimizacija modela upravljanja otpadom za region Novog Sada

### **3.3.2 Razvijeni scenariji u okviru modela**

Osnovni cilj prilikom razvoja modela je pronalaženje najoptimalnijeg načina upravljanja otpadom koji je u skladu sa osnovnim principima zaštite životne sredine i koji je ekonomski održiv. Uzimajući u obzir definisane parametre/kriterijume za razvoj modela, definisano je nekoliko mogućih scenarija upravljanja (tretmana) otpada. U okviru modela pretpostavljeno je da postoji odvojeno sakupljanje ambalažnog otpada tj. primarna separacija, što je jedna od odredbi Okvirne Direktive o upravljanju otpadom, kojom se definiše da do 2015. godine države članice su dužne da uspostave odvojeno sakupljanje otpada za najmanje papir, metal, plastiku i staklo, i odvojeno sakupljanje biorazgradivog otpada. Kao što je definisano na početku, rast produkcije otpada se meri promenama stope rasta BDP. U okviru prikazanih rezultata modela korišćena je vrednost BDP od 2% na osnovu istorijskih podataka o promenama BDP za Srbiju (World Bank, 2014; CIA, 2015). Vremenski horizont za analizu scenarija je 20 godina, koliko je i ekonomski vek analiziranih tehnologija.

Za svaki od definisanih scenarija u okviru modela, važe sledeće pretpostavke:

- Rast BDP 2% godišnje
- Vremenski horizont 20 godina
- Referenta godina 2015. godina
- Cena kapitala 6%
- Reciklaža 55% ambalažnog otpada u odnosu na ukupno generisanu količinu ambalažnog otpada

U okviru modela analizirano je 5 scenarija upravljanja otpadom:

1. Anaerobna digestija CHP + Sanitarna deponija
2. Insineracija CHP + Anaerobna digestija CHP+ Sanitarna deponija
3. Kompostiranje + Sanitarna deponija
4. Insineracija CHP + Kompostiranje + Sanitarna deponija
5. Insineracija CHP + Sanitarna deponija

Prikaz scenarija, sa ulaznim i izlaznim parametrima i njihovim troškovima dat je u tabeli 17.

Tabela 17 : Analizirani scenariji i njihovi osnovni parametri

Scenariji	Trenutno stanje	1		2		3		4		5		
„Input“	M	B	$\Delta B, Ms$	B	Ms	$\Delta B$	B	$\Delta B, Ms$	B	Ms	$\Delta B$ Ms	
Tehnologija	Lf.	Ad. CHP	Lf.	Ad. CHP	Inc. CHP	Lf.	Comp.	Lf.	Comp.	Inc. CHP	Lf.	Inc. CHP
„Output“ (prihodi)	-	Električna i toplotna energija kompost	-	Električna i toplotna energija kompost	Električna i toplotna energija	-	Kompost	-	Električna i toplotna energija kompost	Električna i toplotna energija	-	Električna i toplotna energija
Capex/Opex	-	Ad.CHP	Lf.	Ad. CHP	Inc. CHP	Lf.	Comp.	Lf.	Ad.CHP	Inc. CHP		Ad. CHP

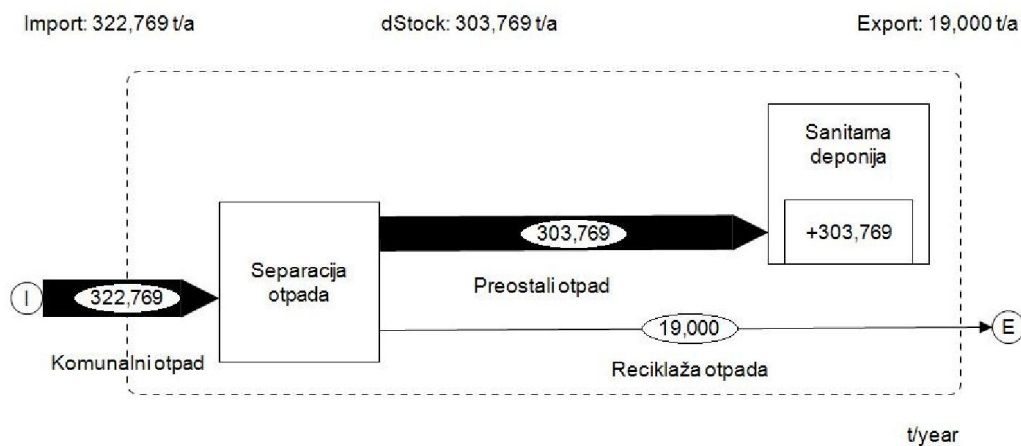
Lf.- sanitarna deponija; Ad. – anaerobna digestija; Comp. – kompostiranje zatvorenog tipa; Inc. – spaljivanje otpada (insineracija); CHP – kombinovana proizvodnja toplote i struje  $\Delta$  - ostatak nakon tretmana

## 4 Rezultati modelovanja

### 4.1 Scenario 0 – Trenutno stanje (Status quo)

Trenutna praksa upravljanja otpadom u regionu Novog Sada je deponovanje otpada bez prethodnog tretmana. Ukupna količina otpada u 2035. godini, sa rastom količine otpada od 2% godišnje, iznosi 322.769 tona, slika 30. U postrojenju za separaciju u Novom Sadu, izdvoji se oko 19.000 tona određenih frakcija otpada. Deponovanje 1 tone netretiranog otpada na deponiju doprinosi emisiji 0,700 tona CO<sub>2</sub> eq. Ukoliko bi se nastavilo sa trenutnom praksom deponovanja otpada, bez prethodnog tretmana, ukupna količina otpada koja bi se odložila na deponiju do 2035. godine iznosila bi 5.383.207 tona otpada, što bi doprinelo ukupnoj emisiji CO<sub>2</sub> eq. od 3.768.214 tona. Sa aspekta zaštite životne sredine, odnosno smanjenja emisije GHG, trenutno stanje upravljanja otpadom nije prihvatljivo, a na dug rok do 2035. godine neodrživo, jer će dugoročno doprinosi degradaciji životne sredine.

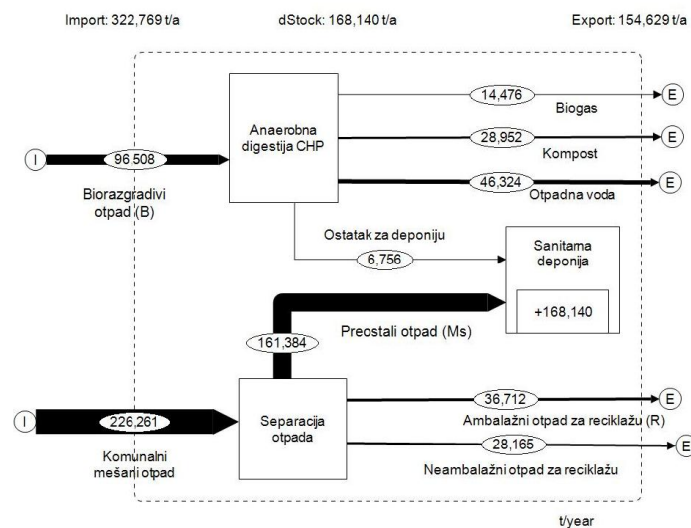
Troškove upravljanja otpadom u Novom Sadu je teško odrediti. JKP Čistoća, čija delatnost je između ostalog sakupljanje i tretman otpada, funkcioniše i radi uz dotaciju novčanih sredstva iz gradskog budžeta. Jedan od razloga nemogućnosti ekonomski održivog poslovanja preduzeća, a tiče se upravljanja otpadom, je niska cena naknade, koja je još u nivou socijalne kategorije, i ne određuje se tržišno i u skladu sa stvarnim troškovima odnošenja smeća. Pored niske cene usluge, postavlja se i pitanje naplativosti ove usluge, koja je veoma niska.



Slika 30: Scenario Trenutno stanje (Status quo) – Maseni bilans

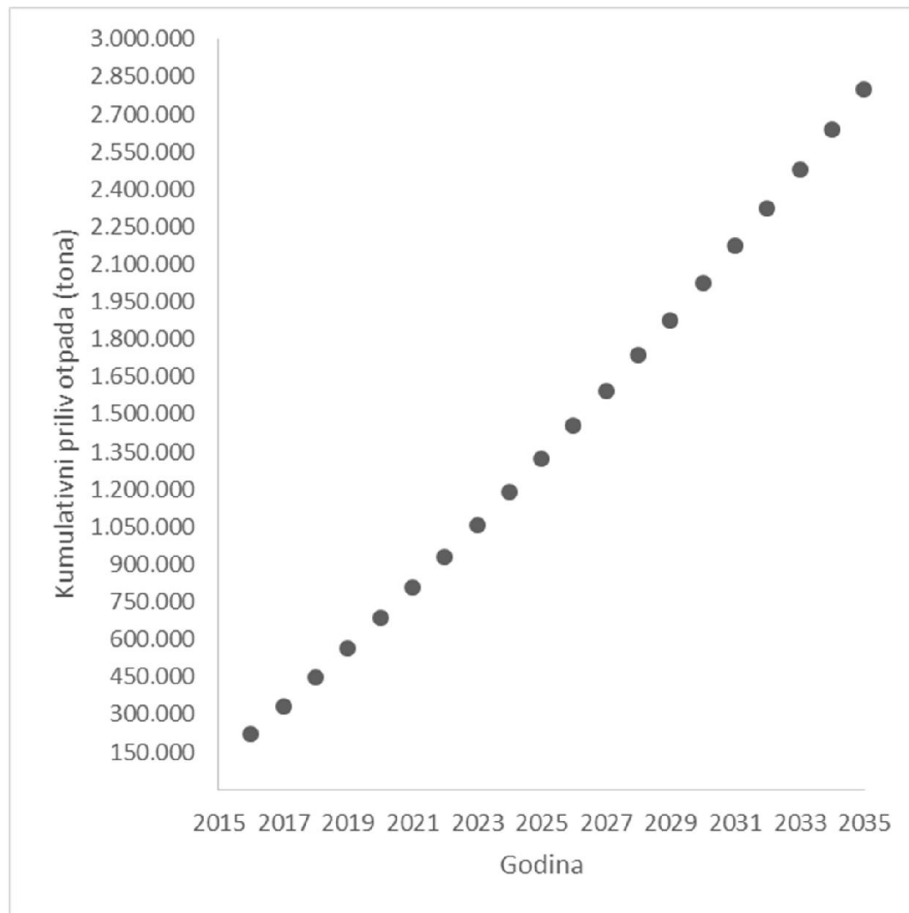
## 4.2 Scenario 1 – Anaerobna digestija CHP+ Sanitarna deponija

U okviru scenarija analiziran je tretman 65% biorazgradivog otpada, koji se odvojeno sakuplja, od ukupno generisane količine, frakcija B, u postrojenju za anaerobnu digestiju. Postrojenje za anaerobnu digestiju ima mogućnost stvaranja toplotne i električne energije iz biogasa. Deo ambalažnog otpada, 55% od ukupne količine generisanog ambalažnog otpada, frakcija R, je izdvojena za reciklažu. Preostali biorazgradivi otpad, ambalažni otpad i ostali otpad, Ms frakcija, se odlaže na deponiju. Takođe se na deponiju odlaže i 7% ostatka nakon biološkog tretmana. Kompost dobijen tokom procesa anaerobne digestije, 30% od ukupne količine biorazgradivog otpada, se prodaje na tržištu po ceni od 7 € po toni (AWAST, 2004, Alevidrou i dr., 2011). Maseni bilans scenarija 1 dat je na slici 31. Tretmanom 96.508 tona biorazgradivog otpada i 36.712 tona ambalažnog otpada, ispunjeni si zahtevi Direktiva o deponovanju otpada i ambalaži i ambalažnom otpadu. Kako bi se ispunio cilj Okvirne Direktive o otpadu, od 50% reciklaže ukupno generisanog otpada, potrebno je reciklirati 28.165 tona drugog ne-ambalažnog otpada.



Slika 31: Scenario 1 – Maseni tokovi

Analizirani sistem upravljanja otpadom doprinosi smanjenju emitovanog CO<sub>2</sub> eq. u odnosu na emisiju CO<sub>2</sub> eq. u nultom scenariju. Tretmanom 96.508 tona biorazgradivog otpada, doprinosi se smanjenju emitovanog CO<sub>2</sub> eq. po toni tretiranog otpada za - 0,185 tona, što ukupno iznosi - 309.792 tona CO<sub>2</sub> eq. tokom analiziranog perioda. Procesom reciklaže ambalažnog otpada i ne-ambalažnog otpada, smanjuje se emisija CO<sub>2</sub> eq. po toni otpada za - 0,400 tona što doprinosi ukupnom smanjenju od - 450,280 tona CO<sub>2</sub> eq. tokom analiziranog perioda. Na deponiju se odlaže sav preostali otpad koji nije tretiran, 2.800.251 tona, koji doprinosi emisiji 0,245 tona CO<sub>2</sub> eq. po toni odloženog otpada. Potrebno je naglasiti da u bilans CO<sub>2</sub> eq. sa deponije nije uračunat ostatak nakon tretmana u anaerobnoj digestiji, 117.218 tona otpada. Ukupna količina emisije GHG tokom 20 godina, sa deponije iznosi 686.061 tona CO<sub>2</sub> eq. Scenario jedan doprinosi smanjenju emisije GHG, u odnosu na nulti scenario, jer ukupna količina emitovanog GHG iznosi 265.500 tona CO<sub>2</sub> eq., što je značajno manje u odnosu na 3.768.214 tona CO<sub>2</sub> eq. kolika je emisija tokom 20 godina u slučaju scenarija 0. Analiziranim scenarijom smanjena je ukupna količina deponovanog otpada za 54%, sa 5.383.207 na 2.917.469 tona, slika 32.



Slika 32: Priliv otpada tokom na deponiju tokom 20 godina

Ukupni investicioni troškovi analiziranog scenarija su 50.184.917 €. Investicioni troškovi postrojenja za tretman biorazgradivog otpada za instalisani kapacitet od 96.508 tona, iznosi 34.261.447 €, za sanitarnu deponiju instalisanog kapaciteta 168.140 tona iznosi 15.923.470 €, tabela 18. Ukupni operativni troškovi, iznose 45.073.181 €, za postrojenje za anaerobnu digestiju 34.553.080 i za sanitarnu deponiju 12.520.101 € tokom 20 godina. Ukupni prihodi analiziranog scenarija su 11.041.381, tabela 18. Od prodaje električne i toplotne energije, po tržišnim cenama iznosi 1.547.419 €, dok prihod od prodaje 502.365 tona komposta iznosi 3.516.555 € i prodaje ambalažnog otpada i ostalog otpada za reciklažu iznosi 5.977.406. €. Ukoliko bi se električna energija prodavala po feed-in tarifi, 85 €/MWh, prihodi od prodaje energenata bi se povećali na 2.361.251 €.

Tabela 18: Ekonomski parametri analiziranih tehnologija u scenariju 1 u 2035. godini

Tehnologija	Količina otpada (t./god.)	Investicioni troškovi (€)	Operativni troškovi (€)	Prihodi (€)	
				Tržišna cena struje	Feed-in tarifa
Anaerobna digestija CHP	96.508	34.261.447	32.553.080	5.063.974	5.877.806.
Deponija	168.140.	15.923.470	12.520.101	-	-
Reciklaža	64.877	-	-	5.977.406	5.977.406
Ukupno		50.184.917	45.073.181	11.041.380	11.855.212

Neto sadašnja vrednost scenarija 1, pri prodaji energenata po tržišnim cenama je -71.268.061 €, tabela 19. Povećanje cene energenata bi povećalo NSV na -70.150.204 €, tabela 19. IRR analiziranog scenarija nije moguće odrediti jer ukupno generisani prihodi od prodaje „output-a“ nisu dovoljni da pokriju visoke investicione i operativne troškove scenarija. Isto tako, indeks profitabilnosti je manji od 1, u oba slučaja, 0,45% kada su prihodi od prodaje struje računaju po tržišnoj ceni, odnosno 0,43 % po feed-in tarifi. Period povrata investicije je duži od analiziranog, odnosno diskontovani novčani prilivi tokom 20 godina su manji od početnog ulaganja.

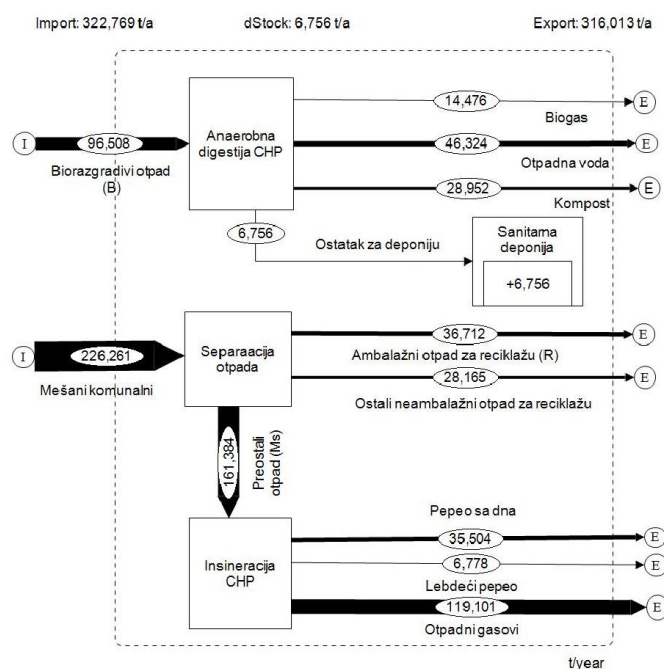
Tabela 19: Scenario 1: Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu

Ekonomski uticaj	Tržišna cena struje	Feed-in tarifa
NSV @ 6%(€)	-71.268.061	-70.150.204
IRR (%)	-	-
PI (%)	0,45	0,43
DPP	nije u analiziranom vremenskom horizontu	
<i>Gate fee (€/t/god.)</i>		
Anaerobna digestija	75	75
Sanitarna deponija	42	42
Prosečna naknada	54	54
<i>Uticaj na životnu sredinu</i>		
Emisija GHG (tona CO <sub>2</sub> eq.)	264.500	

Na osnovu iznetih rezultata analiziranog scenarija, možemo reći da ovaj scenario doprinosi smanjenju emitovanja GHG u atmosferu, ukupnom emisijom od 264.500 tona CO<sub>2</sub> eq. u odnosu na početno stanje emisije GHG. Obzirom da analizirani scenario ima negativnu NSV, neophodno je uvesti dodatnu naknadu za tretman otpada i odlaganje otpada na deponiju kako bi sistem ekonomski bio na nuli, odnosno NSV bila nula. Naknada za tretman otpada računata je pri IRR 6%, jer se smatra da je projekat prihvatljiv ukoliko je IRR veća ili jednaka troškovima kapitala (Stojanovski Đ, 2009). U slučaju prodaje energenata po tržišnoj ceni, naknada za tretman u postrojenju za anaerobnu digestiju iznosi 75 € po toni otpada godišnje tokom 20 godina, a za deponiju 42 € po toni za isti period, tabela 19. U slučaju prodaje energenata po feed-in tarifi, naknade su iste jer količina energije koja se dobije u procesu anaerobne digestije je relativno mala i nema velikog uticaja na NSV. Prosečna naknada za tretman otpada u scenariju 1 je 54 € po toni tretiranog otpada tokom analiziranog perioda, tabela 19.

### 4.3 Scenario 2 – Anaerobna digestija CHP + Insineracija CHP + Sanitarna deponija

Kao i u slučaju scenarija 1, u scenariju 2 analiziran je tretman biorazgradivog otpada u postrojenju za anaerobnu digestiju i reciklaža ambalažnog otpada. Pored ova dva tretmana scenario 2 obuhvata i analizu postrojenja za spaljivanje otpada (insinerator). U postrojenju za spaljivanje otpada se tretira otpad koji se odlagao na deponiju u scenariju 1, Ms frakcija. Ukupna količina otpada koja preostaje za deponovanje u scenariju 2, tokom 20 godina, je 117.218 tona, čime je značajno smanjena količina otpada koja se deponuje u odnosu na scenario 1. Ostaci nakon tretmana u insineratoru, 22% pepela sa dna rešetke, odnosno 4,2% lebdećeg pepela, podležu daljem tretmanu. Tretman ostataka nakon tretmana u postrojenju za insineraciju, u okviru modela, iskazan je kao dodatni trošak postrojenja za spaljivanje otpada. Tretman pepela sa dna rešetke predstavlja dodatni trošak od 60 € po toni pepela sa dna rešetke, odnosno lebdećeg pepela 150 € po toni, obzirom da je reč o opasnom otpadu. (EC-IPPC, 2006b). Tretmanom 96.508 tona biorazgradivog otpada i 36.712 tona ambalažnog otpada, ispunjeni su zahtevi Direktiva o deponovanju otpada i ambalaži i ambalažnom otpadu. Kako bi se ispunio cilj Okvirne Direktive o otpadu, od 50% reciklaže ukupno generisanog otpada, potrebno je reciklirati 28.165 tona ne-ambalažnog otpada. Maseni bilans scenarija dat je na slici 33. Proces anaerobne digestije doprinosi smanjenju emitovanja GHG u atmosferu za - 0,185 tona CO<sub>2</sub> eq. po toni tretiranog otpada, što u posmatranom vremenskom horizontu iznosi - 309.792 tona CO<sub>2</sub> eq. Postrojenje za insineraciju, doprinosi smanjenju emisije CO<sub>2</sub> eq. za - 0, 348 tona po toni tretiranog otpada, što za posmatranih 20 godina iznosi 974.487 tona CO<sub>2</sub> eq. Ostaci nakon anaerobne digestije koji su odloženi na deponiju, ne doprinose emisiji CO<sub>2</sub> eq. u atmosferu, jer su biološki stabilizovani. Ukoliko se tome doda smanjenje emisije CO<sub>2</sub> eq. koje se ostvaruje reciklažom ambalažnog otpada, od 0,400 tona CO<sub>2</sub> eq., po toni recikliranog ambalažnog i ostalog otpada, 450.280 tona CO<sub>2</sub> eq., ukupno smanjenje emisije GHG u atmosferu iznosi -1.734.559 tona CO<sub>2</sub> eq.



Slika 33: Scenario 2 - Maseni tokovi



Ukupni investicioni troškovi iznose 108.778.760 € za analizirani vremenski period. Investicioni troškovi postrojenja za anaerobnu digestiju instalisanog kapaciteta 96.508 tona iznose 34.261.447 €, za sanitarnu deponiju kapaciteta 6.756 tona 1.191.099 € i za postrojenje za insineraciju instalisanog kapaciteta 161.384 tona, 73.326.215 €, tabela 20. Ukupni operativni troškovi sistema, za 20 godina, iznose 144.811.434 €, 879.649 € za sanitarnu deponiju, 32.553.080. € za anaerobnu digestiju. Ukupni operativni troškovi postrojenja za insineraciju su 111.378.705 € što uključuje i troškove tretmana pepela od 54.604.891 €, tokom 20 godina, tabela 20. Ukupni prihodi sistema koji se ostvaruju prodajom električne energije po tržišnoj ceni i toplotne energije, odnosno komposta i izdvojenih reciklabilnih materija iznose 66.478.436 €, tokom analiziranog perioda. Od prodaje energenata se ostvaruje prihod od 56.984.475 €, od komposta 3.516.555 €, od prodaje ambalažnog otpada i reciklabilnih materija 4.973.417 €, što ukupno za 20 godina iznosi 65.478.436 €. Ukoliko bi se struja prodavala po feed-in tarifi, 85 €/MWh, ukupni prihodi sistema bi bili značajno veći, 99.895.277 €, jer samo prihodi od energenata iznose 91.461.316 €, tabela 20.

*Tabela 20: Ekonomski parametri analiziranih tehnologija u scenariju 2 u 2035. godini*

Tehnologija	Količina otpada (t./god.)	Investicioni troškovi (€) <sup>1</sup>	Operativni troškovi (€/t)	Prihodi (€)	
				Tržišna cena struje	Feed-in tarifa
Anaerobna digestija CHP	96.508	34.261.447	32.553.080.		
Insineracija CHP	161.384	73.326.215	111.378.705*	60.501.030	94.917.871
Deponija	6.756	1.191.099	879.649	-	-
Reciklaža	64.877	-	-	4.977.406	4.977.406
<b>Ukupno</b>	-	<b>108.778.760</b>	<b>144.811.434</b>	<b>65.478.436</b>	<b>99.895.277</b>

\*uključeni troškovi zbrinjavanja izlaznih tokova iz postrojenja

NSV pri trošku kapitala od 6%, je -155.420.012 €, i posledica izrazito visokih početnih ulaganja u dva postrojenja za tretman otpada i sanitarnu deponiju, kao visokih troškova tretmana pepela sa dna rešetke i lebdećeg pepela, tabela 21. Scenario dva ima negativnu NSV, u oba slučaja, pri prodaji energenata po tržišnoj ceni i po feed-in tarifi, tabela 21. U slučaju prodaje energenata po feed-in tarifi, NSV je značajno veća, -135.817.481 €, jer su i prihodi povećani. Vrednost IRR nije moguće odrediti jer su troškovi scenarija visoki, a prihodi nedovoljni da pokriju početno ulaganje i operativne troškove. Relativni odnos između ukupnih prihoda i rashoda analiziranog sistema je manji od 1, odnosno indeks profitabilnosti analiziranog sistema je 0,50% u prvom slučaju, odnosno 0,34 % u slučaju prodaje struje po feed-in tarifi, tabela 21. Period povrata investicije je duži od analiziranog, odnosno diskontovani novčani prilivi tokom 20 godina su manji od početnog ulaganja.

<sup>1</sup> Odnosi se na instalisani kapacitet postrojenja

Tabela 21: Scenario 2 - Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu

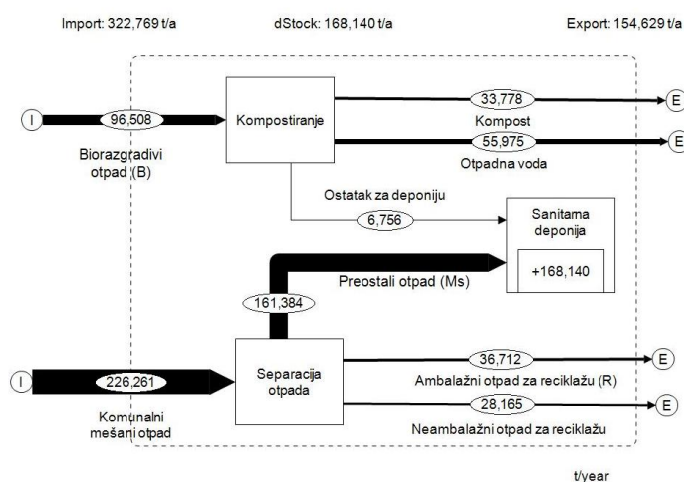
<i>Ekonomski uticaj</i>	<i>Tržišna cena struje</i>	<i>Feed-in tarifa</i>
NSV@ 6% (€)	-155.420.012	-135.817.481
IRR (%)	-	-
PI (%)	0,50	0,34
DPP	nije u analiziranom vremenskom horizontu	
<i>Gate fee @ 6% (€/toni/godišnje)</i>		
Insineracija CHP	97	85
Anaerobna digestija	130	109
Deponija	105	78
Prosečna naknada	109	93
<i>Uticaj na životnu sredinu</i>		
Emisija GHG (tona CO <sub>2</sub> eq.)	-1.734.559	

Na osnovu iznetih rezultata analiziranog scenarija, možemo reći da scenario 2, odnosno analizirani tretmani otpada u okviru sistema, smanjuje emisiju CO<sub>2</sub> eq. u atmosferu i time doprinosi poboljšaju uslova životne sredine i smanjenju negativnog uticaja GHG na globalno zagrevanje. Obzirom da je analizirani sistem ima negativnu NSV, neophodno je uvesti dodatnu naknadu za tretman otpada i deponovanje, kako bi NSV bila nula.

Naknada za tretman otpada računata je pri IRR 6%, kao i u slučaju prethodnog scenarija. U slučaju kada se energenti prodaju po tržišnoj ceni, naknada za tretman otpada za anaerobnu digestiju iznosi 130 € po toni otpada godišnje tokom analiziranog perioda, za insineraciju 97 € po toni otpada koja uključuje i zbrinjavanje izlaznih tokova nakon tretmana i za deponiju iznosi 105 € po toni odloženog otpada godišnje, tokom analiziranog perioda. Kada se energenti prodaju po feed-in tarifi, naknade su manje, zbog većih ostvarenih prihoda od prodaje energenata. Za insineraciju nadoknada za tretman otpada je 85 € po toni tretiranog otpada, za anaerobnu digestiju 109 € po toni tretiranog otpada, dok za odlaganje otpada na deponiju naknada iznosi 78 € po toni otpada, tabela 21. Vrednosti naknada za tretman otpada pokazuju zavisnost od količina otpada koje se tretiraju. U slučaju insineracije kada se tretiraju veće količine otpada tokom 20 godina, naknada je manja u odnosu na naknadu za deponovanje otpada, gde se tokom analiziranog perioda odloži manje otpada nego što se tretira godišnje u insineratoru. Prosečna naknada za tretman otpada u scenariju 2 je 109 € po toni otpada u toku analiziranog perioda, odnosno 93 € po toni otpada u slučaju prodaje energenata po feed-in tarifi, tabela 21.

#### 4.4 Scenario 3 – Kompostiranje + Sanitarna deponija

Kao i u slučaju scenarija 1, u scenariju 3 je razmatran je samo tretman biorazgradivog otpada, koji se odvojeno sakuplja, frakcija B, dok se preostala količina otpada, frakcija Ms, odlaže direktno na deponiju. Ostaci nakon procesa kompostiranja, 7% kao i u slučaju anaerobne digestije, odlažu se na deponiju zajedno sa frakcijom Ms. Tokom procesa kompostiranja, dobija se 35% komposta, od ukupne količine tretiranog otpada (Alevridou i dr., 2001b). Kompost se takođe prodaje po ceni od 7 €/toni. (AWAST, 2004; Alevridou i dr., 2001b). Od ukupne količine tretiranog otpada kompostiranjem, 96.508 tona, čak 57% odnosno 55.956 tona predstavljaju otpadne vode i delimično otpadni gasovi. Tretmanom 96.508 tona biorazgradivog otpada i 36.712 tona ambalažnog otpada, ispunjeni su zahtevi Direktiva o deponovanju otpada i ambalaži i ambalažnom otpadu. Kako bi se ispunio cilj Okvirne Direktive o otpadu, od 50% reciklaže ukupno generisanog otpada, potrebno je reciklirati 28.165 tona drugog ne-ambalažnog otpada. Maseni bilans scenarija dat je na slici 34. Analiziranim scenarijom smanjena je ukupna količina deponovanog otpada za 54%, sa 5.383.207 na 2.917.469 tona, kao i u slučaju scenarija 1.



Slika 34: Scenario 3 - Maseni tokovi

U okviru analiziranog scenarija 3, proces kompostiranja doprinosi smanjenju emitovanih GHG za - 0,012 tona CO<sub>2</sub> eq po toni tretiranog otpada. Najvećim delom efekat smanjenja emitovanih GHG potiče od komposta koji se koristi kao zamena „industrijski“ proizvedenom kompostu. Stoga, tretmanom 96.508 tona biorazgradivog otpada smanjuje se emisija GHG procesom kompostiranja, za - 20.095 tona CO<sub>2</sub> eq. tokom 20 godina. Procesom reciklaže ambalažnog otpada i ne-ambalažnog otpada, smanjuje se emisija CO<sub>2</sub> eq. po toni otpada za - 0,400 tona što doprinosi ukupnom smanjenju GHG od - 450,280 tona CO<sub>2</sub> eq. tokom analiziranog perioda. Na deponiju se odlaže sav preostali otpad koji nije tretiran, 2.800.251 tona, koji doprinosi emisiji 0,245 tona CO<sub>2</sub> eq. po toni odloženog otpada. Potrebno je naglasiti da u bilans emisije CO<sub>2</sub> eq. sa deponije nije uračunat ostatak nakon tretmana u anaerobnoj digestiji, 117.218 tona otpada. Ukupna količina emisije GHG tokom 20 godina, sa deponije iznosi 686.061 tona CO<sub>2</sub> eq. Ukupna emisija GHG tokom 20 godina, u scenariju 3, iznosi 244.405 tona CO<sub>2</sub> eq.

Investiciona ulaganja za kompostiranje su 19.439.281 € za postrojenje instalisanog kapaciteta od 96.508 tona, za sanitarnu deponiju kapaciteta 168.140 tona 15.923.470 €, što ukupno iznosi 35.362.751 €, tabela 22. Ukupni operativni troškovi iznose 24.358.967 € tokom 20 godina, kompostiranje 11.838.866 €, odnosno za sanitarnu deponiju 12.502.101 €. Ukupni prihodi koje ovaj scenario ostvaruje su 9.080.054 €, tabela 22. Prodajom 586.092 tone komposta, 4.102.647 €, odnosno prodaje reciklata 4.997.406 €.

*Tabela 22: Ekonomski pokazatelji scenarija 3 u 2035. godini*

Tehnologija	Količina otpada (t./god.)	Investicioni troškovi (€) <sup>2</sup>	Operativni troškovi (€)	Prihodi (€)
Kompostiranje	96.508	19.439.281	11.838.866	4.102.647
Deponija	168.140	15.923.470	12.502.101	-
Reciklaža	64.877	-	-	4.977.406
Ukupno		35.362.751	24.358.967	9.080.054

NSV scenarija 3, pri trošku kapitala od 6% iznosi -44.867.421€, što je kao i u prethodnim slučajevima posledica visokih početnih investicionih ulaganja, tabela 23. IRR scenarija nije moguće odrediti jer su prihodi tokom analiziranog perioda nedovoljni da pokriju troškove scenarija, operativne i investicione. Relativni odnos između ukupnih prihoda i rashoda analiziranog scenarija je manji od 1, odnosno indeks profitabilnosti analiziranog sistema je 0,31 %, tabela 23. Period povrata investicije je duži od analiziranog, odnosno diskontovani novčani prilivi tokom 20 godina su manji od početnog ulaganja.

*Tabela 23: Scenario 3 - Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu*

<i>Ekonomski pokazatelji</i>	
NSV @ 6% (€)	-44.867.421
IRR (%)	-
PI (%)	0,54%
DPP	nije u analiziranom vremenskom horizontu
<i>Gate fee (€/toni/godišnje)</i>	
Kompostiranje	47
Sanitarna deponija	27
Prosečni gate-fee	34
<i>Uticaj na životnu sredinu</i>	
Emisija GHG (tona CO <sub>2</sub> eq.)	244.405

Na osnovu rezultata možemo zaključiti da scenario 3 doprinosi smanjenju emisije GHG u atmosferu u odnosu na nulti scenario, jer ukupna emisija GHG iznosi 244.405 tona CO<sub>2</sub> eq. Obzirom da je analizirani sistem ima negativnu NSV, neophodno je uvesti dodatnu naknadu za tretman otpada i deponovanje, kako bi sistem bio na ekonomskoj nuli, odnosno NSV bila nula. Pri IRR 6%, naknada za tretman otpada kompostiranjem iznosi 47 € po toni tretiranog otpada,

<sup>2</sup> Odnosi se na instalisani kapacitet postrojenja

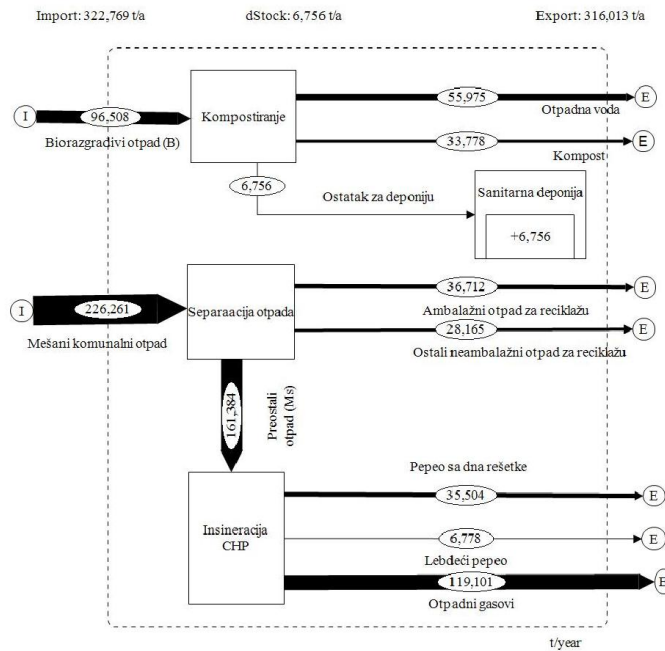
a naknada za odlaganje na deponiju je 27 € po toni odloženog otpada godišnje tokom analiziranog perioda, tabela 23. Prosečna naknada za tretman otpada u scenariju 3 je 34 € po toni otpada za analizirani period.

#### **4.5 Scenario 4–Kompostiranje + Insineracija CHP + Sanitarna deponija**

Scenario 4 obuhvata tretman biorazgradivog otpada, frakcija B, u postrojenju za kompostiranje, odvajanje ambalažnog otpada, frakcija R, i spaljivanje preostalog otpada, frakcija Ms, u postrojenju za insineraciju. Sa kompostom dobijenim tokom procesa kompostiranja i ostacima nakon kompostiranja se postupa isto kao i u scenariju 3. Lebdeći pepeo i pepeo sa dna rešetke, podležu daljem tretmanu, kao što je bio slučaj u scenariju 2, dok se toplotna i električna energija dobijeni spaljivanjem otpada, delom koriste za podmirivanja energetske potrebe postrojenja, a deo se prodaje. Ukupna količina otpada koja preostaje za deponovanje u scenariju 4, tokom 20 godina, je 117.218 tona, čime je značajno smanjena količina otpada koja se deponuje u odnosu na scenario 3, koji uključuje samo proces kompostiranja. Tretmanom 96.508 tona biorazgradivog otpada i 36.712 tona ambalažnog otpada, ispunjeni su zahtevi Direktiva o deponovanju otpada i ambalaži i ambalažnom otpadu. Kako bi se ispunio cilj Okvirne Direktive o otpadu, od 50% reciklaže ukupno generisanog otpada, potrebno je reciklirati 28.165 tona drugog ne-ambalažnog otpada. Maseni bilans scenarija 4 dat je na slici 35.

U okviru scenarija 4, procesom insineracije se značajno smanjuje emisija GHG, u odnosu na nulti scenario. Procesom kompostiranja se smanjuje emisija GHG za – 0,012 tona po toni tretiranog otpada, što za period od 20 godina iznosi - 20.095 tona CO<sub>2</sub> eq. Procesom insineracije se smanjuje emisija GHG za – 0,378 tona CO<sub>2</sub> eq. po toni tretiranog otpada, što u periodu od 20 godina iznosi – 974.487 tona CO<sub>2</sub> eq.. Ostaci nakon kompostiranja koji su odloženi na deponiju, ne doprinose emisiji GHG u atmosferu, jer su biološki stabilizovani. Ukoliko se tome doda smanjenje emisije GHG koje se ostvaruje reciklažom 64.877 tona ambalažnog i ne-ambalažnog otpada, od -0,400 tona CO<sub>2</sub> eq., po toni recikliranog otpada, ukupno smanjenje emisije procesom reciklaže iznosi - 450.280 tona CO<sub>2</sub> eq. tona, tokom 20 godina. Scenario 4 doprinosi ukupnom smanjenju emisije GHG u odnosu na nulti scenario, od -1.444.862 tona CO<sub>2</sub> eq. tokom 20 godina.

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*



*Slika 35: Scenario 4 - Maseni tokovi*

Ukupni investicioni troškovi scenarija 4 iznose 93.956.595 €, 73.326.215 za postrojenje za spaljivanje otpada instalisanog kapaciteta 161.389 tona, 19.439.281 € za kompostiranje instalisanog kapaciteta 96.508 tona i 1.191.099 € za sanitarnu deponiju kapaciteta 6.756 tona, tabela 24. Ukupni operativni troškovi scenarija su 124.097.220 €, od čega su 11.838.866 operativni troškovi postrojenja za kompostiranje i 879.649 € su operativni troškovi deponije. Ukupni operativni troškovi postrojenja za insineraciju su 111.378.705 € što uključuje i troškove zbrinjavanja izlaznih tokova pepela od 54.604.891 €, tokom 20 godina, tabela 24. Ukupni prihodi koji se ostvaruju prodajom energenata po tržišnim cenama su 55.437.055 € i komposta su 4.102.647 €, dok od prodaje recikliranog ambalažnog i ostalog ne-ambalažnog otpada prihod je 4.977.406 €. Stoga, ukupni prihod koji se ostvari prodajom energenata po tržišnoj ceni u scenariju 4 je 64.517.109 €. Prodajom energenata po feed-in tarifi ostvaruje se prihod od 89.040.065 €, odnosno 98.120.119 € uključujući prihode od prodaje komposta i reciklata, tabela 24.

Tabela 24: Ekonomski pokazatelji scenarija 4 u 2035. godini

Tehnologija	Količina otpada (t./god.)	Investicioni troškovi (€) <sup>3</sup>	Operativni troškovi (€)	Prihodi (€)	
				Tržišna cena struje	Feed-in tarifa
Kompostiranje	96.508	19.439.281	11.838.866		
Insineracija CHP	161.384	73.326.215	111.378.705*	59.539.703	93.142.713
Deponija	6.756	1.191.099	879.649	-	-
Reciklaža	64.877	-	-	4.977.406	4.977.406
Ukupno	-	93.956.595	124.097.220	64.517.109	98.120.119

\*uključeni troškovi zbrinjavanja izlaznih tokova iz postrojenja

Neto sadašnja vrednost scenarija 4, pri trošku kapitala od 6%, je -129.097.220 €, tabela 25. Kao i u prethodno analiziranim scenarijima, investiciona ulaganja i operativni troškovi nadmašuju prihode ostvarene prodajom „output-a“ koje generišu analizirani tretmani/postrojenja. Ukoliko bi se struja prodavala po feed-in tarifi, NSV scenarija bi se povećala na -109.879.769 €, jer bi se ukupni prihodi od prodaje električne energije povećali, tabela 25. Za razliku od IRR vrednosti, koja se u slučaju prodaje energenata po tržišnoj ceni ne može odrediti, relativni odnos između ukupnih prihoda i rashoda analiziranog sistema je manji od 1, odnosno indeks profitabilnosti analiziranog sistema je 0,46 u prvom slučaju, odnosno 0,28 % u slučaju prodaje struje po feed-in tarifi, tabela 25. Period povrata investicije je duži od analiziranog, odnosno diskontovani novčani prilivi tokom 20 godina su manji od početnog ulaganja.

Tabela 25: Scenario 4 - Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu

Ekonomski pokazatelji	Tržišna cena struje	Feed-in tarifa
NSV @ 6% (€)	-129.018.772	-109.879.769
IRR (%)	-	-
PI (%)	0,46	0.28
DPP	nije u analiziranom vremenskom horizontu	
<i>Gate fee (€/toni/godišnje)</i>		
Insineracija CHP	80	68
Kompostiranje	102	82
Sanitarna deponija	73	58
Prosečni gate fee	87	72
<i>Uticaj na životnu sredinu</i>		
Emisija GHG (tona CO <sub>2</sub> eq.)	-1.444.862	

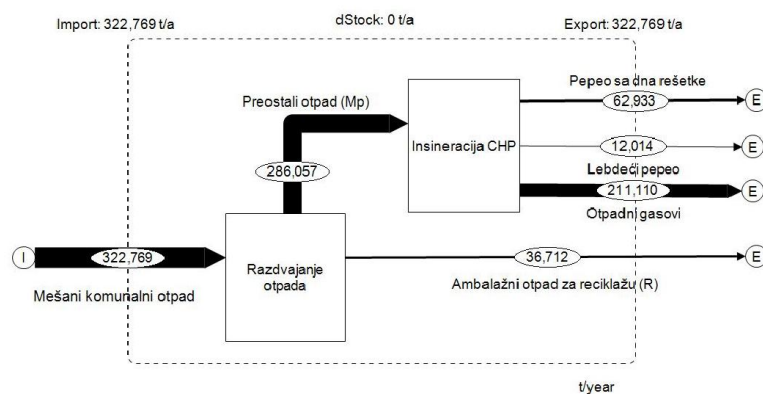
Na osnovu iznetih rezultata možemo reći da analizirani scenario 4, doprinosi smanjenju emisije GHG u atmosferu, tabela 25. Obzirom da analizirani scenario ima negativnu NSV, neophodno je uvesti dodatnu naknadu za tretman otpada i deponovanje, kako bi sistem bio na ekonomskoj nuli, odnosno NSV nula pri trošku kapitala od 6%. Naknada za tretman otpada računata pri IRR 6% , u slučaju kada se energenti prodaju po tržišnoj ceni, za kompostiranje iznosi 102 € po toni

<sup>3</sup> Odnosi se na insatlisani kapacitet postrojenja

otpada, za insineraciju 80 € po toni otpada koji uključuje i zbrinjavanje izlaznih tokova nakon tretmana i za deponiju iznosi 72 € po toni odloženog otpada godišnje, tokom analiziranog perioda. Kada se energenti prodaju po feed-in tarifi, naknade su manje. Za insineraciju nadoknada za tretman otpada je 68 € po toni tretiranog otpada, za kompostiranje 82 € po toni tretiranog otpada, dok za odlaganje otpada na deponiju naknada iznosi 58 € po toni otpada, tabela 25. Prosečna naknada za tretman otpada u scenariju 4 je 87 € po toni otpada po tržišnim cenama energenata, odnosno 72 € po toni otpada po feed-in tarifi energenata, tokom analiziranog perioda, tabela 25.

#### 4.6 Scenario 5- Insineracija CHP

Scenario 5 je jedini analizirani scenario u okviru rada u kome se ne menja trenutna praksa sakupljanja otpada. Od ukupne količine generisanog otpada u 2035. godini, 322.769. tona, deo se izdvaja za reciklažu, frakcija R, dok se sav preostali otpad tretira u postrojenju za spaljivanje otpada. Kao i u ostalim slučajevima, kada je analiziran tretman otpada spaljivanjem, ostaci nakon tretmana otpada se dalje tretiraju. Maseni tokovi scenarija 5, su dati na slici 36. Najveći deo nakon tretmana otpada spaljivanjem predstavljaju otpadni gasovi, 211.110 tona, dok veoma mali deo čine otpadne vode.



Slika 36: Scenario 5 - Maseni tokovi

Tretmanom otpada u postrojenju sa spaljivanje otpada CHP tipa se smanjuje emisija GHG za -0,348 tona CO<sub>2</sub> eq. U posmatranom vremenskom periodu od 20 godina, ukupno smanjenje emisije GHG koje se ostvaruje tretmanom otpada spaljivanjem je - 1.557.231 tona CO<sub>2</sub> eq. Ukoliko se tome doda i smanjenje emisije GHG koje se ostvari reciklažom ambalažnog i ne-ambalažnog otpada od -256.074 tona CO<sub>2</sub> eq., ukupno smanjenje emisije GHG ostvareno u scenariju 5 je - 1.813.205 tona CO<sub>2</sub> eq.

Ukupni investicioni troškovi scenarija 5 su 112.421.738 € i odnose se na postrojenje za insineraciju instalisanog kapaciteta 286.057 tona otpada. Ukupni operativni troškovi postrojenja za 20 godina su 187.618.947 €, od čega je zbrinjavanje izlaznih tokova postrojenja, pepela, 84.573.735 €, tabela 26. Ukupni prihodi scenarija 5, prodajom energenata po tržišnim cenama su 92.565.821 €, uključujući i prihode od prodaje ambalažnog otpada. U slučaju prodaje energenata po feed-in tarifi prihodi od prodaje značajno su veći. 142.286.024 €, tabela 26.



Tabela 26: Ekonomski pokazatelji scenarija 5 u 2035. godini

Tehnologija	Količina otpada (t./god.)	Investicioni troškovi (€) <sup>4</sup>	Operativni troškovi (€)	Prihodi (€)	
				Tržišna cena struje	Feed-in tarifa
Insineracija CHP	286.057	106.689.256	163.396.527	88.588.414	142.286.024
Reciklaža	36.712	-	-	3.977.406	3.977.406
Ukupno	-	106.689.256	163.396.527	92.565.821	145.263.430

Neto sadašnja vrednost scenarija 5, je -147.599.726 €, tabela 27. Ukoliko bi se energenti prodavali po feed-in tarifi, ukupni prihodi bi porasli na 145.263.430 €, što bi povećalo NSV na -117.015.600 €. IRR vrednost, kao i u prethodnim slučajevima, nije moguće odrediti jer su jako visoki troškovi analiziranog scenarija, kako operativni tako i investicioni, koje nije moguće nadoknaditi prodajom „output-a“ koje generiše scenario 5. Relativni odnos između ukupnih prihoda i rashoda analiziranog sistema je manji od 1, odnosno indeks profitabilnosti analiziranog sistema je 0,34 % u prvom slučaju, odnosno 0,37 % u slučaju prodaje struje po feed-in tarifi, tabela 23. Period povrata investicije je duži od analiziranog, odnosno diskontovani novčani prilivi tokom 20 godina su manji od početnog ulaganja.

Tabela 27: Scenario 5 – Ekonomski uticaj i uticaj na životnu sredinu

Ekonomski pokazatelji	Tržišna cena struje	Feed-in tarifa
NSV @ 6% (€)	-147.599.726	-117.015.600
IRR (%)	Ne postoji vrednost	-3,9
PI (%)	0,49	0,35
DPP	Nije u horizontu	
<i>Gate fee €/ toni</i>		
Insineracija CHP	57	46
<i>Uticaj na životnu sredinu</i>		
Emisija GHG (tona CO <sub>2</sub> eq.)	-1.813.305	

Na osnovu iznetih vrednosti, možemo reći da analizirani scenario, doprinosi smanjenju emisije GHG u atmosferu, čime je smanjen negativan uticaj otpada i upravljanja istim na životnu sredinu.

NSV vrednost scenarija je negativna, i neophodno je uvesti naknadu za tretman otpada u postrojenju za spaljivanje otpada, kako bi scenario bio na ekonomskoj nuli, i vrednost NSV bila na nuli. Pri IRR od 6%, naknada za spaljivanje otpada u slučaju tržišne cene energenata je 46 € po toni otpada godišnje u toku 20 godina, odnosno u slučaju feed-in tarife je 26 € po toni otpada, tabela 27.

<sup>4</sup> Odnosi se na instalisani kapacitet postrojenja

## **5 Zaključna razmatranja**

Prvi postavljeni kriterijum za razvoj scenarija u okviru modela je ispunjenje ciljeva propisanih Direktivama Evropske unije u oblasti upravljanja otpadom. Tretmanom 96.508 tona biorazgradivog otpada, ispunjen je cilj Direktive o deponovanju otpada odnosno smanjena je količina biorazgradivog koja se odloži na deponiju za najmanje 65% od ukupno generisane količine. Tretmanom 36.712 tona ambalažnog otpada, ispunjen je cilj o minimumu reciklaže 55% ambalažnog otpada, u skladu sa ciljem Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu.

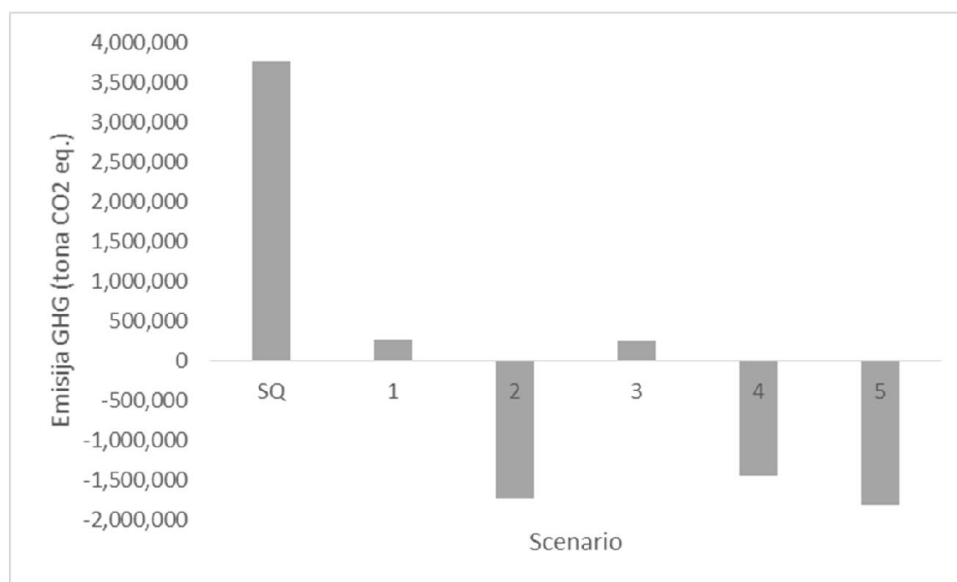
Ukupna količina otpada koja se reciklira, biorazgradivi otpad i ambalažni otpad nisu dovoljni da bi se ispunio cilj Okvirne Direktive o otpadu, o reciklaži minimum 50% ukupno generisanog otpada. Ukupna količina od 133.220 tona recikliranog otpada, odgovara stepenu reciklaže od 0,41% u odnosu na ukupno generisanu količinu otpada u 2035.godini od 322.769. Za ispunjavanje minimuma propisanog Okvirnom Direktivom, potrebno je reciklirati 28.165 tona ne-ambalažnog otpada. Istovremeno, prema definiciji Okvirne Direktive procesom reciklaže otpada se ne podrazumeva energetska iskorisćenje otpada. Iako se sav otpad tretira i smanjena je količina biorazgradivog otpada koja se odlaže na deponiju, u scenariju 5, otpad se spaljivanjem koristi u energetske svrhe, čime scenario 5 ne ispunjava odredbe Okvirne Direktive o reciklaži otpada.

U Srbiji, a samim tim u regionu Novog Sada, trenutno ne postoji odvojeno sakupljanje biorazgradivog otpada, i celokupni biorazgradivi otpad se odlaže na deponiju, pa će u praksi biti teško ispuniti stepen reciklaže biorazgradivog otpada od 65%. Definisani rok u okviru modela, 2035. godina, uzeta je na osnovu ciljeva definisanih u (Batinić B., 2015), za postizanje krajnjeg cilja Direktive o deponovanju otpada a to je smanjenje količine biorazgradivog otpada za 65% do 2030. godine. Zvanični rokovi tek treba da budu definisani u narednom periodu, i da se definiše strategija smanjenja deponovanja biorazgradivog otpada. Prema iskustvima zemalja članica EU, za uspešnu implementaciju Direktive o deponovanju otpada, neophodno je uvesti, postepeno, taksu za odlaganje otpada na deponiju, a kasnije potpuno zabraniti deponovanje biorazgradivog otpada (Lasaridi, K., 2009, BiPRO, 2001). Zemlje članice koje su upravljanje otpadom zasnivale na deponovanju, kao i region Novog Sada, nisu imale uvedene takse za deponovanje otpada, i bilo je mnogo teže sprovesti odredbe Direktive o deponovanju otpada npr. Grčka, Španija, UK dok u zemljama kao što su Nemačka, Austrija gde je taksa bila uvedena pre donošenja Direktive, nisu imali poteškoća u sprovođenju ciljeva Direktiva i razvoj odgovarajuće infrastrukture za upravljanje otpadom kojim bi se ispunili ciljevi EU Direktiva.

Trenutna situacija po pitanju sakupljanja i reciklaže ambalažnog otpada i ostalog reciklabilnog otpada iz domaćinstava, je na veoma niskom nivou, a stopu reciklaže ambalažnog otpada od najmanje 55% do 2035. godine je realno moguće postići. Ovo potvrđuje i izveštaj IMG (2014), rađen za potrebe revizije nacionalne Strategije upravljanja otpadom u cilju usaglašavanja sa ključnim Direktivama EU, gde je kao rok za ostvarenje krajnjeg cilja za reciklažu i ponovno iskorišćenje ambalažnog otpada, predložena 2025. godina, što predstavlja realniju opciju. Međutim za uspešno ispunjavanje odredbe o reciklaži ambalažnog otpada, na osnovu iskustava zemalja članica, potrebno je uvesti pored navedene takse za deponovanje otpada, i odvojeno sakupljanje ambalažnog otpada i razviti sistem sakupljanja ambalažnog otpada kao i šeme povratka depozita za korišćeni ambalažni otpada npr. plastične i staklene flaše (EEA, 2007)

U okviru scenarija 1, 2, 3, 4 i 5 analizirane su tehnologije koje su u praksi dokazane kao pouzdane za tretman komunalnog otpada, odnosno biorazgradivog otpada, čime je ispunjen drugi kriterijum. Za tretman biorazgradivog otpada analizirana su postrojenja za anaerobnu digestiju (anaerobni proces razgradnje) i kompostiranje (aerobni proces razgradnje). Za tretman mešanog komunalnog otpada, analizirano je postrojenje za spaljivanje otpada uz mogućnost dobijanja toplotne i električne energije sa pokretnom rešetkom. Naravno, biološki tretmani otpada imaju manje troškove kako investicione tako i operativne, u odnosu na postrojenja za termički tretman otpada, što se odražava ne ekonomske performanse analiziranih scenarija. Za ostvarivanje maksimalnog učinka postrojenja, neophodno je da sirovine (otpad) budu što boljeg kvaliteta. Stoga će, sakupljanje biorazgradivog otpada predstavljati veliki izazov u budućem razvoju sistema upravljanja otpadom, dok postrojenje sa pokretnom rešetkom za spaljivanje otpada ne zahteva poseban predtretman otpada i pogodan je za tretman mešanog komunalnog otpada.

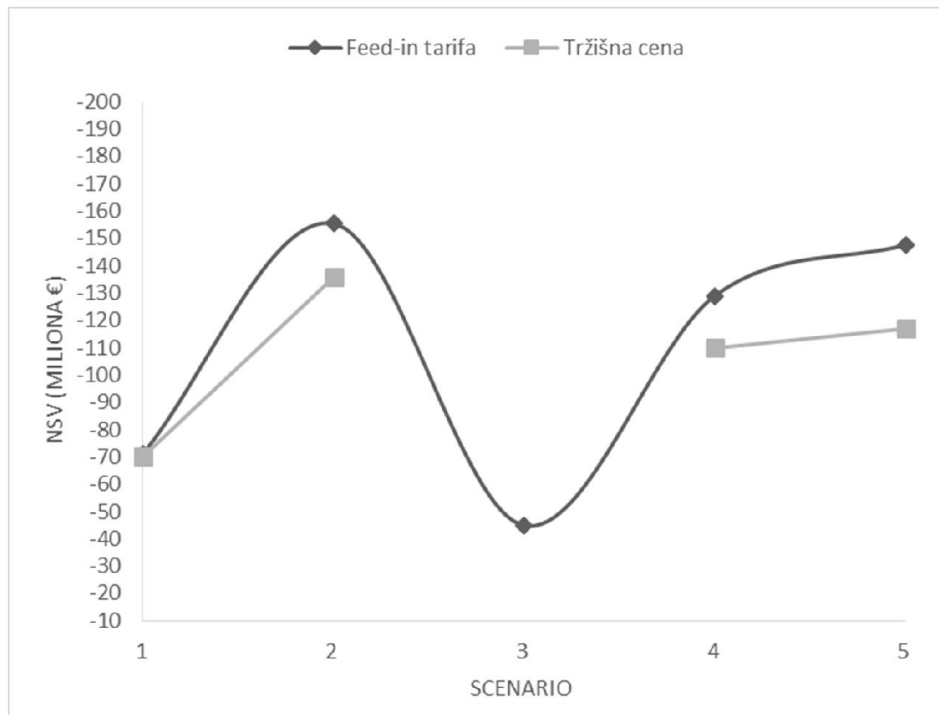
Treći kriterijum prilikom definisanja scenarija upravljanja otpadom u ovom radu, je smanjenje emisije GHG, izražene preko CO<sub>2</sub> eq. Scenariji 1 i 3 koji obuhvataju samo tretman biorazgradivog otpada, i reciklažu ambalažnog otpada, zbog velike količine preostalog netretiranog otpada koji se odlaže na deponiju, manje doprinose smanjenju emisije GHG u atmosferu, od scenarija koji obuhvataju i tretman otpada insineracijom, grafik 8. Scenario 2 i 4, koji obuhvataju biološki i termički tretman otpada, doprinose većem smanjenju emitovanih GHG u atmosferu. Scenario 5 ima najveći efekat na smanjenje emisije GHG, jer se sav otpada spaljuje, i dobijena energija iskorišćava za zamenu drugih izvora energije u sistemu, koji potiču od fosilnih goriva. Efekat smanjenja emisije je veći ukoliko se otpad tretira u postrojenju za insineraciju, i ne odloži se na deponiju. U odnosu na nulti scenario (SQ) svih pet analiziranih scenarija doprinose smanjenu emisije GHG u atmosferu.



*Grafik 8: Emisija GHG analiziranih scenarija*

Četvrti kriterijum za razvoj scenarija u okviru modela je ekonomska održivost scenarija. Obzirom da svi analizirani scenariji imaju negativnu NSV, zbog velikih investicionih ulaganja u postrojenja za tretman otpada i operativnih troškova koji se ne mogu pokriti prihodima analiziranih scenarija, neophodno je uvesti naknadu za tretman otpada, kako bi sistem

ekonomski bio na nuli, odnosno pri IRR 6% koliki je i trošak kapitala u analiziranim scenarijima. Najmanju NSV ima scenario 3, -44.867.421 € dok najveću ima scenario 2, -155.420.012 €, grafik 9. Veća neto sadašnja vrednost scenarija 2 i 4 je posledica visokih investicionih ulaganja u postrojenje za spaljivanje otpada i tretmana izlaznih tokova postrojenja za spaljivanje otpada. Veća NSV u scenariju 1 u odnosu na scenario 3, je posledica većih investicionih ulaganja u postrojenju za anaerobnu digestiju. Prodaja struje po feed-in tarifi, dodatno utiče na smanjenje NSV, u scenarijima 2, 4 i 5, grafik 9.



*Grafik 9: NSV analiziranih scenarija pri tržišnoj ceni energenata i feed-in tarifi*

Na osnovu dobijenih vrednosti NSV analiziranih scenarija, određena je naknada za tretman otpada svakog scenarija, kako po tržišnim cenama energenata tako i u slučaju prodaje energenata po feed-in tarifi, grafik 10. Vrednosti dobijene za naknadu za tretman otpada u postrojenju za insineraciju, u opsegu od 46 € po toni otpada do 97 € po toni otpada, što odgovara vrednostima koje su dostupne u literaturi (EC-IPPC, 2006b; Yassain, L. i dr., 2009). Ove vrednosti obuhvataju tretman i zbrinjavanje izlaznih tokova postrojenja za insineraciju.

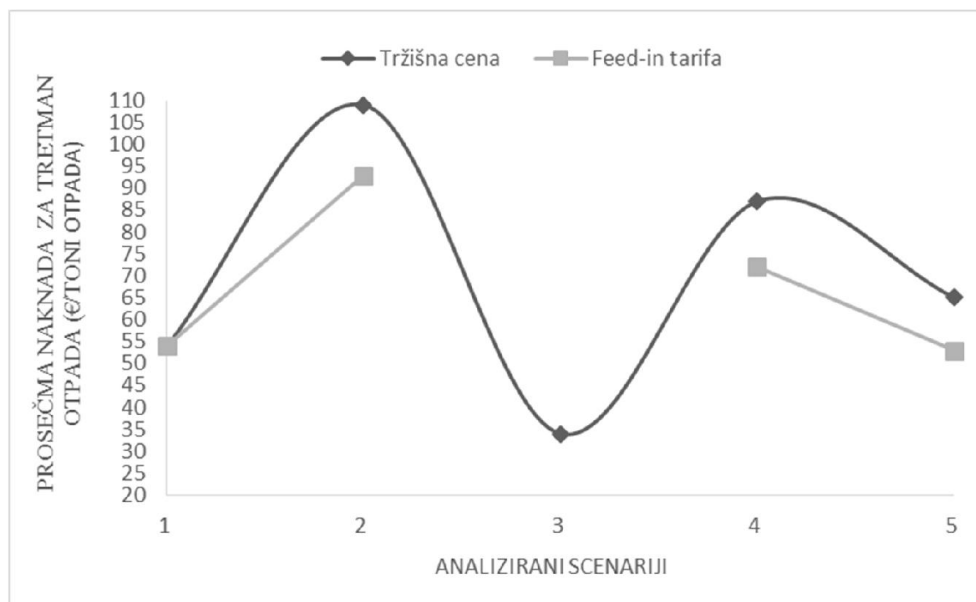
Vrednosti dobijene za naknadu za tretman otpada u postrojenjima za biološki tretman su veće od vrednosti za spaljivanje otpada, zbog manje količine otpada koja se tretira tokom analiziranog perioda. Manje količine otpada koje se tretiraju zahtevaju veću naknadu kako bi se pokrila NSV, odnosno troškovi sistema. Najmanju naknadu za biološki tretman otpada ima scenario 3, 47 € po toni otpada godišnje tokom posmatranog perioda, a najveću scenario 2, 130 € po toni otpada godišnje tokom posmatranog vremenskog perioda.

U slučaju scenarija 2 naknada za odlaganje na deponiju je 105 € po toni otpada godišnje tokom analiziranog perioda, odnosno 78 €, u slučaju prodaje energenata po feed-in tarifi. U slučaju scenarija 4 vrednosti su 80 € po toni otpada godišnje, dok u slučaju prodaje energenata po feed-in tarifi naknada je 73 € po toni otpada godišnje. U slučaju prodaje struje po feed-in tarifi,

vidljiv je efekat većih cena struje, koji utiče na povećanje NSV scenarija 2,4 i 5, kao i smanjenje naknade za tretman otpada. U scenarijima 1 i 3, gde se odlaže 168.140 tona otpada, naknada za odlaganje na deponiju u scenariju 1 je 42 € po toni otpada godišnje, tokom analiziranog perioda. U scenariju 3 naknada iznosi 27 € po toni otpada godišnje, jer je NSV scenarija 3 manja od NSV scenarija 1, odnosno investicioni troškovi postrojenja za kompostiranje su značajno manji od investicionih troškova za postrojenja za anaerobnu digestiju. Vrednosti naknade za odlaganje otpada na deponiju na nivou EU su različite. U nekim zemljama naknada za odlaganje otpada na deponiju iznosi nekoliko € po toni odloženog otpada, do 200 € po toni otpada. Istovremeno, zemlje članice imaju po nekoliko različitih naknada za odlaganje otpada na deponije. Generalno vrednosti se kreću u proseku od 30 € do 200 € po toni otpada, što zavisi od vrste otpada koja se odlaže na deponiju (ETC/SCP, 2012).

Najmanju prosečnu naknadu za tretman otpada ima scenario 3, 34 € po toni otpada godišnje, dok najveću ima scenario 2, 109 € po toni otpada godišnje tokom analiziranog perioda, grafik 10. Visoka naknada za tretman otpada u scenariju 2 je posledica visokih troškova oba CHP postrojenja za tretman otpada, a prihodi od prodaje energenata u slučaju anaerobne digestije su značajno manji od prihoda od prodaje energenata u slučaju insineracije. U slučaju scenarija 2 i 4 ukupne prosečne naknade za tretman otpada su niže u slučajevima kada se energenti prodaju po feed-in tarifi, grafik 10. Zbog veoma male razlike NSV prilikom prodaje struje po tržišnim cenama i feed-in tarifi, ukupna naknada za tretman otpada u scenariju 1 je ista u oba slučaja. U scenariju 1, prosečna naknada za posmatrani sistem je 54 € po toni tretiranog otpada, jer su razlike u NSV po tržišnoj ceni energenata i feed-in tarifi male, da bi uticale na promene ukupne prosečne naknade.

Visina naknade za tretman otpada će sigurno zavistiti od toga kako i na koji način će se finansijska sredstva pribaviti, što sa jedne strane može da smanji naknadu ako su u pitanju bespovratna sredstva ili je trošak kapitala manji od 6%, ili da poveća naknadu ako trošak kapitala je veći od 6% odnosno ukoliko se uključi i profit budućeg operatera.



Grafik 10: Naknada za tretman otpada analiziranih scenarija

U tabeli 28, dat je prikaz ključnih vrednosti za analizirane scenarije. Ukoliko se uzmu u obzir definisani kriterijumi za razvoj scenarija upravljanja otpadom, možemo reći da prvi kriterijum ispunjavaju svi scenariji osim scenarija 5, kojim se ne može ispuniti odredba Okvirne Direktive o reciklaži otpada. Drugi kriterijum ispunjavaju sva preostala četiri scenarija, jer sve analizirane tehnologije su u praksi dokazane kao pouzdane za tretman otpada. Treći kriterijum, smanjenje emisije GHG, ispunjavaju svi scenariji, pri čemu najveći efekat smanjenja emisije GHG ima scenario 2, tabela 28. Najveću NSV, odnosno najmanju naknadu za tretman otpada ima scenario 3, i ovaj scenario istovremeno ima i najmanje troškove, i najprihvatljiviji je sa aspekta ekonomske održivosti, četvrtog kriterijuma, tabela 28.

*Tabela 28: Pregled ključnih vrednosti analiziranih scenarija*

	NSV @ 6% (€)		Gate fee @ 6% (€/t./god.)		GHG (tona CO <sub>2</sub> eq.)
	Tržišna cena	Feed-in	Tržišna cena	Feed-in	
Scenario SQ	-	-	-	-	3.768.214
Scenario 1	-71.268.061	-70.150.205	47	47	264.500
Scenario 2	-155.420.012	-135.817.481	109	93	-1.734.559
Scenario 3	-44.867.421	-	34	-	244.405
Scenario 4	-129.018.772	-109.879.769	87	72	-1.444.862
Scenario 5	-147.599.726	-117.015.600	65	46	-1.813.305

Izbor tehnologija za tretman otpada, kako bi se ispunili ciljevi EU Direktiva, zavisice od njihovog uticaja na emisiju GHG i troškova tehnologija. Scenariji koji obuhvataju biološki tretman otpada i reciklažu ambalažnog i ne-ambalažnog otpada, imaju mnogo manje troškove, odnosno NSV im je veća, a naknada za tretman otpada manja. Scenariji koji uključuju i termički tretman otpada, imaju mnogo veće troškove, ali emisija GHG im je mnogo manja od scenarija koji obuhvataju samo biološki tretman otpada, i imaju mnogo veću naknadu za tretman otpada.

Trenutna praksa upravljanja otpadom, uz tendenciju rasta količina otpada u budućnosti, nije održiva sa aspekta zaštite životne sredine i doprinosi njenoj ubrzanoj degradaciji. Zaštita životne sredine kao jedan od osnovnih ciljeva upravljanja otpadom, može se postići uvođenjem adekvatnih tehnologija za tretman otpada. Pored smanjenja negativnog efekta na životnu sredinu, i smanjenje emisije GHG, implementacijom pojedinih tehnologija, otpad se može iskoristiti kao resurs za dobijanje energije, čime se smanjuje korišćenje fosilnih izvora. Implementacija tehnologija za tretman otpada, nisu ekonomski isplative, odnosno investicioni trošak je veći od prihoda koje generiše postrojenje. Za uspostavljanje ekonomski održivog sistema upravljanja otpadom, neophodno je uvesti (uspostaviti) naknadu za tretman otpada.

Razvojem modela upravljanja otpadom korišćenjem „input-output“ analize, koji je u skladu sa principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti, potvrđena je opšta hipoteza definisana u okviru ovog istraživanja. Implementacija više tehnologija za tretman otpada može da zadovolji socio-ekonomske, ekološke i zakonske zahteve prema upravljanju komunalnim otpadom, odnosno predstavlja optimalno rešenje za problem upravljanja komunalnim otpadom u regionu Novog Sada, čime je potvrđena postavljena generalna hipoteza ovog istraživanja.

Sa aspekta ispunjavanja ciljeva EU Direktiva upravljanja otpadom, svi analizirani scenariji izuzev scenarija 5, zadovoljavaju prvu postavljenu posebnu hipotezu istraživanja. Drugu posebnu hipotezu, smanjenje emisije GHG izraženu preko CO<sub>2</sub> eq, zadovoljavaju scenario 1,2, 3 i 4. Od četiri navedena scenarija, najmanju emisiju GHG u atmosferu ima scenario 4, koji doprinosi smanjenju emisije GHG za -1.444.862 tona CO<sub>2</sub> eq. Na kraju, treću posebnu hipotezu ovog rada, određivanje sistema sa najmanjim troškovima zadovoljava scenario 3, koji sa aspekta ekonomske održivosti, ima najmanje troškove upravljanja otpadom, odnosno najmanju naknadu za tretman otpada od svih analiziranih scenarija.

Budući rast količina otpada je teško predvideti, samim tim uspostaviti sistem upravljanja otpadom koji je efikasan i ekonomski održiv. Jedno od ograničenja modela se upravo tiče projekcije budućih količina otpada, odnosno rizik nedostatka „input-a“ za postrojenja za tretman otpada. U slučaju smanjenja projektovanih količina otpada, smanjuju se „output-i“ i prihodi od prodaje istih, povećavaju se troškovi funkcionisanja postrojenja i povećavaju se naknade za tretman otpada, što dugoročno predstavlja finansijsko opterećenje kako za lokalnu zajednicu tako i stanovništvo. Uvek prisutan rizik, u slučaju regiona Novog Sada i Republike Srbije, je politički rizik, koji obuhvata rizik od političke i finansijske nestabilnosti, koji značajno može uticati na mogućnost implementacije postrojenja za tretman otpada i uspostavljanje adekvatnog sistema upravljanja otpadom.

Republika Srbija, kao zemlja u tranziciji, suočava se sa nizom poteškoća i u drugim oblastima npr. sudstvo, zdravstvo itd. Nedostatak finansijskih sredstava usporava sprovođenje reformi ka boljem funkcionisanju sistema. Ispunjavanje ciljeva Direktiva u oblasti upravljanja otpadom, kao još jedan od zahteva sa kojima će se država suočiti u budućem periodu, moguće je postići uvođenjem sistema sa najmanjim troškovima, koji obuhvata biološki tretman otpada i reciklažu ambalažnog i ne-ambalažnog otpada i predstavljalo bi srednjoročno rešenje. Dugoročno posmatrano, scenarijima sa najmanjim troškovima upravljanja, odlažu se velike količine otpada na deponiju, što može predstavljati problem, u smislu nedostatka prostora/teritorije za njegovo odlaganje u budućnosti. Kao dugoročno rešenje biće potrebno uvođenje termičkog tretmana otpada, kako bi smanjila količina otpada potrebnog za deponovanje, što će dodatno povećati troškove upravljanja otpadom, ali uvođenjem termičkog tretmana dodatno bi se smanjila emisija GHG u atmosferu. Primena tehnologija za tretman otpada i njihov odnos, zavisice od stepena zaštite životne sredine koji se želi postići i budućih troškova sistema.

Definisani model upravljanja otpadom, primenom „input-output“ analize, koji je rezultat interdisciplinarnog istraživanja, dat je značajan naučni doprinos za dalja istraživanja u oblasti upravljanja otpadom. Razvijeni model, kao i dobijeni rezultati, omogućavaju donošenje budućih strateških odluka za određivanje optimalnog sistema upravljanja otpadom, na lokalnom i nacionalnom nivou, koji je ekonomski održiv i smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu i u skladu sa ciljevima Direktiva Evropske unije u oblasti upravljanja otpadom.

## **6 Korišćena literatura**

Alevridou A., Venetis C., Mallini D., Epoglou O., Papotis T., Skopa T. (2001a); Report on the Criteria for the Assessment of Alternative Technologies, ver. 2. Waste Network for sustainable solid waste management planning and promotion of integrated decision tools in the Balkan Region, LIFE07/ENV/RO/686 (BALKWASTE)

Alevridou A., Venetis C., Mallini D., Epoglou O., Papotis T., Skopa T., Evangelia P., Bouroushian, M. (2001b); Guidelines for development of alternative waste management, Waste Network for sustainable solid waste management planning and promotion of integrated decision tools in the Balkan Region, LIFE07/ENV/RO/686 (BALKWASTE)

Aligica P.D. (2006); Institutional and Stakeholder Mapping: Frameworks for Policy Analysis and Institutional Change. *Public Organiz Rev* 6, 79-90

ARCADIS (2009); Assessment of the options to improve the management of Bio-Waste in the European Union, Final Report. ARCADIS Belgium

AWAST (2004); Cost models for each municipal solid waste process, Deliverables 5 & 7, Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid Waste Treatment methods for a Global and Sustainable Approach, Contract number: EVK4-CT-2000-00015, Dostupno na <http://awast.brgm.fr> Pristup 06.11.2014

AWAST projekat, Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid Waste Treatment methods for a Global and Sustainable Approach, Fifth Framework Programme, Thematic Programme: Environment and Sustainable Development, Contract number: EVK4-CT-2000-00015 Dostupno na <http://awast.brgm.fr> Pristup 06.11.2014

Batinić B. (2015); *Model za predviđanje količine ambalažnog i biorazgradivog otpada primenom neuronskih mreža*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Baccini P., Brunner P.H. (2012); *Metabolism of the Antrosphere*, 2nd Edition, The MIT Press, London.

Ballinger A. (2001); *Anaerobic Digestion: Climate Change Impacts of Treatment*, Eunomia

Bani M. S., Rashid Z. A., Hamid K. H. K., Harbawi M. E., Alias A.B., and Aris M. J. (2009); *The development of decision support system for waste management*; a review, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49, pp. 161168

Benn S., Dunphy D., Martin A. (2009); *Governance of environmental risk: New approaches to managing stakeholder involvement*. *Journal of Environmental Management* 90 1567-1575.

BiGEAST projekat, Dostupno na <http://www.big-east.eu/> Pristup 18.12.2014

Bilitewshi B., Haerdtle G., Marek K., Weissenbach A., Boedicher H., (1994); *Waste Management*, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, Germany



BiPRO (2013); Support to member states in improving waste management based on assessment of member states' performance 070307/2011/606502/SER/C2. Final report to the European Commission, Beratungsgesellschaft für integrierte Problemlösungen (BiPRO)

Boer E., Boer J., Jager J. (2006); WASTE MANAGEMENT PLANNING AND OPTIMISATION, Handbook for municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems, ibidem-Verlag, Stuttgart

Bogner J., Abdelrafie Ahmed M., C. Diaz, A. Faaij, Q. Gao, S. Hashimoto, K. Mareckova, R. Pipatti, T. Zhang (2007); Waste Management, In Climate Change: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Boldrin, A., J.K. Andersen, J. Moller, E. Favoino, and T.H. Christensen (2009); *Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming potentials*. Waste Management & Research, 27, pp 800-812

Brunner P.H., Fellner J. (2007); *Setting priorities for waste management strategies in developing countries*. Waste Management & Research 25: 234–240

Brunner P.H., Rechberger H., (2004); Practical Handbook of Material Flow Analysis, CRC Lewis Publ., Baton Rouge, LA.

Buekens A. (2005); Energy Recovery from Residual Waste by Means of Anaerobic Digestion Technologies, Conference “The Future of Residual Waste Management in Europe” 2005,

Cellini S.R., Kee J.E., (2010); Chapter 21: Cost-effectiveness and cost-benefit analysis. Available at <http://home.gwu.edu/~scellini/CelliniKee21.pdf>.

CEWEP, Environmentally sound use of bottom ash, Confederation of European Waste-to-Energy Plants, Dostupno na: [www.cewep.org](http://www.cewep.org)

Chang N.-B. & Wang S.F. (1995); *The development of material recovery facilities in the United States: status and cost structure analysis*. Resources, Conservation and Recycling, 13, 115–128.

Christensen T. (2011); Solid waste technology & management., Willey & Sons, United Kingdom

CIA (2015) The World Factbook Dostupno na <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/geos/ri.html> Pristup 29.04.2015

CIWMB (California Integrated Waste Management Board) (2008); *Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste*, California Integrated Waste Management Board

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

Coffey M. and Coad A. (2010); *Collection of Municipal Solid Waste in Developing Countries*, 2nd edn. Nairobi, Kenya: UN-Habitat

COWI (2004); The FEASIBLE Model Version 2, User Manual and Documentation

COWI (2004a) The FEASIBLE Model Version 2, User Manual and Documentation, Appendix 4

Crundvell F.K., (2008) *Finance for engineers: evaluation and funding of capital projects*. Springer-Verlag London Limited

DEFRA (2013a) *Incineration of Municipal Solid Waste*, Department for Environment, Food & Rural Affairs, United Kingdom

DEFRA (2013b) *Mechanical Biological Treatment of Municipal Solid Waste*, Department for Environment, Food & Rural Affairs, United Kingdom, Department of Earth and Environmental Engineering, Foundation School of Engineering Dostupno na <http://www.defra.gov.uk/publications/> Pristup 11.03.2014.

Dehoust G., Schüler D., Vogt R., Giegrich J. (2011) *Climate Protection Potential in the Waste Management Sector Examples: Municipal Waste and Waste Wood*, Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), Germany

DFID (2002) *Tools for Development: A handbook for those engaged in development activity*. Performance and Effectiveness Department, Department for International Development.

Diakoulaki D., Grafakos S. (2004) *Multicriteria Analysis, Externalities of Energy Extension of Accounting Framework and Policy Applications*, National Technical University Athens, Greece

EC (1999) Directive 1999/31/EC of the European Parliament and of the Council on the landfill of waste, Official Journal of the European Communities.

EC (2000) Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council on the incineration of waste, Official Journal of the European Communities.

EC (2001) *Waste Management Options and Climate Change Final report to the European Commission*, European Commission, DG Environment

EC (2004) Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council amending Directive 94/62/EC (2004) on packaging and packaging waste, Official Journal of the European Communities.

EC (2008) Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council on waste and repealing certain Directives, Official Journal of the European Communities.

EC-IPPC (2006a) (European Commission - Integrated Pollution Prevention and Control) *Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available*

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

Techniques for the Waste Treatments Industries. Dostupno na [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wt\\_bref\\_0806.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wt_bref_0806.pdf) Pristup 27.11.2013

EC-IPPC (European Commission - Integrated Pollution Prevention and Control) (2006b) Reference document on the best available techniques for waste incineration. Dostupno na: [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi\\_bref\\_0806.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/wi_bref_0806.pdf) Pristup 27.11.2013

EEA (2002) Biodegradable municipal waste management in Europe Part 3: Technology and market issues, EEA Report No. 15/2001, Copenhagen, Denmark

EEA (2007) The road from landfilling to recycling: common destination, different routes. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark

EEA (2013) Managing municipal solid waste — a review of achievements in 32 European countries. EEA Report No 2/2013, Copenhagen, Denmark

Ekostarpak, www. [http://www.ekostarpak.rs/linkovi/Naknade\\_Ekostar\\_Pak\\_2014.pdf](http://www.ekostarpak.rs/linkovi/Naknade_Ekostar_Pak_2014.pdf) Pristup 22.09.2015

EPA (1997) Full Cost Accounting for Municipal Solid Waste Management: A handbook, Washington DC, USA

EPA, iWASTE model, Chapter 8: Energy and emission benefits, User Guide iWASTE model

EPD (2015) Dostupno na [http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/waste/prob\\_solutions/WFdev\\_OWTFtech.html](http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/waste/prob_solutions/WFdev_OWTFtech.html) Pristup 17.06.2014.

ETC/RWM (European Topic Centre on Resource and Waste Management) (2008) *Municipal waste management and greenhouse gases*. ETC/RWM working paper 2008/1. Copenhagen, Denmark

ETC/SCP (2012) Overview of the use of landfill taxes in Europe, ETC/SCP working paper 1/2012

ETC/SCP (European Topic Center on Sustainable Consumption and Production) (2011); *Municipal Waste Management Substantial potential for reducing greenhouse gas emissions*, ETC/SCP working paper No 4/2011

Eurostat (2014) *Municipal waste statistics – Statistics explained*, Eurostat

Finnveden G. and Ekvall T. (1998) *Life-cycle assessment as a decision-support tool—the case of recycling versus incineration of paper*. Resources, conservation and recycling, 24, pp.235–256.

Finnveden G. and Nilsson M. (2003) *Strategic environmental assessment methodologies—applications within the energy sector*. Environmental Impact 23, pp.91–123.

Finnveden G., Bjorklund A., Moberg A. and Ekvall, T.(2007) *Environmental and economic assessment methods for waste management decision-support: possibilities and limitations*. Waste Management & Research, 25(3), pp.263–269.

FORWAST projekat Dostupno na <http://forwast.brgm.fr/> Pristup 05.04.2014.

FTN (Fakultet tehničkih nauka ) (2009) Utvrđivanje sastava otpada i procene količine u cilju definisanja strategije upravljanja sekundarnim sirovinama u sklopu održivog razvoja Republike Srbije, FTN - Departman za inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu, Univerzitet u Novom Sadu

GLA (Greater London Authority) (2008) Costs of incineration and non-incineration energy-from-waste technologies, Greater London Authority City Hall The Queen’s Walk London SE1 2AA, United Kingdom

Harris J. (2000) Working Paper No. 00-04: “Basic Principles of Sustainable Development”, Global Development and Environment Institute, Tufts University

Hogg D. (n/a) Costs for Municipal Waste Management in the EU. Final Report to Directorate General Environment, European Commission, Eunomia Research and Consulting

Hogg D., (2002) Costs for Municipal Waste Management in the EU Final Report to Directorate General Environment, European Commission, Eunomia Research and Consulting

Hogg D., Costs and Benefits of Composting/Anaerobic Digestion, Eunomia Research and Consulting Available at <http://ec.europa.eu/environment/waste/compost/presentations/hogg.pdf> Pristup 22.02.2013

IMG (2014) Analiza podataka o količini i sastavu komunalnog otpada u Republici Srbiji i njihova projekcija za period 2014. - 2030., Izveštaj IMG Group Belgrade Office

ISO 14044 (2006) Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidelines. International Organization for Standardization, Geneva (Switzerland).

ISWA (International Solid Waste Association) (2009). Waste and Climate Change – ISWA White

Jamasb T., Kiamil H., Nepal R. (2008) *Hot Issue and Burning Options in Waste Management: A Social Cost Benefit Analysis of Waste-to-Energy in the UK*, EPRG Working Paper 0802

Karagiannidis A., Perkoulidis G., Malamakis A. (2006) *Development of a methodology for the evaluation of different municipal solid waste anaerobic digestion technologies* . Proceedings Venice 2006, Biomass and Waste to Energy Symposium Venice, Italy, 29 November – 1 December 2006

Karmperis A. C., Aravossis K., Tatsiopoulos I. P., & Sotirchos, A. (2013). *Decision support models for solid waste management: review and game-theoretic approaches*. Waste Management (New York, N.Y.), 33(5), 1290–301.

Le Bozec A. (2004) Methodology for the Determination of Production Costs and Full Costs of Municipal Solid Waste Treatments. Deliverable Report of the Project: Aid in the Management and European Comparison of Municipal Solid Waste Treatment methods for a Global and Sustainable Approach (Contract number: EVK4-CT-2000-00015). Cemagert, France

Mavropolous A., (2010), Waste Management 2030+., Waste Management World, Vol. 11

Milke M., (2006) *The Alchemist's dream resource*. Waste Management 26, 1203– 1204

Modak P. (2011). Synergizing Resource Efficiency with Informal Sector towards Sustainable Waste Management, Building Partnerships for Moving Towards Zero Waste, A Side Event for CSD19 held on 12 May 2011, Tokyo

Møller i dr., (2009). *Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution*. Waste Management & Research: 2009: 27: 813-824

Montangero A. and Belevi H. (2007) *Assessing nutrient flows in septic tanks by eliciting expert judgement: a promising method in the context of developing countries*. Water research, 41, pp.1052–64.

Morgan P., Taschereau S. (1996) Capacity and Institutional Assessment: Frameworks, Methods and Tools for Analysis. Canadian International Development Agency (CIDA), Policy Branch.

Morrissey J. Browne J. (2004) *Waste management models and their application to sustainable waste management*. Waste management (New York, N.Y.), 24(3), pp.297–308.

Nakamura S. and Kondo Y. (2002a). Waste Input-Output Modle: concepts, data, and application. KEO discussion paper. No. G-153: Inter-disciplinary studies for sustainable development in Asian countries, Keio University.

Nakamura S. and Kondo Y. (2002b); *Input-Output Analysis of Waste Management*, Journal of Industrial Ecology 6: 39-63.

Nakamura S. and Kondo Y. (2009); *Waste Input-Output Analysis: Concepts and Application to Industrial Ecology*. New York, Springer.

Nilsson-Djerf J., McDougall F. (2000); Social factors in sustainable waste management. Warmer Bulletin 73, 18–20.

OECD (2002); Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth, SG/SD

OECD (2004); *Addressing the Economics of Waste*. OECD, Paris Cedex 15, France

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*

Puška A., (2011) Rangiranje investicionih projekata korišćenjem vikor metode, Singidunum Revija, 8 (2): 33-39

Ramboll/COWI (2002); Polish Waste Management Planning: Guidelines for Waste Management Plans at Regional Levels

Zakon o amblaži i ambalažnom otpadu, Sl. glasnik RS, br. 36/2009

Zakon o upravljanju otpadom. Sl. glasnik br. 36/09

Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019, Službeni glasnik RS, br. 29/2010

Uredba o visini posebne naknade za podsticaj u 2015. godini. Sl.glasnik RS, br. 110/2015

Zakon o energetici, Sl. glasnik RS br. 145/2014

Rogers M., Grist B.,(2001), *Sidelining politicians and community groups: the site selection process for a non-hazardous landfill facility in County Galway*. Municipal Engineer, 1–4

Rutz D., Janssen R., (2008); Biofuel Technology Handook. WIP Renewable Energies, Gemany

Saki Ö., (2011); Overall trends in waste generation and management in Europe, European Environment Agency, SOER Paper. 2010  
[http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.33/2012/mtg1/Session\\_1\\_Trends\\_in\\_waste\\_generation\\_and\\_mng\\_in\\_Europe\\_-\\_Ozgur\\_Saki\\_EEA\\_EN.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/ge.33/2012/mtg1/Session_1_Trends_in_waste_generation_and_mng_in_Europe_-_Ozgur_Saki_EEA_EN.pdf) , Pristup 05.06.2014

Sekopak, Dostupno na <http://sekopak.com/sta-radimo/kompletno-resenje/kalkulator> Pristup 15.09.2015

Stanic-Maruna I., Fellner J. (2012); *Solid waste management in Croatia in response to European Landfill Directive*, Waste Management and Research 30: 825-835

Stanisavljević, N. (2013) *Modelovanje sistema za upravljanje otpadom primenom analize tokova materijala*, Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu

Stanners D. and Bourdeau P. (1995). Europe's Environment. The Dobris Assessment, European Environment Agency, Copenhagen.

Stantec (2011) Waste to Energy A Technical Review of Municipal Solid Waste Thermal Treatment Practices Final Report to Environmental Quality Branch Environmental Protection Division, British Columbia

Stojanovski Đ. (2009) Ocena rentabilnosti i rizičnosti projektnog finansiranja. Stručni prilozi. Bankarstvo 5-6. str 32-51

SWIS model, Dostupno na <http://www.nalas.eu/sw/swis/index.aspx> Pristup 21.04.2014

Tangelwood Organics (2015) Dostupno na [http://tanglewoodorganics.com/?page\\_id=103](http://tanglewoodorganics.com/?page_id=103)  
Pristup 24.10.2014

Tsilemou K. & Panagiotakopoulos D. (2004); Cost functions for material recovery and composting facilities. In: Proceedings of the ISWA World Environmental Congress and Exhibition, Rome, Italy, 17–21 October, ISWA, Roma, Italy.

Tsilemou K., Panagiotakopoulos D.(2006); *Approximate cost functions for solid waste treatment facilities*, Waste Management and Research 24, pp 310-322

UNECE, (2007) Environmental Indicators and Indicators-based Assessment Reports. United Nations Economic Commission for Europe

UNEP (2005) *Life Cycle Approaches: The road from analysis to practice*. United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics (DTIE).

UNEP (2010) *Waste and Climate Change: Global trends and strategy framework*. United Nations Environmental Programme Division of Technology, Industry and Economics International Environmental Technology Centre Osaka/Shiga

UNEP (2011) Towards a green economy. Waste – Investing in energy and resource efficiency. United Nations Environment Programme

Uredba o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije Sl. glasnik RS, br. 8/2013

US EPA (1997) Full Cost Accounting for Municipal Solid Waste Management: A Handbook. Environmental Protection Agency, USA

US EPA (2009), Opportunities to Reduce Greenhouse Gas Emissions through Materials and

Vandevivere P., de Baere L. & Verstraete W. (2002); Types of anaerobic digester for solid wastes. In Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes: Mata-Alvarez

Vandevivere P., De Baere L., and Verstraete W., (2002); *Types of anaerobic digesters for solid wastes, in Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*, J. Mata-Alvarez, Editor., IWA Publishing: Barcelona. p. 111-140.

Verma S. (2002); *Anaerobic Digestion Of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes*, MSc Thesis, Henry Krumb School of Mines Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University

Vujić G., Jovičić N., Redžić N., Jovičić G., Batinić B., Stanisavljević N., Abuhress O. A., (2010); *A Fast Method For The Analysis of Municipal Solid Waste in Developing Countries - Case Study Of Serbia*, Environmental Engineering and Management Journal, 9 (8), 1021-2019.

Vujić G., Ubavin D., Stanisavljačić N., Batinić B. (2012) *Upravljanje otpadom u zemljama u razvoju*, Novi Sad: FTN Izdavaštvo,

Warmer Bulletin 49. 1996. Journal of the World Resource Foundation, High Street, Tonbridge, Kent, UK, May  
Warmer Bulletin 49. 1996. Journal of the World Resource Foundation, High Street, Tonbridge, Kent, UK, May

WCED (UN World Commission on Environment and Development) (1987), *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*, WCED, Switzerland.

White P.R., Franke M. and Hindle P. (1995); *Integrated Solid Waste Management*. Blackie Academic and Professional, London.

Wilson C.D. (1985); *Long-term planning for solid waste management*, *Waste Management & Research* 3, 203-216

Wilson C.D. (2007); *Development drivers for waste management*, *Waste Management and Research* 25, 198-207

Wilson C.D., Velis A.C., Rodic Lj. (2013); *Integrated sustainable waste management in developing countries*, *Waste and Resource Management*, 166, pp 52-68

Wilson D.C. (1981) *Waste Management: Planning, Evaluation, Technologies*, Oxford University Press, Oxford, UK.

World Bank (1999) *Decision Makers' Guide to Municipal Solid Waste Incineration*, World Bank, Washington DC, USA

World Bank (2011) *Solid Waste Management in Bulgaria, Croatia, Poland, and Romania. A cross-country analysis of sector challenges towards EU harmonization*, Report No. 60078-ECA, World Bank, Washington DC, USA

World Bank (2012) *What a Waste, Urban Development & Local Government Unit*, World Bank, Washington DC, USA

World Commission on Environment and Development (1987) *Our Common Future*.

Zurbrugg C. (2013): *Assessment methods for waste management decision-support in developing countries*, Ph.D. Thesis - Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio, Ambiente e Matematica.



Prilog

Slika 37: Ulazni podaci za model

Naziv scenarija		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Godina		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Стимуланс	EUR/t	0																				
Инвестициони век	20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Дисконтна стопа	6,0%	100,0%	94,3%	89,0%	84,0%	79,2%	74,7%	70,5%	66,5%	62,7%	59,2%	55,8%	52,7%	49,7%	46,9%	44,2%	41,7%	39,4%	37,1%	35,0%	33,1%	31,2%
Порез	0,0%																					
Јединица																						
Количине (М)	t	217.214	221.558	225.990	230.509	235.120	239.822	244.618	249.511	254.501	259.591	264.783	270.079	275.480	280.990	286.609	292.342	298.188	304.152	310.235	316.440	322.769
Састав																						
1 Биштенски отпад	%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%	13,0%
2 Биоразградиви отпад	%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%	33,0%
3 Папир	%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%
4 Стакло	%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%
5 Картон	%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%	7,0%
6 Картон-восак	%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%	0,7%
7 Картон-алуминијум	%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%	0,9%
8 Метал-амбалажни и остали	%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
9 Метал-Алуминијумске конзерве	%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%	0,25%
10 Пластични амбалажни отпад	%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
11 Пластичне кесе	%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%	6,0%
12 Тврда пластика	%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%
13 Текстил	%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%
14 Кожа	%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
15 Пелене	%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%	3,6%
16 Фини елементи	%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
Састав																						
1 Биштенски отпад	t	28.238	28.803	29.379	29.956	30.566	31.177	31.800	32.436	33.085	33.747	34.422	35.110	35.812	36.529	37.259	38.004	38.765	39.540	40.331	41.137	41.960
2 Биоразградиви отпад	t	71.681	73.114	74.577	76.068	77.589	79.141	80.724	82.339	83.985	85.665	87.378	89.126	90.908	92.727	94.581	96.473	98.402	100.370	102.378	104.425	106.514
3 Папир	t	15.205	15.509	15.819	16.136	16.458	16.788	17.123	17.466	17.815	18.171	18.535	18.905	19.284	19.669	20.063	20.464	20.873	21.291	21.716	22.151	22.594
4 Стакло	t	13.033	13.294	13.559	13.831	14.107	14.389	14.677	14.971	15.270	15.575	15.887	16.205	16.529	16.859	17.197	17.540	17.891	18.249	18.614	18.986	19.366
5 Картон	t	15.205	15.509	15.819	16.136	16.458	16.788	17.123	17.466	17.815	18.171	18.535	18.905	19.284	19.669	20.063	20.464	20.873	21.291	21.716	22.151	22.594
6 Картон-восак	t	1.520	1.551	1.582	1.614	1.646	1.679	1.712	1.747	1.782	1.817	1.853	1.891	1.928	1.967	2.006	2.046	2.087	2.129	2.172	2.215	2.259
7 Картон-алуминијум	t	1.955	1.994	2.034	2.075	2.116	2.158	2.202	2.246	2.291	2.336	2.383	2.431	2.479	2.529	2.579	2.631	2.684	2.737	2.792	2.848	2.905
8 Метал-амбалажни и остали	t	2.172	2.216	2.260	2.305	2.351	2.398	2.446	2.495	2.545	2.596	2.648	2.701	2.755	2.810	2.866	2.923	2.982	3.042	3.102	3.164	3.228
9 Метал-Алуминијумске конзерве	t	543	554	565	576	588	600	612	624	636	649	662	675	689	702	717	731	745	760	776	791	807
10 Пластични амбалажни отпад	t	8.689	8.862	9.040	9.220	9.405	9.593	9.785	9.980	10.180	10.384	10.591	10.803	11.019	11.240	11.464	11.694	11.928	12.166	12.409	12.658	12.911
11 Пластичне кесе	t	13.033	13.294	13.559	13.831	14.107	14.389	14.677	14.971	15.270	15.575	15.887	16.205	16.529	16.859	17.197	17.540	17.891	18.249	18.614	18.986	19.366
12 Тврда пластика	t	8.689	8.862	9.040	9.220	9.405	9.593	9.785	9.980	10.180	10.384	10.591	10.803	11.019	11.240	11.464	11.694	11.928	12.166	12.409	12.658	12.911
13 Текстил	t	8.689	8.862	9.040	9.220	9.405	9.593	9.785	9.980	10.180	10.384	10.591	10.803	11.019	11.240	11.464	11.694	11.928	12.166	12.409	12.658	12.911
14 Кожа	t	1.086	1.108	1.130	1.153	1.176	1.199	1.223	1.248	1.273	1.298	1.324	1.350	1.377	1.405	1.433	1.462	1.491	1.521	1.551	1.582	1.614
15 Пелене	t	7.820	7.976	8.136	8.298	8.464	8.634	8.806	8.982	9.162	9.345	9.532	9.723	9.917	10.116	10.318	10.524	10.735	10.949	11.168	11.392	11.620
16 Фини елементи	t	17.377	17.725	18.079	18.441	18.810	19.186	19.569	19.961	20.360	20.767	21.183	21.606	22.038	22.479	22.929	23.387	23.855	24.332	24.819	25.315	25.822
17 Папир и картон амбалажни	t	33.885	34.563	35.254	35.959	36.679	37.412	38.160	38.924	39.702	40.496	41.306	42.132	42.975	43.834	44.711	45.605	46.517	47.448	48.397	49.365	50.352
18 Пластика амбалажна	t	30.410	31.018	31.639	32.271	32.917	33.575	34.247	34.932	35.630	36.343	37.070	37.811	38.567	39.339	40.125	40.928	41.746	42.581	43.433	44.302	45.188
19 Стакло	t	2.715	2.769	2.825	2.881	2.939	2.998	3.058	3.119	3.181	3.245	3.310	3.376	3.444	3.512	3.583	3.654	3.727	3.802	3.878	3.956	4.035
20 Метал	t	34.971	35.671	36.384	37.112	37.854	38.611	39.384	40.171	40.975	41.794	42.630	43.483	44.352	45.239	46.144	47.067	48.008	48.969	49.948	50.947	51.966

# Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Рециклажи (према захтевима директива) - R																							
1 Биштенски отпад	%																						
2 Биоразградиви отпад	%																						
3 Папир	%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%		
4 Стakло	%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%		
5 Kартон	%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%		
6 Kартон-восак	%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%		
7 Kартон-алуминијум	%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%	27.5%		
8 Metal-амбалажни и остали	%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%		
9 Metal- Алуминијумске конзерве	%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%	38.5%		
10 Пластични амбалажни отпад	%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%	55.0%		
11 Пластичне кесе	%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%	5.5%		
12 Тврда пластика	%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%	35.0%		
13 Текстил	%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%		
14 Кожа	%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%		
15 Пелене	%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%		
16 Фини елементи	%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%	2.8%		
Рециклирано - R																							
1 Биштенски отпад	t																						
2 Биоразградиви отпад	t																						
3 Папир	t	Papir&Karton	4.181	4.265	4.350	4.437	4.526	4.617	4.709	4.803	4.899	4.997	5.097	5.199	5.303	5.409	5.517	5.628	5.740	5.855	5.972	6.091	6.213
4 Стakло	t	Staklo	5.018	5.118	5.220	5.325	5.431	5.540	5.651	5.764	5.879	5.997	6.116	6.239	6.364	6.491	6.621	6.753	6.888	7.026	7.166	7.310	7.456
5 Kартон	t	Papir&Karton	4.181	4.265	4.350	4.437	4.526	4.617	4.709	4.803	4.899	4.997	5.097	5.199	5.303	5.409	5.517	5.628	5.740	5.855	5.972	6.091	6.213
6 Kартон-восак	t	Papir&Karton	4.18	4.27	4.35	4.44	4.53	4.62	4.71	4.80	4.90	5.00	5.10	5.20	5.30	5.41	5.52	5.63	5.74	5.85	5.97	6.09	6.21
7 Kартон-алуминијум	t	Papir&Karton	5.38	5.48	5.59	5.71	5.82	5.94	6.05	6.18	6.30	6.42	6.55	6.68	6.82	6.95	7.09	7.24	7.38	7.53	7.68	7.83	7.99
8 Metal-амбалажни и остали	t	Metal	8.86	8.95	9.04	9.14	9.24	9.34	9.44	9.54	9.64	9.74	9.84	9.94	10.04	10.14	10.24	10.34	10.44	10.54	10.64	10.74	10.84
9 Metal- Алуминијумске конзерве	t	Metal	2.09	2.13	2.18	2.22	2.26	2.31	2.35	2.40	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.76	2.81	2.87	2.93	2.99	3.05	3.11
10 Пластични амбалажни отпад	t	Plastika	4.779	4.874	4.972	5.071	5.173	5.276	5.382	5.489	5.599	5.711	5.825	5.942	6.061	6.182	6.305	6.432	6.560	6.691	6.825	6.962	7.101
11 Пластичне кесе	t	Plastika	7.17	7.31	7.46	7.61	7.76	7.91	8.07	8.23	8.40	8.57	8.74	8.91	9.09	9.27	9.46	9.65	9.84	1.004	1.024	1.044	1.065
12 Тврда пластика	t	Plastika	2.867	2.925	2.983	3.043	3.104	3.166	3.229	3.294	3.359	3.427	3.495	3.565	3.636	3.709	3.783	3.859	3.936	4.015	4.095	4.177	4.261
13 Текстил	t		2.89	2.94	2.99	3.04	3.09	3.14	3.19	3.24	3.29	3.34	3.39	3.44	3.49	3.54	3.59	3.64	3.69	3.74	3.79	3.84	3.89
14 Кожа	t		3.0	3.0	3.1	3.2	3.2	3.3	3.4	3.4	3.5	3.6	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.4
15 Пелене	t		2.15	2.19	2.24	2.28	2.33	2.37	2.42	2.47	2.52	2.57	2.62	2.67	2.73	2.78	2.84	2.89	2.95	3.01	3.07	3.13	3.20
16 Фини елементи	t		4.78	4.87	4.97	5.07	5.17	5.28	5.38	5.49	5.60	5.71	5.83	5.94	6.06	6.18	6.31	6.43	6.56	6.69	6.83	6.96	7.10
Емисија CO2 eq. - R																							
	t/t		-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
1 Биштенски отпад	%		65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%
2 Биоразградиви отпад	%		65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%	65.0%
Рециклирано - R																							
Биоразградиви - B	t		24.706	25.200	25.704	26.218	26.745	27.277	27.823	28.379	28.947	29.526	30.116	30.719	31.335	31.960	32.599	33.251	33.916	34.594	35.286	35.992	36.712
Мр	t		64.947	66.246	67.571	68.922	70.301	71.707	73.141	74.604	76.096	77.618	79.170	80.753	82.369	84.016	85.696	87.410	89.158	90.942	92.760	94.616	96.508
Преостале количине - Ms	t		175.554	177.025	180.566	184.177	187.861	191.618	195.450	199.359	203.346	207.415	211.561	215.795	220.109	224.511	229.001	233.581	238.253	243.018	247.878	252.836	257.892
Укупна количина - M	t		108.607	110.779	112.995	115.255	117.560	119.911	122.309	124.755	127.251	129.796	132.391	135.039	137.740	140.495	143.305	146.171	149.094	152.076	155.118	158.220	161.384
	t		217.214	221.558	225.990	230.509	235.120	239.822	244.618	249.511	254.501	259.591	264.785	270.079	275.480	280.990	286.609	292.342	298.188	304.152	310.235	316.440	322.769

# Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Дисконтна стопа	%	8%	Денз топлинна моћ природног гаса (следена)	35,338 kJ/m <sup>3</sup>
Инвестициони хоризонт	година	20	Ефикасност печла	89,0%
Порез на добит	%	0%		39 MJ/m <sup>3</sup> 0,0109 MWh/m <sup>3</sup> 16,659

Раст количина отпада		2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%			
Почетна референтна количина отпада	t	217,214																				
Почетна година		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Цена	Година	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V_PricesCategories	V_Prices\ V_Category	T_Prices																				
1 Електрична енергија - тржиште	EUR/MWh Revenue	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
2 Електрична енергија - feed-in	EUR/MWh Revenue	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00	85,00
3 Топлота - тржиште	EUR/MWh Revenue	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66	16,66
4 Топлота - feed-in	EUR/MWh Revenue	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
5 Гас	EUR/m <sup>3</sup> Revenue	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182	0,182
6 Компост	EUR/t Revenue	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
7 Алуминијум (Al)																						
8 Гвојезе (Fe)																						
9 Пепео (Bottom ash)	EUR/t Cost	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)	(60,00)
10 Пепео (Flying ash)	EUR/t Cost	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)	(150,00)
11 Остатак 1																						
12 Остатак 2																						
13 Papir&Karton	EUR/t Revenue	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
14 Staklo	EUR/t Revenue	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
15 Plastika	EUR/t Revenue	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
16 Metali	EUR/t Revenue	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00

Slika 38: Scenario 1 Anaerobna digestija CHP + Sanitarna deponija

Назив сценарија		Година																					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<b>Анаеробна дигестија</b>	<b>Улаз</b>																						
	Удео	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	01 Биоразградиви - В	t	64.947	66.246	67.571	68.922	70.301	71.707	73.141	74.604	76.096	77.618	79.170	80.753	82.369	84.016	85.696	87.410	89.158	90.942	92.760	94.616	96.508
	Уреду																						
	<b>Нормативи</b>																						
	Компост	%	30%	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Остатак (за депонију)	%	7%	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	Биогас	m <sup>3</sup> /t	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
	N/A	t	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	N/A	t	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Емисија CO2 eq	t	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185
	<b>Изази</b>																						
	T_Output4																						
	Компост	t	19.484	19.874	20.271	20.677	21.090	21.512	21.942	22.381	22.829	23.285	23.751	24.226	24.711	25.205	25.709	26.223	26.748	27.282	27.828	28.385	28.952
	Остатак (за депонију)	t	4.546	4.637	4.730	4.825	4.921	5.019	5.120	5.222	5.327	5.433	5.542	5.653	5.766	5.881	5.999	6.119	6.241	6.366	6.493	6.623	6.756
	Биогас	m <sup>3</sup>	681.944	695.583	709.494	723.684	738.158	752.921	767.980	783.339	799.006	814.986	831.286	847.911	864.870	882.167	899.810	917.807	936.163	954.886	973.984	993.463	1.013.333
	N/A																						
	N/A																						
Емисија CO2 eq	t	(12.015)	(12.256)	(12.501)	(12.751)	(13.006)	(13.266)	(13.531)	(13.802)	(14.078)	(14.359)	(14.646)	(14.939)	(15.238)	(15.543)	(15.854)	(16.171)	(16.494)	(16.824)	(17.161)	(17.504)	(17.854)	
Главни коефицијент	35.000	Укупно																					
Експонент	0,6000	96.508																					
Слободни члан	-																						
Улагања	EUR	(34.261.447)																					
<b>Расходи</b>																							
Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																							
Главни коефицијент	17.000	1																					
Експонент	(0,6000)																						
Трошкови	EUR	(1.430.450)	(1.441.826)	(1.453.292)	(1.464.849)	(1.476.498)	(1.488.240)	(1.500.075)	(1.512.005)	(1.524.029)	(1.536.149)	(1.548.365)	(1.560.678)	(1.573.090)	(1.585.600)	(1.598.209)	(1.610.919)	(1.623.730)	(1.636.642)	(1.649.658)	(1.662.777)	(1.676.000)	
41 Анаеробна дигестија/Биогас	t	V_Input5	681.944	695.583	709.494	723.684	738.158	752.921	767.980	783.339	799.006	814.986	831.286	847.911	864.870	882.167	899.810	917.807	936.163	954.886	973.984	993.463	1.013.333
Уреду																							
<b>Нормативи</b>																							
Електрична енергија	MWh/m <sup>3</sup>	0	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	
Топлотна енергија	MWh/m <sup>3</sup>	0	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	
N/A	t/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
N/A	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
N/A	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Изази</b>																							
V_Addresses5	T_Output5																						
Електрична енергија	MWh	51AD CHPe	789	805	821	837	854	871	889	906	925	943	962	981	1.001	1.021	1.041	1.062	1.083	1.105	1.127	1.150	1.173
Топлотна енергија	MWh	51AD CHPon	1.471	1.500	1.530	1.561	1.592	1.624	1.657	1.690	1.724	1.758	1.793	1.829	1.866	1.903	1.941	1.980	2.019	2.060	2.101	2.143	2.186



Slika 39: Scenario 2 Anaerobna digestija CHP + Insineracija CHP + Deponija

Назив сценарија		Година																						
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035		
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Анаеробна дигестија	Улаз																							
	Удео	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
	01 Биоразградиви - В	t	64.947	66.246	67.571	68.922	70.301	71.707	73.141	74.604	76.096	77.618	79.170	80.753	82.369	84.016	85.696	87.410	89.158	90.942	92.760	94.616	96.508	
	У реду																							
	Нормативи																							
	Компост	%	30%	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
	Остатак (за депонију)	%	7%	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
	Биогас	m <sup>3</sup> /t	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	
	N/A	t	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
	N/A	t	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
	Емисија CO <sub>2</sub> eq	t	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	-0,185	
	Изази																							
	44 Компост	t	19.484	19.874	20.271	20.677	21.090	21.512	21.942	22.381	22.829	23.285	23.751	24.226	24.711	25.205	25.709	26.223	26.748	27.282	27.828	28.385	28.952	
	Остатак (за депонију)	t	4.546	4.637	4.730	4.825	4.921	5.019	5.120	5.222	5.327	5.433	5.542	5.653	5.766	5.881	5.999	6.119	6.241	6.366	6.493	6.623	6.756	
	Биогас	m <sup>3</sup>	681.944	695.583	709.494	723.684	738.158	752.921	767.980	783.339	799.006	814.986	831.286	847.911	864.870	882.167	899.810	917.807	936.163	954.886	973.984	993.463	1.013.333	
	N/A																							
	N/A																							
	Емисија CO <sub>2</sub> eq	t	(12.015)	(12.256)	(12.501)	(12.751)	(13.006)	(13.266)	(13.531)	(13.802)	(14.078)	(14.359)	(14.646)	(14.939)	(15.238)	(15.543)	(15.854)	(16.171)	(16.494)	(16.824)	(17.161)	(17.504)	(17.854)	
Главни коефицијент	35.000	Укупно																						
Експонент	0,6000	96.508																						
Слободни члан	-																							
Улагања	EUR	(34.261.447)																						
Расходи																								
Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																								
Главни коефицијент	17.000	1																						
Експонент	(0,6000)																							
Трошкови	EUR	(1.430.450)	(1.441.826)	(1.453.292)	(1.464.849)	(1.476.498)	(1.488.240)	(1.500.075)	(1.511.005)	(1.524.029)	(1.536.149)	(1.548.365)	(1.560.678)	(1.573.090)	(1.585.600)	(1.598.209)	(1.610.919)	(1.623.730)	(1.636.642)	(1.649.658)	(1.662.777)	(1.676.000)		
41 Анаеробна дигестија Биогас	t	V_Input5	681.944	695.583	709.494	723.684	738.158	752.921	767.980	783.339	799.006	814.986	831.286	847.911	864.870	882.167	899.810	917.807	936.163	954.886	973.984	993.463	1.013.333	
У реду																								
Нормативи																								
Електрична енергија	MWh/m <sup>3</sup>	0	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571	0,0011571		
Топлотна енергија	MWh/m <sup>3</sup>	0	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571	0,0021571		
N/A	t/t	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
N/A	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
N/A	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%		
N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Изази																								
Електрична енергија	MWh	V_Addresses5	T_Output5	789	805	821	837	854	871	889	906	925	943	962	981	1.001	1.021	1.041	1.062	1.083	1.105	1.127	1.150	1.173
Топлотна енергија	MWh	51AD CHPToп	T_Output5	1.471	1.500	1.530	1.561	1.592	1.624	1.657	1.690	1.724	1.758	1.793	1.829	1.866	1.903	1.941	1.980	2.019	2.060	2.101	2.143	2.186

Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

**Инженерија (са СНР)**

Улаз		Удео	100%																					
input7	ВВП преостале количине - Ms	t	108.607	110.779	112.995	115.255	117.560	119.911	122.309	124.755	127.251	129.796	132.391	135.039	137.740	140.495	143.305	146.171	149.094	152.076	155.118	158.220	161.384	
	У реду	1																						
	Нормативи	1																						
	Електрична енергија	MWh/t	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
	Топлотна енергија	MWh/t	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378
	Пепео (Bottom Ash)	%	0	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%
	Летећи пепео (Flying Ash)	%	0	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%
	Гвојде-Алуминијум (Fe+Al)	%	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Емисија CO2 eq.	%	0	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348
	Изази	V_Addresses7 T_Output7																						
ames7	Електрична енергија	MWh	71Ин	32.582	33.234	33.898	34.576	35.268	35.973	36.693	37.427	38.175	38.939	39.717	40.512	41.322	42.148	42.991	43.851	44.728	45.623	46.535	47.466	48.415
	Топлотна енергија	MWh	71Ин	41.053	41.875	42.712	43.566	44.438	45.326	46.233	47.158	48.101	49.063	50.044	51.045	52.066	53.107	54.169	55.253	56.358	57.485	58.634	59.807	61.003
	Пепео (Bottom Ash)	t	71Ин	23.894	24.371	24.859	25.356	25.863	26.380	26.908	27.446	27.995	28.555	29.126	29.709	30.303	30.909	31.527	32.158	32.801	33.457	34.126	34.808	35.505
	Летећи пепео (Flying Ash)	t	71Ин	4.561	4.653	4.746	4.841	4.938	5.036	5.137	5.240	5.345	5.451	5.560	5.672	5.785	5.901	6.019	6.139	6.262	6.387	6.515	6.645	6.778
	Гвојде-Алуминијум (Fe+Al)	t	71Ин																					
	Емисија CO2 eq.	t	71Ин	(37.795)	(38.551)	(39.322)	(40.109)	(40.911)	(41.729)	(42.564)	(43.415)	(44.283)	(45.169)	(46.072)	(46.994)	(47.934)	(48.892)	(49.870)	(50.867)	(51.885)	(52.922)	(53.981)	(55.061)	(56.162)
	Главни коефицијент	5,000	1,00	Укупно																				
	Експонент	0,8000		161.384																				
	Слободни члан	-																						
	Улагања	EUR	(PEX7	(78.326.215)																				
	Расходи																							
	Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																							
	Главни коефицијент	700	7	1																				
	Експонент	(0,3000)																						
	Трошкови	EUR	(PEX7	(2.345.302) (2.378.038) (2.411.232) (2.444.889) (2.479.015) (2.513.618) (2.548.704) (2.584.280) (2.620.352) (2.656.928) (2.694.015) (2.731.619) (2.769.748) (2.808.409) (2.847.609) (2.887.357) (2.927.660) (2.968.525) (3.009.961) (3.051.975) (3.094.576)																				

**Депонија**

Улаз		Удео	100%																					
output1	ВВП преостале количине - M	t	4.546	4.637	4.730	4.825	4.921	5.019	5.120	5.222	5.327	5.433	5.542	5.653	5.766	5.881	5.999	6.119	6.241	6.366	6.498	6.633	6.756	
	У реду	1																						
	Нормативи	1																						
	N/A	MWh/t																						
	N/A	MWh/t																						
	N/A	t/t																						
	N/A																							
	N/A																							
	Изази	V_Addresses1 T_Output1																						
mes1	N/A	11Депон																						
	N/A	11Депон																						
	Главни коефицијент	6,000	1,00	Укупно																				
	Експонент	0,6000		6,756																				
	Слободни члан	-																						
	Улагања	EUR	(CAPEX1	(1.191.099)																				
	Расходи																							
	Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																							
	Главни коефицијент	100	1	1																				
	Експонент	(0,3000)																						
	Трошкови	EUR	(OPEX1	(36.338) (36.845) (37.359) (37.881) (38.410) (38.946) (39.489) (40.041) (40.600) (41.166) (41.741) (42.323) (42.914) (43.513) (44.121) (44.736) (45.361) (45.994) (46.636) (47.287) (47.947)																				

# Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Емисија CO2 eq. t	(1,284,279)	(49,810)	(50,807)	(51,823)	(52,859)	(53,916)	(54,995)	(56,095)	(57,217)	(58,361)	(59,528)	(60,719)	(61,933)	(63,172)	(64,435)	(65,724)	(67,038)	(68,379)	(69,747)	(71,142)	(72,564)	(74,016)
Емисија CO2 eq - R t	(450,280)	(17,454)	(17,813)	(18,170)	(18,533)	(18,904)	(19,282)	(19,667)	(20,061)	(20,462)	(20,871)	(21,289)	(21,714)	(22,149)	(22,592)	(23,043)	(23,504)	(23,974)	(24,454)	(24,943)	(25,442)	(25,951)

## Биланс успеха и новчани ток

Приходи од производа и енергије	EUR	2.900.781	2.950.797	2.601.813	2.693.849	2.706.926	2.761.065	2.816.286	2.872.612	2.930.064	2.988.665	3.048.498	3.109.407	3.171.595	3.235.027	3.299.728	3.365.722	3.433.037	3.501.697	3.571.731	3.643.166	3.716.029	
Стимулација	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Укупно	EUR	2.900.781	2.950.797	2.601.813	2.693.849	2.706.926	2.761.065	2.816.286	2.872.612	2.930.064	2.988.665	3.048.498	3.109.407	3.171.595	3.235.027	3.299.728	3.365.722	3.433.037	3.501.697	3.571.731	3.643.166	3.716.029	
V_OPE Делонија	EUR	(36.338)	(36.845)	(37.359)	(37.881)	(38.410)	(38.946)	(39.488)	(40.041)	(40.600)	(41.166)	(41.741)	(42.323)	(42.914)	(43.515)	(44.121)	(44.736)	(45.361)	(45.994)	(46.636)	(47.287)	(47.947)	
V_OPE Компостирање (windrow)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_OPE Компостирање (in vessel)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_OPE Анаеробна дигестија	EUR	(1.430.450)	(1.441.820)	(1.453.292)	(1.464.949)	(1.476.498)	(1.488.240)	(1.500.079)	(1.512.009)	(1.524.029)	(1.536.149)	(1.548.369)	(1.560.678)	(1.573.090)	(1.585.600)	(1.598.209)	(1.610.919)	(1.623.730)	(1.636.642)	(1.649.658)	(1.662.777)	(1.676.000)	
V_OPE AD-SMR	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_OPE Гас (gas to GfG)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_OPE Инхибиција (sa SMR)	EUR	(2.343.302)	(2.378.038)	(2.411.232)	(2.444.889)	(2.479.013)	(2.513.618)	(2.548.704)	(2.584.280)	(2.620.352)	(2.656.928)	(2.694.015)	(2.731.619)	(2.769.748)	(2.808.409)	(2.847.609)	(2.887.357)	(2.927.660)	(2.968.525)	(3.009.961)	(3.051.978)	(3.094.576)	
Остали расходи	EUR	(2.117.838)	(2.160.195)	(2.203.399)	(2.247.467)	(2.292.416)	(2.338.261)	(2.385.030)	(2.432.730)	(2.481.385)	(2.531.015)	(2.581.651)	(2.633.285)	(2.685.931)	(2.739.642)	(2.794.442)	(2.850.351)	(2.907.378)	(2.965.495)	(3.024.794)	(3.085.290)	(3.146.998)	
Расходи	EUR	<b>(6.929.928)</b>	<b>(6.918.994)</b>	<b>(6.109.282)</b>	<b>(6.195.085)</b>	<b>(6.286.399)</b>	<b>(6.379.089)</b>	<b>(6.473.209)</b>	<b>(6.569.036)</b>	<b>(6.666.568)</b>	<b>(6.765.236)</b>	<b>(6.865.793)</b>	<b>(6.967.886)</b>	<b>(7.071.682)</b>	<b>(7.177.171)</b>	<b>(7.284.382)</b>	<b>(7.393.344)</b>	<b>(7.504.089)</b>	<b>(7.616.647)</b>	<b>(7.731.090)</b>	<b>(7.847.329)</b>	<b>(7.965.319)</b>	
Оперативни новчани ток	EUR	(3.429.146)	(3.466.197)	(3.503.469)	(3.541.236)	(3.579.413)	(3.618.004)	(3.657.013)	(3.696.444)	(3.736.302)	(3.776.591)	(3.817.315)	(3.858.479)	(3.900.087)	(3.942.144)	(3.984.654)	(4.027.622)	(4.071.052)	(4.114.949)	(4.159.318)	(4.204.163)	(4.249.490)	
V_CAPX Делонија	EUR	(1.191.099)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_CAPX Компостирање (windrow)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_CAPX Компостирање (in vessel)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_CAPX Анаеробна дигестија	EUR	(84.261.447)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_CAPX AD-SMR	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_CAPX Гас (gas to GfG)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_CAPX Инхибиција (sa SMR)	EUR	(75.326.215)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Инвестициони новчани ток	EUR	(108.778.760)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Слободни новчани ток	EUR	(112.207.907)	(3.466.107)	(3.503.469)	(3.541.236)	(3.579.413)	(3.618.004)	(3.657.013)	(3.696.444)	(3.736.302)	(3.776.591)	(3.817.315)	(3.858.479)	(3.900.087)	(3.942.144)	(3.984.654)	(4.027.622)	(4.071.052)	(4.114.949)	(4.159.318)	(4.204.163)	(4.249.490)	
Дисконтовани слободни новчани ток	EUR	(112.207.907)	(3.269.952)	(3.118.075)	(2.973.290)	(2.835.231)	(2.703.583)	(2.578.050)	(2.459.346)	(2.344.202)	(2.235.358)	(2.131.569)	(2.032.598)	(1.938.224)	(1.848.231)	(1.762.416)	(1.680.586)	(1.602.554)	(1.528.146)	(1.457.191)	(1.389.531)	(1.325.011)	
Кумулативни дисконтовани слободни новчани ток	EUR	(112.207.907)	(115.477.859)	(118.595.894)	(121.569.184)	(124.404.415)	(127.107.998)	(129.686.048)	(132.144.394)	(134.488.596)	(136.723.955)	(138.855.523)	(140.888.122)	(142.826.345)	(144.674.576)	(146.436.993)	(148.117.578)	(149.720.133)	(151.248.279)	(152.705.470)	(154.095.001)	(155.420.012)	
Нето садашња вредност (NPV)	EUR	(155.420.012)																					
Унутрашња стапа повратности (IRR)	%	0,0%	не постоји вредност																				
Индекс profitabilности (PI)		0,43																					
Дисконтовано време враћања (DPP)	година	Није у хоризанту																					
Циљна IRR		6%	6%	130,32																			
Циљна PI		1,00	1,43	130,35	Рачунајте граничну вредност Gate Fee																		



Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Slika 40: Scenario 3 Kompostiranje i sanitarna deponija

Naziv scenarija		Godina	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
Kompostiranje+deponija			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Улаз	Удео	Удео	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Скупина отпада - в	V_input	64.947	66.246	67.571	68.922	70.301	71.707	73.141	74.604	76.096	77.618	79.170	80.753	82.366	84.016	85.696	87.410	89.158	90.942	92.760	94.616	96.508	
	Удео	Удео	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Нормативни																							
	Компост	%	0	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
	Остатак (за деонију)	%	0	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%
	Емисија CO2 ед	%	0	0	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012
	N/A	0	0	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	0,007%	
	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ИЗАЗИ	Укупно	V_address1	T_Output																					
	Компост	T_Kompost		22.186	23.036	23.922	24.839	25.787	26.769	27.787	28.844	29.942	31.081	32.255	33.467	34.719	36.014	37.354	38.741	40.177	41.665	43.207	44.806	
	Остатак (за деонију)	T_Ostatak		4.437	4.750	5.025	5.266	5.474	5.651	5.800	5.927	6.036	6.129	6.208	6.275	6.333	6.382	6.424	6.461	6.495	6.527	6.558	6.588	
	Емисија CO2 ед	T_Emisija		[779]	[795]	[811]	[827]	[844]	[860]	[878]	[895]	[913]	[931]	[949]	[968]	[988]	[1.008]	[1.028]	[1.049]	[1.070]	[1.091]	[1.113]	[1.135]	
	N/A	T_Kompost																						
	N/A	T_Ostatak																						
	N/A	T_Emisija																						
	Главни коефицијент		2,000	1,00	Укупно																			
	Експонент		0,8000		96.508																			
	Слободни члан		-																					
Улагача	EUR	_CAPEX		[19.419.281]																				
РАСХОДИ	Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																							
	Главни коефицијент		2,000	3	1																			
	Експонент		0,8000																					
	Трошкови	EUR	_OPEX		[509.694]	[514.766]	[519.888]	[525.061]	[530.286]	[535.562]	[540.892]	[546.274]	[551.709]	[557.199]	[562.744]	[568.343]	[573.998]	[579.710]	[585.478]	[591.304]	[597.188]	[603.130]	[609.132]	[615.193]
Улаз	Удео	Удео	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	Скупина отпада - в	V_input	118.138	118.416	117.728	120.079	122.484	124.939	127.449	129.978	132.577	135.229	137.933	140.692	143.506	146.376	149.302	152.290	155.338	158.442	161.611	164.843	168.140	
	Удео	Удео	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Нормативни																							
	N/A	MWh/t																						
	N/A	MWh/t																						
	Емисија CO2 ед	t/t		0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	0,245	
	N/A																							
	N/A																							
	N/A																							
ИЗАЗИ	Укупно	V_address1	T_Output1																					
	N/A	T_Depon																						
	N/A	T_Depon																						
	Емисија CO2 ед	T_Emisija		27.715	28.177	28.583	28.919	30.008	30.608	31.220	31.845	32.481	33.131	33.794	34.470	35.158	35.861	36.579	37.311	38.057	38.818	39.595	40.387	
	N/A	T_Depon																						
	N/A	T_Depon																						
	N/A	T_Depon																						
	Главни коефицијент		3,500	1,00	Укупно																			
	Експонент		0,7000		188.140																			
	Слободни члан		-																					
Улагача	EUR	_CAPEX		[15.925.470]																				
РАСХОДИ	Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																							
	Главни коефицијент		150	1	1																			
	Експонент		0,5000																					
	Трошкови	EUR	_OPEX		[917.200]	[924.919]	[931.739]	[939.162]	[946.887]	[954.918]	[963.294]	[971.956]	[980.922]	[990.100]	[1.000.595]	[1.010.801]	[1.021.327]	[1.032.074]	[1.043.032]	[1.054.203]	[1.065.587]	[1.077.184]	[1.088.994]	

# Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Емисија CO2 eq. t	694.685	26.943	27.482	28.032	28.582	29.164	29.747	30.342	30.949	31.568	32.200	32.844	33.500	34.171	34.854	35.551	36.262	36.987	37.727	38.482	39.251	40.036
Емисија CO2 eq - R	(450.280)	(17.464)	(17.813)	(18.170)	(18.533)	(18.904)	(19.282)	(19.667)	(20.061)	(20.462)	(20.871)	(21.289)	(21.714)	(22.149)	(22.592)	(23.043)	(23.504)	(23.974)	(24.454)	(24.943)	(25.442)	(25.951)

Година	2020	2025	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
Чеква окупација	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Симулација	0																						
Инвестициони век	10																						
Дисконтна стопа	6.0%																						
Период	6.0%																						

## Биланс успеха и новчани ток

		2020	2025	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047
Приходи од производа и услуга	EUR	319.263	319.851	316.244	322.365	329.216	346.000	352.920	359.979	367.376	374.912	382.612	389.681	397.445	405.294	413.502	421.712	430.208	438.612	447.586	456.540	465.871		
Симулација	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Укупно	EUR	319.263	319.851	316.244	322.365	329.216	346.000	352.920	359.979	367.376	374.912	382.612	389.681	397.445	405.294	413.502	421.712	430.208	438.612	447.586	456.540	465.871		
Допринос	EUR	(736.853)	(767.319)	(775.887)	(764.343)	(793.191)	(801.159)	(811.083)	(820.131)	(829.279)	(838.328)	(847.882)	(857.558)	(866.899)	(876.587)	(886.344)	(896.229)	(906.218)	(916.332)	(926.595)	(936.956)	(947.336)		
Каликулација (in window)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каликулација (in vessel)	EUR	(509.694)	(514.766)	(519.826)	(525.061)	(530.186)	(535.562)	(540.892)	(546.174)	(551.709)	(557.199)	(562.744)	(568.349)	(573.998)	(579.710)	(585.478)	(591.304)	(597.168)	(603.100)	(609.132)	(615.193)	(621.314)		
Дивиденди допринос	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AD CNP	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гас (Gas to Ship)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Инвестиција (in CNP)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Остали приходи	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гаранци	EUR	(1.266.568)	(1.282.095)	(1.299.735)	(1.309.602)	(1.325.577)	(1.337.703)	(1.351.971)	(1.366.405)	(1.380.988)	(1.395.721)	(1.410.623)	(1.425.680)	(1.440.897)	(1.456.277)	(1.471.820)	(1.487.589)	(1.503.419)	(1.519.469)	(1.535.684)	(1.552.079)	(1.568.650)		
Оперативни новчани ток	EUR	(955.177)	(962.444)	(969.732)	(977.026)	(984.261)	(991.701)	(999.057)	(1.006.437)	(1.013.810)	(1.021.208)	(1.028.611)	(1.036.027)	(1.043.481)	(1.050.885)	(1.058.520)	(1.066.761)	(1.075.208)	(1.083.651)	(1.092.098)	(1.099.559)	(1.107.979)		
Допринос	EUR	(19.742.614)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каликулација (in window)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Каликулација (in vessel)	EUR	(19.439.281)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Дивиденди допринос	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AD CNP	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Гас (Gas to Ship)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Инвестиција (in CNP)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Инвестициони новчани ток	EUR	(56.661.793)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Слободни новчани ток	EUR	(59.636.972)	(962.444)	(969.732)	(977.026)	(984.261)	(991.701)	(999.057)	(1.006.437)	(1.013.810)	(1.021.208)	(1.028.611)	(1.036.027)	(1.043.481)	(1.050.885)	(1.058.520)	(1.066.761)	(1.075.208)	(1.083.651)	(1.092.098)	(1.099.559)	(1.107.979)		
Дисконтисани слободни новчани ток	EUR	(59.636.972)	(907.866)	(869.088)	(820.340)	(779.706)	(741.037)	(704.195)	(669.131)	(636.077)	(604.450)	(574.371)	(546.768)	(518.562)	(492.692)	(468.098)	(444.708)	(422.462)	(401.215)	(381.008)	(362.090)	(344.514)		
Кумулативни дисконтисани слободни новчани ток	EUR	(59.636.972)	(40.544.932)	(41.407.998)	(41.228.958)	(40.006.041)	(41.749.099)	(44.483.994)	(46.112.729)	(46.756.801)	(46.993.251)	(46.937.623)	(47.483.959)	(48.001.952)	(48.494.647)	(48.961.745)	(49.407.448)	(49.829.912)	(50.231.127)	(50.611.424)	(50.974.925)	(51.316.459)		
Нето садашња вредност (NPV)	EUR	(51.113.459)																						
Унутрашња стопа повратности (IRR)	%	0.0%	не постоји вредност																					
Индекс профитабилности (PI)		(0.33)																						
Дисконтисано вредно враћање (DPP)	година	Нема у поређењу																						
Циљени IRR		6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	
Циљени PI		1.00	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	1.33	

Gate Fee  
 Gate Fee  
 Gate Fee

Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Slika 41: Scenario 4 Kompostiranje + Insineracija CHP + Sanitarna deponija

Naziv scenarija		Godina																					
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Kompostiranje (in Vessel)	Удео	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	01 Биоразградиви - t	64.947	66.246	67.571	68.922	70.301	71.707	73.141	74.604	76.096	77.618	79.170	80.753	82.369	84.016	85.696	87.410	89.158	90.942	92.760	94.616	96.508	
	У реду	1																					
	Нормативи	1																					
	Компост %	0	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	35%	
	Остатак (за депонију) %	0	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	7%	
	Емисија CO2 eq	0	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	-0,012	
	N/A	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
	N/A	0	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	
	N/A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Изази	V_Addresses8	T_Output8																				
	Компост t	31Комп	22.731	23.186	23.650	24.128	24.605	25.097	25.590	26.111	26.634	27.166	27.710	28.264	28.820	29.406	29.994	30.594	31.205	31.830	32.466	33.115	33.778
	Остатак (за депонију) t	31Комп	4.546	4.637	4.730	4.825	4.921	5.019	5.120	5.222	5.327	5.433	5.542	5.653	5.766	5.881	5.999	6.119	6.241	6.366	6.493	6.623	6.756
	Емисија CO2 eq	31Комп	(779)	(795)	(811)	(827)	(844)	(860)	(878)	(895)	(913)	(931)	(950)	(969)	(988)	(1.008)	(1.028)	(1.049)	(1.070)	(1.091)	(1.113)	(1.135)	(1.158)
	N/A	31Комп																					
	N/A	31Комп																					
	N/A	31Комп																					
	Главни коефицијент	2,000	1,00	Укупно																			
	Експонент	0,8000		96.508																			
	Слободни члан	-																					
Улагања	EUR	V_CAPEX8	(19.459.261)																				
<b>Расходи</b>																							
Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																							
Главни коефицијент	2,000	3	1																				
Експонент	(0,5000)																						
Трошкови	EUR	V_OPEX8	(500.694)	(514.766)	(519.888)	(525.061)	(530.286)	(535.562)	(540.802)	(546.274)	(551.700)	(557.109)	(562.744)	(568.348)	(573.908)	(579.710)	(585.478)	(591.304)	(597.188)	(603.130)	(609.132)	(615.193)	(621.314)
Инсинерација (са CHP)	Удео	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
	01 Преостале количине - Ms	108.607	110.779	112.995	115.255	117.560	119.911	122.309	124.755	127.251	129.796	132.391	135.039	137.740	140.495	143.305	146.171	149.094	152.076	155.118	158.220	161.384	
	У реду	1																					
	Нормативи	1																					
	Електрична енергија MWh/t	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
	Топлотна енергија MWh/t	0	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	
	Пепео (Bottom Ash) %	0	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%
	Летећи пепео (Flying Ash) %	0	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%	4,20%
	Гвојде-Алуминијум (Fe+Al) %	0	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	Емисија CO2 eq.	0	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348	-0,348
	Изази	V_Addresses7	T_Output7																				
	Електрична енергија MWh	71Ин	32.582	33.234	33.898	34.576	35.268	35.973	36.699	37.427	38.175	38.939	39.717	40.512	41.322	42.148	42.991	43.851	44.728	45.623	46.535	47.466	48.415
	Топлотна енергија MWh	71Ин	41.053	41.875	42.712	43.566	44.438	45.326	46.233	47.158	48.101	49.063	50.044	51.045	52.066	53.107	54.169	55.253	56.358	57.485	58.634	59.807	61.003
	Пепео (Bottom Ash) t	71Ин	23.894	24.371	24.859	25.356	25.863	26.380	26.908	27.446	27.995	28.555	29.126	29.709	30.303	30.909	31.527	32.158	32.801	33.457	34.126	34.808	35.505
	Летећи пепео (Flying Ash) t	71Ин	4.561	4.653	4.746	4.841	4.938	5.036	5.137	5.240	5.345	5.451	5.560	5.672	5.785	5.901	6.019	6.139	6.262	6.387	6.515	6.645	6.778
	Гвојде-Алуминијум (Fe+Al) t	71Ин																					
	Емисија CO2 eq.	71Ин	(37.795)	(38.551)	(39.322)	(40.109)	(40.911)	(41.729)	(42.564)	(43.415)	(44.283)	(45.169)	(46.072)	(46.994)	(47.934)	(48.892)	(49.870)	(50.867)	(51.885)	(52.922)	(53.981)	(55.061)	(56.162)
	Главни коефицијент	5,000	1,00	Укупно																			
	Експонент	0,8000		161.384																			
	Слободни члан	-																					
Улагања	EUR	V_CAPEX7	(78.326.215)																				
<b>Расходи</b>																							
Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																							
Главни коефицијент	700	7	1																				
Експонент	(0,3000)																						
Трошкови	EUR	V_OPEX7	(2.345.302)	(2.378.038)	(2.411.232)	(2.444.889)	(2.479.015)	(2.513.618)	(2.548.704)	(2.584.280)	(2.620.352)	(2.656.928)	(2.694.015)	(2.731.619)	(2.769.748)	(2.808.409)	(2.847.609)	(2.887.357)	(2.927.660)	(2.968.525)	(3.009.961)	(3.051.975)	(3.094.576)

# Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

Улаз		Удео																							
		100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%					
Депонија	01 Укупна количина - M	t	V_Input1	4,546	4,637	4,730	4,825	4,921	5,019	5,120	5,222	5,327	5,433	5,542	5,653	5,766	5,881	5,999	6,119	6,241	6,366	6,493	6,623	6,756	
	У раду	t	1																						
	Нормативи	t	1																						
	N/A	MWh/t																							
	N/A	MWh/t																							
	N/A	t/t																							
Изазни	N/A	V_Addresses1	T_Output1																						
	N/A	11Депон																							
	N/A	11Депон																							
	Главни коефицијент	6.000	1.00	Укупно																					
	Експонент	0.6000		6,756																					
Слободни клан	-																								
Улагања	EUR	f_CAPEX1	(1,191,099)																						
Расходи																									
Коефицијенти функције оперативних трошкова изабраног скупа технологија																									
Главни коефицијент	100	1	1																						
Експонент	(D.3000)																								
Трошкови	EUR	V_OPEX1	(36,338)	(36,845)	(37,359)	(37,881)	(38,410)	(38,946)	(39,489)	(40,041)	(40,600)	(41,166)	(41,741)	(42,323)	(42,914)	(43,513)	(44,121)	(44,736)	(45,361)	(45,994)	(46,636)	(47,287)	(47,947)		

Емисија CO2 eq.	t	(994,582)	(38,575)	(39,346)	(40,133)	(40,936)	(41,754)	(42,590)	(43,441)	(44,310)	(45,196)	(46,100)	(47,021)	(47,963)	(48,922)	(49,900)	(50,898)	(51,916)	(52,955)	(54,014)	(55,094)	(56,196)	(57,320)
Емисија CO2 eq - R	t	(450,280)	(17,464)	(17,813)	(18,170)	(18,533)	(18,904)	(19,282)	(19,667)	(20,061)	(20,462)	(20,871)	(21,289)	(21,714)	(22,149)	(22,592)	(23,043)	(23,504)	(23,974)	(24,454)	(24,943)	(25,442)	(25,951)

## Биланс успеха и новчани ток

Приходи од производа и енергије	EUR	2,463,496	2,512,766	2,563,022	2,614,282	2,666,568	2,719,899	2,774,297	2,829,783	2,886,379	2,944,106	3,002,988	3,063,048	3,124,309	3,186,795	3,250,531	3,315,542	3,381,853	3,449,460	3,518,479	3,588,849	3,660,626		
Стимулација	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Укупно	EUR	2,463,496	2,512,766	2,563,022	2,614,282	2,666,568	2,719,899	2,774,297	2,829,783	2,886,379	2,944,106	3,002,988	3,063,048	3,124,309	3,186,795	3,250,531	3,315,542	3,381,853	3,449,460	3,518,479	3,588,849	3,660,626		
V_OPE: Депонија	EUR	(36,338)	(36,845)	(37,359)	(37,881)	(38,410)	(38,946)	(39,489)	(40,041)	(40,600)	(41,166)	(41,741)	(42,323)	(42,914)	(43,513)	(44,121)	(44,736)	(45,361)	(45,994)	(46,636)	(47,287)	(47,947)		
V_OPE: компостирање (window)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V_OPE: компостирање (in vessel)	EUR	(509,694)	(514,766)	(519,888)	(525,061)	(530,286)	(535,562)	(540,892)	(546,274)	(551,709)	(557,199)	(562,744)	(568,343)	(573,998)	(579,710)	(585,478)	(591,304)	(597,188)	(603,130)	(609,132)	(615,193)	(621,314)		
V_OPE: Анаеробна дигестија	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_OPE: AD SNP	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_OPE: Гас (Gas to Oil)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
V_OPE: Инверзија (са SNP)	EUR	(2,348,902)	(2,378,098)	(2,411,323)	(2,448,889)	(2,490,018)	(2,534,818)	(2,583,704)	(2,586,280)	(2,630,382)	(2,676,028)	(2,684,015)	(2,731,410)	(2,780,148)	(2,808,409)	(2,847,609)	(2,887,357)	(2,927,660)	(2,968,528)	(3,009,963)	(3,051,978)	(3,094,578)		
Остали расходи	EUR	(2,117,838)	(2,150,189)	(2,203,399)	(2,247,687)	(2,293,416)	(2,333,664)	(2,383,030)	(2,432,730)	(2,481,385)	(2,531,015)	(2,581,633)	(2,633,250)	(2,685,931)	(2,739,648)	(2,794,242)	(2,850,351)	(2,907,338)	(2,965,485)	(3,024,794)	(3,085,290)	(3,146,946)		
Расходи	EUR	(5,009,172)	(5,089,844)	(5,171,878)	(5,255,296)	(5,340,127)	(5,426,391)	(5,514,115)	(5,605,325)	(5,694,048)	(5,786,506)	(5,880,152)	(5,975,551)	(6,072,581)	(6,171,281)	(6,271,651)	(6,373,729)	(6,477,547)	(6,583,134)	(6,690,525)	(6,799,745)	(6,910,853)		
Оперативни новчани ток	EUR	(2,545,676)	(2,577,078)	(2,608,856)	(2,641,015)	(2,673,559)	(2,706,492)	(2,739,818)	(2,773,542)	(2,807,667)	(2,842,200)	(2,877,343)	(2,912,503)	(2,948,282)	(2,984,486)	(3,021,120)	(3,058,187)	(3,095,694)	(3,133,645)	(3,172,044)	(3,210,896)	(3,250,207)		
V_CAPE: Депонија	EUR	(1,191,099)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V_CAPE: Компостирање (window)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V_CAPE: Компостирање (in vessel)	EUR	(18,439,281)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V_CAPE: Анаеробна дигестија	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V_CAPE: AD SNP	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V_CAPE: Гас (Gas to Oil)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
V_CAPE: Инверзија (са SNP)	EUR	(73,326,215)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Инвестициони новчани ток	EUR	(93,926,999)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Слободни новчани ток	EUR	(96,502,270)	(2,577,078)	(2,608,856)	(2,641,015)	(2,673,559)	(2,706,492)	(2,739,818)	(2,773,542)	(2,807,667)	(2,842,200)	(2,877,343)	(2,912,503)	(2,948,282)	(2,984,486)	(3,021,120)	(3,058,187)	(3,095,694)	(3,133,645)	(3,172,044)	(3,210,896)	(3,250,207)		
Дисконтвани слободни новчани ток	EUR	(96,502,270)	(2,451,206)	(2,321,875)	(2,217,648)	(2,117,709)	(2,023,448)	(1,931,664)	(1,844,564)	(1,761,505)	(1,682,294)	(1,606,382)	(1,534,270)	(1,465,506)	(1,399,244)	(1,336,244)	(1,276,075)	(1,218,009)	(1,165,724)	(1,111,506)	(1,061,545)	(1,013,450)		
Нумерички слободни новчани ток	EUR	(96,502,270)	(98,933,476)	(101,255,349)	(103,472,796)	(105,590,506)	(107,611,854)	(109,544,417)	(111,388,991)	(113,150,546)	(114,832,840)	(116,459,422)	(117,973,692)	(119,459,998)	(120,838,141)	(122,174,385)	(123,450,460)	(124,669,069)	(125,832,793)	(126,944,099)	(128,000,542)	(129,018,772)		
Слободни новчани ток (за IS)																								
Нето садашња вредност (NPV)	EUR	(129,018,772)																						
Унутрашњи стапа исплативости (IRR)	%	0,0%	не постоји вредност																					
Индекс профитбилности (PI)		(0,37)																						
Дисконтвано време враћања (DPP)	години	Није у хоризонту																						
Циљани IRR		6%	6%	80,90																				
Циљани PI		1,00	1,37	80,99																				
				Ратуну гаранцију вредност Gate Fee																				



# Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti

## Биланс успеха и новчани ток

Приходи од производа и енергије	EUR	3,965,382	4,044,689	4,123,583	4,208,085	4,292,237	4,378,102	4,463,664	4,554,977	4,646,077	4,738,998	4,832,778	4,930,434	5,029,063	5,129,644	5,232,237	5,336,882	5,443,619	5,552,492	5,663,542	5,776,812	5,892,349	
Сингуларације	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Укупно</b>	<b>EUR</b>	<b>3,965,382</b>	<b>4,044,689</b>	<b>4,123,583</b>	<b>4,208,085</b>	<b>4,292,237</b>	<b>4,378,102</b>	<b>4,463,664</b>	<b>4,554,977</b>	<b>4,646,077</b>	<b>4,738,998</b>	<b>4,832,778</b>	<b>4,930,434</b>	<b>5,029,063</b>	<b>5,129,644</b>	<b>5,232,237</b>	<b>5,336,882</b>	<b>5,443,619</b>	<b>5,552,492</b>	<b>5,663,542</b>	<b>5,776,812</b>	<b>5,892,349</b>	
<b>V_OPEX</b> Деловна	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_OPEX</b> Конструкције (window)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_OPEX</b> Конструкције (in vessel)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_OPEX</b> Анееробна дигестија	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_OPEX</b> AD SNF	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_OPEX</b> Гас (Gas to GHG)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_OPEX</b> Инвестиције (as SNF)	EUR	(3,501,562)	(3,550,035)	(3,599,588)	(3,649,832)	(3,700,778)	(3,752,483)	(3,804,832)	(3,857,921)	(3,911,772)	(3,966,374)	(4,021,738)	(4,077,875)	(4,134,789)	(4,192,510)	(4,251,031)	(4,310,368)	(4,370,534)	(4,431,538)	(4,493,396)	(4,556,117)	(4,619,712)	
<b>V_OPEX</b> Општи расходи	EUR	(3,732,810)	(3,828,888)	(3,923,568)	(3,993,800)	(4,068,233)	(4,144,620)	(4,222,313)	(4,301,063)	(4,380,304)	(4,460,270)	(4,540,996)	(4,622,516)	(4,704,866)	(4,787,983)	(4,871,800)	(4,957,268)	(5,043,324)	(5,129,914)	(5,216,981)	(5,304,506)	(5,392,478)	(5,479,813)
<b>Расходи</b>	<b>EUR</b>	<b>(7,255,075)</b>	<b>(7,379,024)</b>	<b>(7,506,156)</b>	<b>(7,633,512)</b>	<b>(7,764,431)</b>	<b>(7,897,055)</b>	<b>(8,032,325)</b>	<b>(8,169,884)</b>	<b>(8,310,075)</b>	<b>(8,452,644)</b>	<b>(8,597,733)</b>	<b>(8,745,390)</b>	<b>(8,895,661)</b>	<b>(9,048,593)</b>	<b>(9,204,236)</b>	<b>(9,362,637)</b>	<b>(9,523,948)</b>	<b>(9,688,320)</b>	<b>(9,854,904)</b>	<b>(10,024,855)</b>	<b>(10,197,826)</b>	
<b>Оперативни новчани ток</b>	<b>EUR</b>	<b>(3,289,693)</b>	<b>(3,334,334)</b>	<b>(3,379,573)</b>	<b>(3,425,427)</b>	<b>(3,471,874)</b>	<b>(3,518,952)</b>	<b>(3,566,661)</b>	<b>(3,615,007)</b>	<b>(3,663,999)</b>	<b>(3,713,646)</b>	<b>(3,763,955)</b>	<b>(3,814,936)</b>	<b>(3,866,598)</b>	<b>(3,918,949)</b>	<b>(3,971,999)</b>	<b>(4,025,751)</b>	<b>(4,080,229)</b>	<b>(4,135,428)</b>	<b>(4,191,368)</b>	<b>(4,248,042)</b>	<b>(4,305,477)</b>	
<b>V_CAPE</b> Деловна	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_CAPE</b> Конструкције (window)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_CAPE</b> Конструкције (in vessel)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_CAPE</b> Анееробна дигестија	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_CAPE</b> AD SNF	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_CAPE</b> Гас (Gas to GHG)	EUR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>V_CAPE</b> Инвестиције (as SNF)	EUR	(115,915,009)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Инвестициони новчани ток</b>	<b>EUR</b>	<b>(115,915,009)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Слободни новчани ток</b>	<b>EUR</b>	<b>(119,202,703)</b>	<b>(1,114,314)</b>	<b>(1,179,571)</b>	<b>(1,423,417)</b>	<b>(1,471,874)</b>	<b>(1,518,952)</b>	<b>(1,566,661)</b>	<b>(1,615,007)</b>	<b>(1,663,999)</b>	<b>(1,713,646)</b>	<b>(1,763,955)</b>	<b>(1,814,936)</b>	<b>(1,866,598)</b>	<b>(1,918,949)</b>	<b>(1,971,999)</b>	<b>(2,025,751)</b>	<b>(2,080,229)</b>	<b>(2,135,428)</b>	<b>(2,191,368)</b>	<b>(2,248,042)</b>	<b>(2,305,477)</b>	
<b>Дисконтовани слободни новчани</b>	<b>EUR</b>	<b>(119,202,703)</b>	<b>(1,145,598)</b>	<b>(1,007,608)</b>	<b>(1,876,046)</b>	<b>(1,730,050)</b>	<b>(1,629,567)</b>	<b>(1,514,296)</b>	<b>(1,404,186)</b>	<b>(1,300,838)</b>	<b>(1,198,101)</b>	<b>(1,101,773)</b>	<b>(1,009,661)</b>	<b>(933,561)</b>	<b>(839,256)</b>	<b>(756,818)</b>	<b>(679,807)</b>	<b>(606,167)</b>	<b>(535,751)</b>	<b>(468,412)</b>	<b>(404,035)</b>	<b>(342,468)</b>	
<b>Кумулативни дисконтовани слободни новчани</b>	<b>EUR</b>	<b>(119,202,703)</b>	<b>(122,348,301)</b>	<b>(123,356,109)</b>	<b>(128,232,155)</b>	<b>(130,982,309)</b>	<b>(132,811,772)</b>	<b>(136,126,127)</b>	<b>(138,210,314)</b>	<b>(140,828,132)</b>	<b>(143,027,238)</b>	<b>(145,128,018)</b>	<b>(147,188,687)</b>	<b>(149,080,288)</b>	<b>(150,897,814)</b>	<b>(152,654,448)</b>	<b>(154,384,120)</b>	<b>(156,040,417)</b>	<b>(157,476,168)</b>	<b>(158,844,388)</b>	<b>(160,248,619)</b>	<b>(161,692,087)</b>	
<b>Слободни новчани ток (as IRR)</b>	<b>EUR</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Нето садашња вредност (NPV)</b>	<b>EUR</b>	<b>(161,691,087)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Унутрашња стапа корисности (%)</b>	<b>EUR</b>	<b>0.0%</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Индекс профитабилности (PI)</b>	<b>EUR</b>	<b>(0.33)</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Дисконтовано време враћања (година)</b>	<b>EUR</b>	<b>Није у хоризонту</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Циљевни IRR</b>	<b>EUR</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	<b>6%</b>	
<b>Циљевни PI</b>	<b>EUR</b>	<b>1.00</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	<b>1.39</b>	
<b>Рачунска парична вредност Gate Fee</b>	<b>EUR</b>	<b>37.14</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	<b>37.19</b>	

*Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti*