



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U  
NOVOM SADU



Jasna Stepanov

**MODEL ZA EVALUACIJU SISTEMA  
UPRAVLJANJA KOMUNALNIM  
OTPADOM PRIMENOM METODE  
OCENJIVANJA ŽIVOTNOG CIKLUSA**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2018



## KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA 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 Jasna Stepanov		
Mentor, <b>MN</b> :	Prof. dr Dejan Ubavin Prof. dr Igor Budak		
Naslov rada, <b>NR</b> :	Model za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primenom metode ocenjivanja životnog ciklusa		
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> :	2018.		
Izdavač, <b>IZ</b> :	Autorski reprint		
Mesto i adresa, <b>MA</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6		
Fizički opis rada, <b>FO</b> : (poglavlja/strana/citata/tabela/slika/grafika/priloga)	6/136/134/80/15/16/0		
Naučna oblast, <b>NO</b> :	Inženjerstvo zaštite životne sredine i zaštite na radu		
Naučna disciplina, <b>ND</b> :	Upravljanje otpadom		
Predmetna odrednica/Ključne reči, <b>PO</b> :	Komunalni otpad, ocenjivanje životnog ciklusa, model, analiza scenarija, upravljanje otpadom		
<b>UDK</b>			
Čuva se, <b>ČU</b> :	Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad		
Važna napomena, <b>VN</b> :			
Izvod, <b>IZ</b> :	Cilj disertacije je razvoj fleksibilnog modela za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom baziran na LCA metodi. Model je baziran na bilansu mase i energije. LCA analiza sistema komunalnog otpada omogućava sagledavanje uticaja kako svih faza životnog ciklusa otpada, tako i celokupnog sistema upravljanja otpadom. Model je koncipiran kroz module koji prate osnovne faze LCA metode. Evaluacija i komparacija različitih scenarija upravljanja otpadom sprovedena je kroz pet indikatora. Ostvareni rezultati istraživanja pokazuju jasne razlike između definisanih scenarija upravljanja otpadom po pitanju odabranih indikatora i daju dobru osnovu u procesu donošenja odluka za unapređenje i izbor optimalnog sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom.		
Datum prihvatanja teme, <b>DP</b> :			
Datum odbrane, <b>DO</b> :			
Članovi komisije, <b>KO</b> :	Predsednik:	dr Nemanja Stanisavljević, docent	Potpis mentora
	Član:	dr Bojan Batinić, docent	
	Član:	dr Aleksandar Jovović, vanredni profesor	
	Član: mentor:	dr Igor Budak, vanredni profesor	
	Član, mentor:	dr Dejan Ubavin, vanredni profesor	



## 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> :	Jasna Stepanov, M.Sc.
Mentor, <b>MN</b> :	Dr Dejan Ubavin, Associate professor Dr Igor Budak, Associate professor
Title, <b>TI</b> :	
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> :	2018.
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6/136/134/80/15/16/0
Scientific field, <b>SF</b> :	Environmental engineering and occupational safety and health
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Waste Management
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Municipal waste, life cycle assessment, model, scenario analysis, waste management
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Sciences, Novi Sad
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	<p>The goal dissertation is to develop a flexible model for the evaluation waste management system based on LCA methods. The model is based on mass and energy balance. LCA analysis of municipal waste system assess environmental impacts to all phases of the life cycle of waste, and the entire system of waste management. The model is based on modules corresponding to the main phases of LCA methods. Evaluation of different scenarios of waste management is carried out through five indicators. The results show clear differences between the scenarios in terms of impact on selected indicators and provides basis for decision-making processes for the selection of the optimal solid waste management system.</p>
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	President: Dr. Nemanja Stanisavljević, Assistant professor
	Member: Dr. Bojan Batinić, Assistant professor
	Member: Dr. Aleksandar Jovović, Associate professor
	Member, Mentor: Dr. Igor Budak, Associate professor
	Member, Mentor: Dr. Dejan Ubavin, Associate professor
	Mentor's sign

## Apstrakt

Danas je savremeno društvo suočeno sa velikim količinama otpada. Otpad nastaje kao posledica svih ljudskih aktivnosti. Neodrživi obrasci proizvodnje i potrošnje prirodnih resursa doprinose generisanju sve veće količine otpada, a neadekvatno zbrinjavanje otpada dovodi do gubitaka korisnih komponenata (materijalnih i energetskih) iz otpada i do nesagledivih posledica po životnu sredinu i zdravlje ljudi. Oblast upravljanja otpadom, se u mnogim zemljama decenijama uređuje na osnovu principa hijerarhije upravljanja otpadom. Hijerarhija upravljanja otpadom jeste deo EU Direktive o upravljanju otpadom, čiji je osnovni cilj očuvanje životne sredine i doprinos održivom razvoju.

Uvažavanjem koncepta prema kojem se navodi da otpad treba posmatrati kao resurs, razvijeni su ciljevi održivog upravljanja otpadom koji podrazumevaju upravljanje efikasno po životnu sredinu, ekonomski pristupačno i društveno prihvatljivo. Za dostizanje održivog sistema koncept *životni ciklus razmišljanje* (eng. *LCT – life cycle thinking*) jeste izuzetno prihvatljiv, jer obuhvata holistički i sistemski pristup za sprovođenje ocene uticaja na životnu sredinu. Ocenjivanje životnog ciklusa (eng. *LCA – life cycle assessment*) predstavlja analizu baziranu na ovom konceptu, a koja je uređena grupom standarda SRPS ISO 14040. LCA predstavlja proces koji proučava aspekte životne sredine i moguće uticaje na životnu sredinu tokom celog životnog veka proizvoda ili usluge.

Cilj ovog istraživanja je razvoj modela za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primenom LCA metode radi obezbeđivanja održivosti sistema upravljanja komunalnim otpadom. Ovim modelom moguće je oceniti efikasnost tretmana komunalnog otpada sa jedne strane, a sa druge, odrediti uticaj pojedinačnih tretmana otpada na karakteristike životne sredine. Praćenje uticaja sprovedeno je kroz analizu odabrane grupe indikatora u vezi sa opterećenjem životne sredine i ekonomskim troškovima.

Razvijeni model je primenjen na regionalni sistem upravljanja komunalnim otpadom sa centrom u Novom Sadu. U okviru rada definisana su 4 scenarija upravljanja otpadom, koji predstavljaju kombinaciju različitih tretmana otpada (bioloških i termičkih) i sanitarne deponije.

Dobijeni rezultati daju prikaz jasnih razlika između scenarija, u pogledu uticaja na odabrane indikatore, a razvijeni model će biti od pomoći donosiocima odluka prilikom izbora tehnologija tretmana čvrstog komunalnog otpada. Takođe, učesnicima u postupku planiranja upravljanja čvrstim komunalnim otpadom omogućiće da razumeju značaj i primenjuju LCA metodu. Konačno, pomoćiće unapređenju procesa strateškog planiranja u oblasti zaštite životne sredine, bez čega je, dugoročno gledano, nemoguće ostvarenje koncepta održivog razvoja na području AP Vojvodine.

## **Abstrakt**

Nowadays, modern society is faced with large amounts of waste. Waste is produced as a result of all human activities. Unsustainable patterns of production and consumption of natural resources contribute to the generation of increasing quantities of waste, and inadequate waste management leads to the loss of useful components (material and energy) from waste and to unforeseeable consequences for the environment and human health. For decades, waste management has been organized in compliance with Waste Hierarchy regulations. The Hierarchy of Waste Management is a part of the EU Waste Management Directive, whose primary objective is to preserve the environment and contribute to sustainable development.

Focusing on the concept according to which waste is considered as a resource, sustainable waste management objectives, implying environmentally effective, economically affordable and socially acceptable management, have been developed. To achieve a sustainable system, the concept of LCT (life cycle thinking) is appropriate because it includes a holistic and systematic approach in determination of environmental impact assessment. LCA - life cycle assessment is an analysis based on this concept, and regulated according to the standards ISO 14040. LCA is a process that studies environmental aspects and potential impacts on the environment over the entire life cycle of a product or service.

The aim of this research is to develop model for the evaluation of the municipal waste management system using LCA methods to ensure sustainability of municipal waste management. With this model, it is possible to assess the efficacy of the treatment of municipal waste and to determine the influence of individual waste treatment to environment.

The developed model was applied on a regional municipal waste management system in Novi Sad. Four scenarios was defined base on existing and possible future waste. These scenarios present combination of different treatments of waste (biological and thermal), and a sanitary landfill.

The results show clear differences between the scenarios in terms of impact on selected indicators and model will help decision-makers to choose treatment technology of municipal solid waste. Also, participants in the planning of solid waste management will enable you to understand the importance of LCA method. Finally, will help the improvement of the strategic planning process in the field of environmental protection, without which it is impossible to achieve the concept of sustainable development in the AP Vojvodina.

## Sadržaj

Sadržaj.....	3
Spisak slika .....	5
Spisak tabela.....	6
Spisak grafika.....	10
Spisak skraćenica .....	11
1. Uvod.....	12
1.1 Pregled stanja u oblasti istraživanja .....	13
1.1.1 Trenutno stanje u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u svetu .....	13
1.1.2 Trenutno stanje u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u Evropskoj uniji .....	15
1.1.3 Trenutno stanje u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u Srbiji.....	17
1.1.4 Trenutno stanje u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u regionu Novog Sada .....	19
1.2 Obrazloženje o potrebama istraživanja .....	20
1.2.1 Ocenjivanje životnog ciklusa i sistem upravljanja čvrstim komunalnim otpadom..	21
1.2.2 Analiza postojećih LCA modela za evaluaciju sistema upravljanja otpadom.....	27
1.3 Cilj hipoteze istraživanja.....	29
2. Model za evaluaciju sistema upravljanja otpadom .....	30
2.1 Modul – definisanje cilja i predmeta .....	32
2.1.1 Indikatori za vrednovanje sistema upravljanja otpadom.....	34
2.2 Modul – inventar životnog ciklusa otpada.....	37
2.2.1 Struktura LCI modula .....	37
2.2.2 Procesi obuhvaćeni LCI modulom .....	41
2.2.2.1 Sakupljanje i transport otpada.....	41
2.2.2.2 Centralno sortiranje.....	42
2.2.2.3 Biološki tretman otpada – kompostiranje.....	44
2.2.2.4 Odlaganje otpada na deponije .....	46
2.2.2.5 Termički tretman otpada .....	47
2.2.3 Izlazi iz LCI.....	49
2.2.3.1 Potrošnja/proizvodnja energije .....	50
2.2.3.2 Ukupni troškovi .....	51
2.3 Modul – ocenjivanje uticaja životnog ciklusa .....	51
2.3.1 LCIA metoda Impact 2002+.....	53
2.3.2 Izlazi iz LCIA .....	55
2.3.2.1 Globalno zagrevanje .....	55

2.3.2.2 Zakišeljavanje zemljišta .....	56
2.3.2.3 Zauzimanje zemljišta .....	57
2.3.2.4 Normalizacija .....	58
2.4 Modul - interpretacija kroz odabrane indikatore.....	58
3. Verifikacija modela .....	59
3.1 Razvoj scenarija upravljanja otpadom.....	59
3.2 Definisanje cilja i predmeta .....	63
3.3 Inventar životnog ciklusa otpada .....	66
3.4 Verifikacija modela na scenariju 1 .....	75
3.4.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 1 .....	76
3.4.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 1.....	78
3.5 Verifikacija modela na scenariju 2.....	80
3.5.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 2 .....	81
3.5.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 2.....	83
3.6 Verifikacija modela na scenariju 3.....	85
3.6.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 3.....	88
3.6.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 3.....	90
3.7 Verifikacija modela na scenariju 4.....	91
3.7.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 4 .....	93
3.7.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 4.....	95
4. Diskusija i komparacija rezultata verifikacije .....	96
4.1 Diskusija rezultata na nivou inventara životnog ciklusa .....	96
4.2 Diskusija rezultata na nivou ocenjivanja uticaja životnog ciklusa.....	109
4.3 Rekapitulacija .....	116
5. Zaključak .....	118
6. Literatura .....	122

## **Spisak slika**

Slika 1.1 Morfološki sastav otpada (GWMO, 2015) .....	14
Slika 1.2 Morfološki sastav otpada na nivou EU-27 .....	16
Slika 1.3 Prosečni morfološki sastav komunalnog otpada u Srbiji (FTN, 2009).....	18
Slika 1.4 Morfološki sastav komunalnog otpada u regionu (FTN, 2011) .....	20
Slika 1.5 Opšti sistem životnog ciklusa .....	22
Slika 1.6 Faze životnog ciklusa proizvoda (slika a.) i čvrstog komunalnog otpada (slika b.)..	23
Slika 1.7 Faze LCA metode (SRPS ISO 14040, 2008) .....	24
Slika 2.1 Šematski prikaz modularne strukture modela za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primenom metode ocenjivanja životnog ciklusa .....	31
Slika 2.2 Opšti model sistema proizvoda sa detaljnom strukturom LCI modula .....	38
Slika 2.3 Granice sistema za proces sakupljanja otpada .....	42
Slika 2.4 Granice sistema za centralno sortiranje otpada .....	43
Slika 2.5 Granice sistema za biološki tretman otpada, kompostiranje.....	45
Slika 2.6 Granice sistema za deponiju.....	47
Slika 2.7 Granice sistema za termički tretman otpada .....	49
Slika 3.1 Granice sistema i tok otpada za razvijene scenarije.....	65



## Spisak tabela

Tabela 1.1 Način tretiranja otpada u svetu (milion t)(Hoorweg i Bhada-Tata, 2012) .....	15
Tabela 1.2 Pregled LCA modela za procenu uticaja sistema upravljanja otpadom na životnu sredinu .....	27
Tabela 2.1 Klasifikacija čvrstog otpada.....	32
Tabela 2.2 Granice sistema za ocenjivanje životog ciklusa otpada.....	33
Tabela 2.3 Indikatori zastupljeni u LCA analizama sistema upravljanja otpadom.....	36
Tabela 2.4 Ušteda emisija u vazduh i čvrstog otpada kroz reciklažu (g t <sup>-1</sup> ) (McDougall, 2008) .....	39
Tabela 2.5 Podaci inventara životnog ciklusa za generisanje električne energije (McDougall i dr. 2008).....	40
Tabela 2.6 Podaci inventara životnog ciklusa za energente (McDougall i dr. 2008).....	40
Tabela 2.7 Opcije termičkog tretmana otpada .....	48
Tabela 2.8 Rezultati inventara životnog ciklusa .....	50
Tabela 2.9 Pregled LCIA metoda .....	52
Tabela 2.10 Kategorije uticaja u Impact 2002+ .....	53
Tabela 2.11 Faktori karakterizacije i normalizacije prema Impact 2002+ za "globalno zagrevanje" .....	55
Tabela 2.12 Faktori karakterizacije i normalizacije prema Impact 2002+ "zakišeljavanje zemljišta" .....	55
Tabela 2.13 Faktori karakterizacije i normalizacije prema Impact 2002+ za indikator "zauzimanje zemljišta" .....	55
Tabela 2.14 Indikatori za evaluaciju sistema upravljanja otpadom.....	58
Tabela 2.15 Lista LCI rezultata koji se koriste za određivanje LCIA indikatora .....	59
Tabela 3.1 Podaci o broju stanovnika, količini otpada i morfološkom sastavu otpada u Regionu.....	64
Tabela 3.2 Glavne karakteristike scenarija ( %).....	65
Tabela 3.3 Ulazni podaci za proces sakupljanja otpada .....	68
Tabela 3.4 Ulazni podaci za proces sortiranja otpada .....	69
Tabela 3.5 Ulazni podaci za RDF proces sortiranja .....	70
Tabela 3.6 Ulazni podaci za proces kompostiranja otpada .....	71
Tabela 3.7 Zapremina otpada na deponiji (BUWAL, 1998).....	72
Tabela 3.8 Ulazni podaci za proces deponovanja otpada.....	73
Tabela 3.9 Ulazni podaci za RDF insinatore i insinatore neselektovanog komunalnog otpada .....	75

Tabela 3.10 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 1 .....	75
Tabela 3.11 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za sortiranje – scenario 1 .....	75
Tabela 3.12 Materijalni ulazi procesa deponovanja – scenario 1 .....	76
Tabela 3.13 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – potrošnja/proizvodnja energije .....	76
Tabela 3.14 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – ukupni troškovi.....	77
Tabela 3.15 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – emisije u vazduh .....	77
Tabela 3.16 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – rezidualne količine otpada .....	78
Tabela 3.17 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 1 – globalno zagrevanje.....	78
Tabela 3.18 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 1 – zakišeljavanje zemljišta .....	78
Tabela 3.19 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 1 – zauzimanje zemljišta .....	79
Tabela 3.20 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 1 .....	79
Tabela 3.21 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 2 .....	80
Tabela 3.22 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za sortiranje – scenario 2 .....	80
Tabela 3.23 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za kompostiranje – scenario 2 .....	81
Tabela 3.24 Materijalni ulazi procesa deponovanja – scenario 2 .....	81
Tabela 3.25 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – potrošnja/proizvodnja energije .....	81
Tabela 3.26 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – ukupni troškovi.....	82
Tabela 3.27 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – emisije u vazduh .....	82
Tabela 3.28 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – rezidualne količine otpada .....	83
Tabela 3.29 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 2 – globalno zagrevanje.....	83
Tabela 3.30 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 2 – zakišeljavanje zemljišta .....	84
Tabela 3.31 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 2 – zauzimanje zemljišta .....	84
Tabela 3.32 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 2 .....	84
Tabela 3.33 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 3 .....	85

Tabela 3.34 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za sortiranje – scenario 3.....	85
Tabela 3.35 Materijalni ulazi i izlazi RDF postrojenja, sortiranje i formiranje briketa – ..... scenario 3.....	86
Tabela 3.36 Materijalni ulazi i izlazi RDF postrojenja, spaljivanje – scenario 3 .....	86
Tabela 3.37 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za kompostiranje – scenario 3 .....	87
Tabela 3.38 Materijalni ulazi procesa deponovanja – scenario 3.....	87
Tabela 3.39 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – potrošnja/proizvodnja energije .....	88
Tabela 3.40 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – ukupni troškovi.....	88
Tabela 3.41 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – emisije u vazduh .....	89
Tabela 3.42 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – rezidualne količine otpada .....	89
Tabela 3.43 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 3 – globalno zagrevanje.....	90
Tabela 3.44 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 3 – zakišeljavanje zemljišta .....	90
Tabela 3.45 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 3 – zauzimanje zemljišta .....	90
Tabela 3.46 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 3 .....	91
Tabela 3.47 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 4.....	91
Tabela 3.48 Materijalni ulazi i izlazi procesa insineracije – scenario 4.....	92
Tabela 3.49 Materijalni ulazprocesa deponovanja – scenario 4.....	93
Tabela 3.50 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 – potrošnja/proizvodnja energije .....	93
Tabela 3.51 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 - ukupni troškovi .....	93
Tabela 3.52 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 – emisije u vazduh .....	94
Tabela 3.53 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 – rezidualne količine otpada .....	94
Tabela 3.54 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 4 – globalno zagrevanje.....	95
Tabela 3.55 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 4 – zakišeljavanje zemljišta .....	95
Tabela 3.56 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 4 – zauzimanje zemljišta .....	95

Tabela 3.57 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 4 .....	96
Tabela 4.1 Potrošnja/proizvodnja energije u scenarijima upravljanja otpadom (GJ) .....	98
Tabela 4.2 Troškovi upravljanja otpadom u scenarijima upravljanja otpadom (€ god <sup>-1</sup> ) .....	99
Tabela 4.3 Vrednosti indikatora "globalno zagrevanje" na krajnjim pozicijama za sve scenarije upravljanja otpadom .....	110
Tabela 4.4 Vrednosti indikatora "zakišeljavanje zemljišta" na krajnjim pozicijama za sve scenarije upravljanja otpadom .....	112
Tabela 4.5 Vrednosti indikatora "zakišeljavanje zemljišta" na krajnjim pozicijama za sve scenarije upravljanja otpadom .....	114
Tabela 4.6 Rangiranje scenarija i ocena ispunjenosti zahteva EU Direktiva .....	118

## **Spisak grafika**

Grafik 4.1 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz potrošnju/proizvodnju energije (GJ) .....	97
Grafik 4.2 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz troškove upravljanja otpadom (€/god.).....	99
Grafik 4.3 Komparacija scenarija kroz emisije CO <sub>2</sub> (t) .....	101
Grafik 4.4 Komparacija scenarija kroz emisije CH <sub>4</sub> (t).....	102
Grafik 4.5 Komparacija scenarija kroz emisije N <sub>2</sub> O (t) .....	103
Grafik 4.6 Komparacija scenarija kroz emisije SO <sub>x</sub> (t) .....	105
Grafik 4.7 Komparacija scenarija kroz emisije NO <sub>x</sub> (t).....	106
Grafik 4.8 Komparacija scenarija kroz emisije NH <sub>3</sub> (kg) .....	107
Grafik 4.9 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz emisije u vazduh .....	107
Grafik 4.10 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz rezidualne količine čvrstog otpada (m <sup>3</sup> ) .....	108
Grafik 4.11 Komparacija scenarija kroz indikator "globalno zagrevanje" .....	110
Grafik 4.12 Komparacija scenarija kroz indikator "zakišeljavanje zemljišta" .....	111
Grafik 4.13 Komparacija scenarija kroz indikator "zauzimanje zemljišta" .....	113
Grafik 4.14 Uporedni prikaz rezultata ocenjivanja uticaja na životnu sredinu .....	114
Grafik 4.15 Uporedni prikaz rezultata normalizacije za četiri scenarija upravljanja otpadom preko kategorija uticaja krajnjeg nivoa.....	115
Grafik 4.16 Komparacija scenarija kroz LCI i LCIA indikatore .....	116

## Spisak skraćenica

**DALY** – Disability Adjusted Life Years – Oštećenje zdravlja zbog izloženosti osobe zagađenju

**EC** – European Council – Evropski savet

**EEA**–European Environment Agency – Evropska agencija za životnu sredinu

**ekv** – Ekvivalentan uticaj referentne supstance

**EU** – European Union – Evropska unija

**FK** – Characterization Factor – Faktor karakterizacije

**ISO** – International Organisation for Standardisation – Internacionalna organizacija za standardizaciju

**IWM** – Integrated Waste Management – Integralni sistem upravljanja otpadom

**LCA** – Life Cycle Assessment – Ocenjivanje životnog ciklusa

**LCI** – Life Cycle Inventory – Inventar životnog ciklusa

**LCIA** – Life Cycle Impact Assessment – Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa

**LCT** – Life Cycle Thinking – Koncept životni ciklus

**PDF** – Potentially Disappeared Fraction – Potencijalno ugrožena vrsta

**pt** – point – tačka; predstavlja prosečan uticaj specifične kategorije izazvan od strane stanovnika tokom jedne godine

**RDF** – Refused Derived Fuel - Gorivo dobijeno iz otpada

**SRPS** – Srpski standard

## 1. Uvod

Pored kontinualnog rasta populacije neodrživi obrasci proizvodnje i potrošnje prirodnih resursa doprinose generisanju sve veće količine otpada. Kontinualno povećanje količine generisanog otpada stvara sve veće opterećenje na postojeće sisteme upravljanja otpadom i po životnu sredinu. Životna sredina ima ograničene kapacitete eliminisanja negativnih uticaja antropogenog delovanja. Porast količina otpada izvan kapaciteta životne sredine i neadekvatno zbrinjavanje otpada dovodi do gubitaka korisnih komponenata iz otpada i do nesagledivih posledica po životnu sredinu i zdravlje ljudi. Ukoliko se ovakav trend nastavi osnovni principi održivog razvoja biće dovedeni u pitanje.

U prethodnom periodu zdravlje i bezbednost stanovništva su predstavljali prioritet kada je u pitanju upravljanje otpadom. Danas, društvo pored bezbednog zahteva i održiv sistem upravljanja otpadom. Održiv sistem upravljanja čvrstim otpadom podrazumeva (Kirkeby, 2005, Stevanović Čarapina i dr, 2011):

- održivost životne sredine; redukovanje opterećenja životne sredine usled upravljanja otpadom (emisije u vodu, vazduh i zemljište) i redukovanje potrošnje resursa (uključujući i energiju),
- ekonomsku održivost; troškovi sistema upravljanja otpadom prihvatljivi za celokupan društveni sektor, uključujući i domaćinstvo, privredu, institucije i vladu i
- socijalnu prihvatljivost; sistem upravljanja otpadom koji je prihvatljiv za većinu ljudi u zajednici, što zahteva dijalog sa različitim grupama radi dobijanja informacija i edukacije i radi sticanja poverenja i podrške. Društvena prihvatljivost zahteva da sistem upravljanja otpadom poznaje potrebe lokalne zajednice i prioritete društva.

Po podacima Svetske Banke stopa generisanja komunalnog otpada ima čak veći rast u odnosu na stepen urbanizacije (Hoorweg i Bhada-Tata, 2012). Ekonomski razvijene zemlje, generišu veće količine otpada u odnosu na druge zemlje ali imaju i veoma razvijene sisteme upravljanja otpadom sa adekvatnim postrojenjima za njegov tretman, uz jak institucionalni i zakonodavni okvir koji reguliše ovu oblast. Sa druge strane, nerazvijene zemlje i zemlje u razvoju imaju manju stopu generisanja otpada, ali slabo razvijeni sistemi upravljanja otpadom, odnosno nepostojanje odgovarajućih postrojenja za njegov tretman, kao i slabu zakonsku regulativu (Batinić, 2015).

Pored postojećeg trenda rasta količina otpada stepen degradacije životne sredine u velikoj meri određuju i različite opcije tretmana otpada. Razmatranje dostupnih opcija tretmana otpada i njihovog uticaja na gasove sa efektom staklene bašte, klimatske promene, degradaciju zemljišta i potrošnju energetske resursa je sve češće sastavni deo procesa

selekcije jer se izborom odgovarajućih procesa i tehnologija za tretman otpada ovi negativni uticaju mogu znatno redukovati. Izbor procesa i tehnologije za obradu otpada zavisi od lokalnih uslova i resursa, kao i od sastava otpada iz domaćinstava i komercijalnog sektora. Savremeni sistemi za upravljanje otpadom podrazumevaju definisanje odgovarajućih rešenja za sve kategorije i tokove generisanog čvrstog komunalnog otpada.

Sastav čvrstog komunalnog otpada, odnosno, poznavanje masenog udela različitih materijala u sastavu čvrstog komunalnog otpada jeste jedan od ključnih podataka za efektivno upravljanje otpadom. Iako se termin čvrst komunalni otpada (*eng. municipal solid waste-MSW*) široko koristi u oblasti upravljanja otpadom ovaj termin nije precizno definisan. Ova kategorija otpada je najrazličitija kategorija po pitanju sastava otpada. Morfološki sastav čvrstog komunalnog otpada je varijabilan i razlikuje se od zemlje do zemlje, zavisi od geografskih karakteristika, godišnjeg doba, gradskih ili seoskih naselja, standarda života i sl. Komunalni otpad se najčešće definiše kao čvrst otpad iz domaćinstva i komercijalnog sektora. Evidentno je da se jednom opcijom tretmana otpada ne mogu tretirati sve frakcije u čvrstom komunalnom otpadu na održiv način, već se zahteva niz opcija. Upotreba raznih opcija kao što su reciklaža, kompostiranje ili insinercija u velikoj meri zavise od sastava otpada kao i ekonomskih, zakonodavnih, socioloških i drugih faktora.

Zbog kompleksnosti definisanja optimalnog i održivog sistema upravljanja otpadom neophodno je u postupak izbora i procesa donošenja odluka istovremeno uključiti tehničko-tehnološke procene, ekonomske analize i procene u vezi sa zaštitom životne sredine. Danas postoji veliki broj razvijenih metoda i pristupa za podršku prilikom donošenja odluka u oblasti upravljanja otpadom na različitim nivoima (*Stanisavljević i Brunner, 2014*). Postoje metode koje su zasnovane na analizi tokova materijala, analizi tokova supstanci, a najveći deo njih je zasnovan na analizi životnog ciklusa (LCA). LCA metoda pokazala se kao najsveobuhvatnija i najkredibilnija i u prilog prethodnoj tvrdnji govori činjenica da se LCA metoda i njena primena kontinualno uređuju i unapređuju razvojem međunarodnih standarda iz grupe ISO 14040.

## **1.1 Pregled stanja u oblasti istraživanja**

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

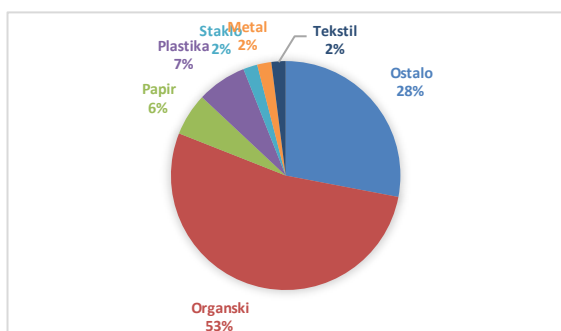
U Svetu se generiše oko 17 milijardi tona čvrstog otpada na godišnjem nivou, a pretpostavke su da će ove količine do 2050. godine iznositi oko 27 milijardi tona. Od toga se 1,3 milijarde tona komunalnog otpada generiše u svetskim gradovima, a procenjuje se da će ove količine do 2025. godine porasti na 2,2 milijarde tona (*Laurent i dr., 2014a*). Stopa



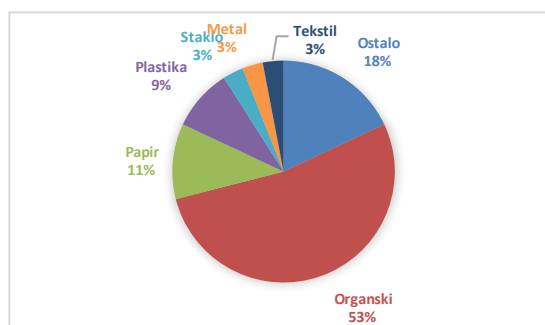
generisanja komunalnog otpada po stanovniku iznosi 1,2 kg dnevno, a predviđanja pokazuju da će se do 2025. ova količina povećati na 1,4 kg po glavi stanovnika dnevno. Porast količina otpada je u neraskidivoj vezi sa porastom broja stanovnika, povećanom urbanizacijom i društveno-ekonomskim razvojem zemlje. Sjedinjene Američke Države su vodeće po količini generisanog otpada (oko 621.000 tona dnevno), a zatim sledi Kina u kojoj se generiše oko 521.000 tona otpada dnevno (*Worldwatch, 2012*).

Stopa generisanja i sastav otpada u velikoj meri varira između regiona, država, gradova pa čak i unutar gradova. Poređenje morfološkog sastava komunalnog otpada u odnosu na nivo prihoda zemalja prikazano je na slici 1.1. Organske frakcije zauzimaju znatno veći udeo u zemljama sa srednjim i niskim prihodima, dok u zemljama sa visokim prihodima po stanovniku veliki procenat u komunalnom otpadu zauzima papir i plastika (*Hoornweg i Bhada-Tata, 2012*).

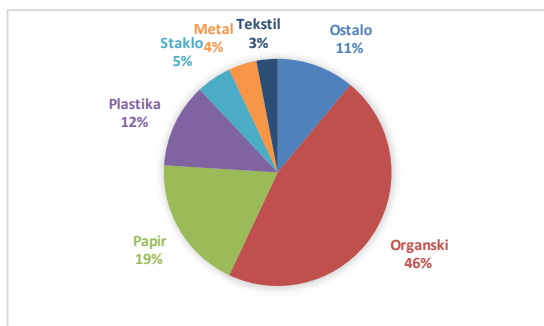
Pokrivenost organizovanim sakupljanjem komunalnog otpada u zemljama sa niskim prihodima po glavi stanovnika iznosi 36 %, u zemljama sa niže-srednjim dohotkom 64 %, u zemljama sa srednje-višim dohotkom 82 %, a u zemljama sa visokim prihodima po glavi stanovnika pokrivenost uslugama organizovanog sakupljanja otpada približava se 100 % (*GWMO, 2015*).



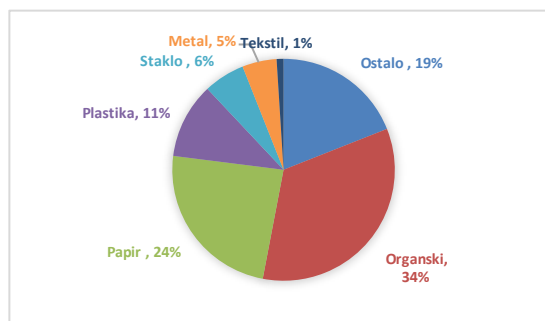
a) Zemlje sa niskim prihodima po glavi stanovnika



b) Zemlje sa niže-srednjim prihodima po glavi stanovnika



c) Zemlje sa srednje-višim prihodima po glavi stanovnika



d) Zemlje sa visokim prihodima po glavi stanovnika

Slika 1.1 Morfološki sastav otpada (*GWMO, 2015*)

Najzastupljeniju opciju tretmana komunalnog otpada, na globalnom nivou, i dalje predstavlja deponovanje, iako se prema mnogim strateškim dokumentima iz oblasti upravljanja otpadom, ova opcija smatra najmanje poželjnom u hijerarhiji upravljanja otpadom (Batinić, 2015). Primena određenih opcija za tretman komunalnog otpada u najvećoj meri zavisi od ekonomskih pokazatelja, odnosno od razvijenosti određene zemlje. Deponovanje otpada i termički tretman su najčešće zastupljene metode tretmana komunalnog otpada u zemljama sa visokim prihodima. Zemlje sa niskim i srednjim prihodima otpad uglavnom odlažu na nekontrolisane ili delimično kontrolisane deponije (Hoorweg i Bhada-Tata, 2012). U tabeli 1.1 prikazan je način tretiranja otpada u zavisnosti od nivoa nacionalnog prihoda po glavi stanovnika.

Tabela 1.1 Način tretiranja otpada u svetu (milion t)(Hoorweg i Bhada-Tata, 2012)

a) Zemlje sa visokim prihodima po glavi stanovnika		b) Zemlje sa srednje-višim prihodima po glavi stan.	
Divlje deponije	0,05	Divlje deponije	44
Deponovanje	250	Deponovanje	80
Kompostiranje	66	Kompostiranje	1,3
Reciklaža	129	Reciklaža	1,9
Termički tretman	122	Termički tretman	0,18
Ostalo	21	Ostalo	8,3

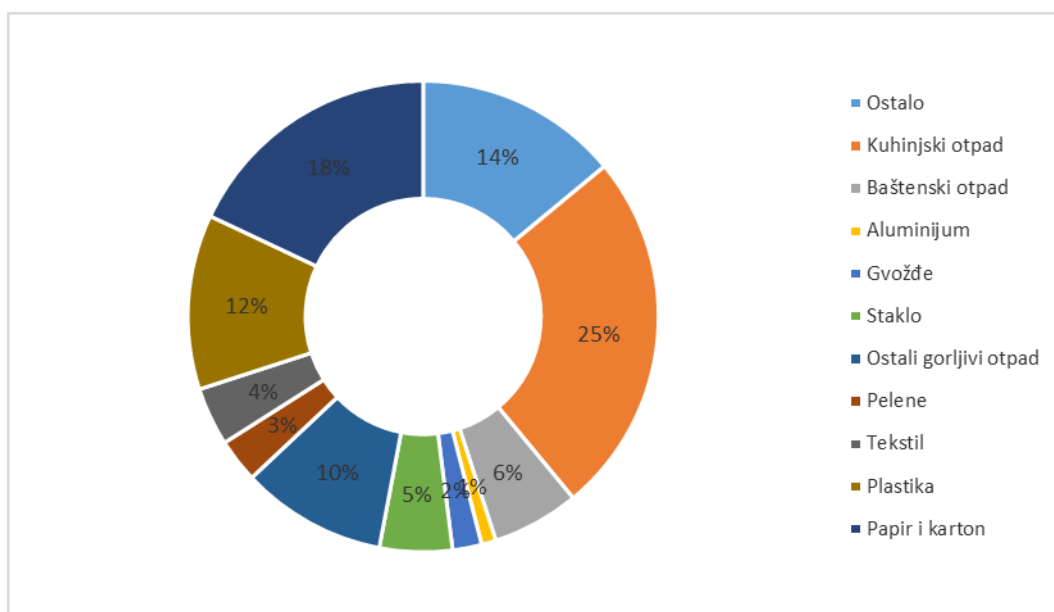
  

c) Zemlje sa niskim prihodima po glavi stanovnika		d) Zemlje sa niže-srednjim prihodima po glavi stan.	
Divlje deponije	0,47	Divlje deponije	27
Deponovanje	2,3	Deponovanje	6,1
Kompostiranje	0,05	Kompostiranje	1,2
Reciklaža	0,02	Reciklaža	2,9
Termički tretman	0,05	Termički tretman	0,12
Ostalo	0,97	Ostalo	18

### 1.1.2 Trenutno stanje u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u Evropskoj uniji

Na godišnjem nivou se u EU odbacuje oko 3 milijarde tona čvrstog otpada, što iznosi oko 6 tona čvrstog otpada po stanovniku (Panagos i dr., 2013). Komunalni čvrst otpad čini približno 10 % od ukupnog generisanog čvrstog otpada (EEA, 2015). Ukupna količina generisanog komunalnog otpada za EU-28, u 2014. godini, iznosila je 240 miliona tona, odnosno 475 kg po stanovniku (Eurostat, 2016a). Prema statističkim podacima EU (Eurostat 2016b) iz 2014. godine, količina generisanog komunalnog otpada iznosila je manje od 300 kg po stanovniku u Rumuniji, Poljskoj i Letoniji. Malta, Irska, Austrija, Holandija, Francuska i Grčka su zemlje u kojima se ove vrednosti kreću između 500 i 600 kg po stanovniku, dok Kipar, Nemčka i Luksemburg generišu preko 600 kg po glavi stanovnika. Najveće količine komunalnog otpada proizvode stanovnici Danske, ≈759 kg po stanovniku na godišnjoj osnovi.

Morfološki sastav otpada u okviru EU se razlikuje među državama članicama, i iz tog razloga je teško odrediti jedinstvenu strukturu otpada na nivou EU. U razvijenijim državama članicama (Nemačka, Francuska, Švedska) u morfološkom sastavu otpada dominiraju plastika, karton i papir, dok je udeo organskog otpada nizak. U ostalim državama članicama, između ostalih, Rumunija, Bugarska, koje prema ekonomskim pokazateljima pripadaju državama u razvoju, u morfološkom sastavu otpada, dominira organska frakcija, dok je udeo ambalaže i ambalažnog otpada manji. Na slici 1.2 prikazan je prosečan morfološki sastav otpada na nivou EU-27.



Slika 1.2 Morfološki sastav otpada na nivou EU-27

Kada je u pitanju zastupljenost opcija tretmana komunalnog otpada u zemljama EU najveći procenat zauzima deponovanje i reciklaža po 28 % zatim sledi termički tretman ≈27 %, a u najmanjem procentu je zastupljeno kompostiranje (≈16 %). Udeo komunalnog otpada koji se reciklira ili kompostira u EU značajno se uvećao sa 17 % na 44 %, tokom vremenskog perioda od 1995. do 2014. godine. Približno polovina komunalnog otpada se reciklira u Sloveniji (49 %) i Nemačkoj (47 %). Kompostiranje u je u velikoj meri zastupljeno u Austriji (32 %), Holandiji (27 %) i Belgiji (21 %), a termičkim tretmanom (insineracijom) tretirana je najmanje polovina od komunalnog otpada u Estoniji (56 %), Danskoj (54 %), Finskoj (50 %) i Švedskoj (50 %). Deponovanje je najviše zabeleženo u Letoniji (92 %), Malti (88 %), Hrvatskoj (83 %), Rumuniji (82 %), Grčkoj (81 %), Slovačkoj (76 %), Kiparu (75 %) i Bugarskoj (74 %) (Eurostat, 2016b).

Prema podacima Evropske agencije za zaštitu životne sredine (EEA) pokrivenost stanovništva organizovanim sakupljanjem komunalnog otpada za EU-28, u 2008. godini iznosila je 93 %.

Legislativa EU u oblasti upravljanja otpadom se već decenijama bazira na hijerarhiji upravljanja otpadom koju uspostavlja Okvirna direktiva o otpadu (*Directive 2008/98/EC*). Međutim, u Tematskoj strategiji EU o prevenciji i reciklaži otpada (*EU Thematic Strategy, 2005*) se po prvi put nagoveštava značaj koncepta životnog ciklusa i navodi da je za postizanje optimalnog sistema upravljanja otpadom od izuzetne važnosti primena ocenjivanja životnog ciklusa (*eng. Life Cycle Assessment-LCA*) na sistem upravljanja otpadom.

Tematska strategija EU o prevenciji i reciklaži otpada ima za cilj sprečavanje nastajanja otpada, korišćenje otpada kao resursa za dobijanje sekundarnih sirovina i energije, smanjenje uticaja otpada na životnu sredinu i zdravlje stanovništva, promovisanje efikasnog i održivog korišćenja prirodnih resursa, a navodi i neophodnost primene ocenjivanja životnog ciklusa u oblasti upravljanja otpadom za dostizanje navedenih ciljeva.

Četiri važne direktive evropske politike o otpadu su: Direktiva o deponovanju otpada (*Council Directive 99/31/EC*), Direktiva o spaljivanju otpada (*Directive 2000/76/EC*), Okvirna direktiva o otpadu (*Directive 2008/98/EC*) i Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu (*Directive 2004/12/EC*).

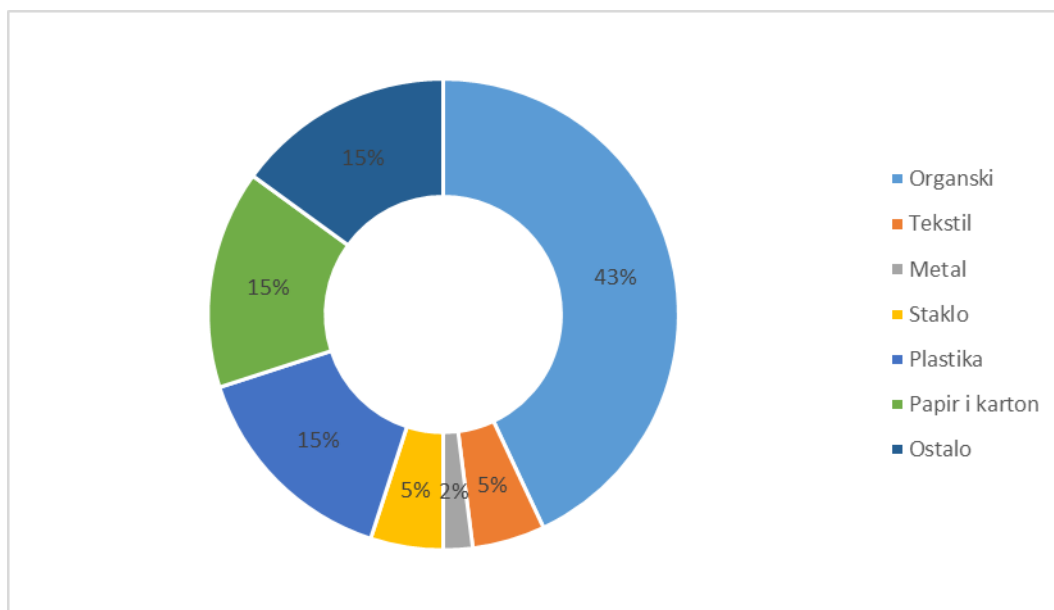
### **1.1.3 Trenutno stanje u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u Srbiji**

Postupanje sa otpadom u Republici Srbiji može se generalno oceniti kao nedovoljno razvijeno i uglavnom je ograničeno samo na njegovo sakupljanje i odlaganje. Do 2000. godine je gotovo sav sakupljen otpad na području Republike Srbije odlagan na nekontrolisana odlagališta, koja ne poseduju elemente sanitarne zaštite, ili na divlje deponije (*"Sl. glasnik RS", br. 80/2011*). Implementacija naprednih tehnologija još uvek je teško dostižna i deponovanje predstavlja praktično jedini oblik tretmana komunalnog otpada (*Batinić, 2015*).

Strategija upravljanja otpadom (*"Sl. glasnik RS", br. 29/10*) u Republici Srbiji predstavlja bazni dokument za racionalno i održivo upravljanje otpadom na nacionalnom nivou. Za formiranje održivog sistema upravljanja otpadom, neophodno je sagledavanje svih opcija njegovog tretmana, a odluka o izboru najpogodnije opcije, koja sadrži i karakteristike sredine i lokacije na kojoj otpad nastaje, donosi se kroz ocenjivanje životnog ciklusa otpada. Prema preporukama iz Strategije, formiranje regiona za upravljanje otpadom, predstavlja jedinu održivu opciju, jer bi se time ostvarila: bolja kontrola celog sistema upravljanja otpadom, zaštita i očuvanje životne sredine, lakša (jeftinija) primena novih tehnologija,

ukupno sniženje troškova, dostigao bi se veći obim separacije korisnih sirovina, a u krajnjoj instanci došlo bi i do ostvarenja profita prodajom sekundarnih sirovina. Tako je u Republici Srbiji planirano formiranje 26 regionalnih centara za upravljanje otpadom. U Srbiji je trenutno izgrađeno osam sanitarnih deponija (Kikinda, Gornji Milanovac, Lapovo, Jagodina, Užice, Vranje, Pirot i Leskovac), na koje se deponuje oko 10 % od ukupno generisane količine komunalnog otpada (Batinić, 2015).

Godišnja količina komunalnog otpada u Srbiji iznosi 2.374.374 tona, odnosno 0,87 kg po stanovniku dnevno. Najveći udeo u komunalnom otpadu čini organski otpad oko 43 %, zatim slede karton i papir ≈15 %, plastika ≈15 %, a frakcije kao što staklo i tekstil zastupljene su ≈5 % (slika 1.3).



Slika 1.3 Prosečni morfološki sastav komunalnog otpada u Srbiji (FTN, 2009)

Od ukupno proizvedenog komunalnog otpada na teritoriji Republike Srbije samo 60 % se organizovano sakuplja, i to uglavnom u urbanim sredinama ("Sl. glasnik RS", br. 29/10).

Republika Srbija, kao kandidat za članstvo u Evropskoj uniji, ima obavezu da harmonizuje nacionalno zakonodavstvo sa direktivama EU i u oblasti upravljanja otpadom. Veći deo odredbi Okvirne direktive o otpadu (Directive 2008/98/EC) prenete su 2010. godine u domaće zakonodavstvo, usvajanjem izmena i dopuna Zakona o upravljanju otpadom ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010 i 14/2016) i pratećim podzakonskim aktima, međutim Okvirna direktiva o otpadu (Directive 2008/98/EC) i Direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu (Directive 2004/12/EC) još uvek nisu u potpunosti transponovane u Republici Srbiji. Nacionalni ciljevi za ponovno korišćenje i reciklažu ambalažnog otpada definisani su Uredbom o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2015. do 2019. godine ("Sl. glasnik RS", br. 144/2014) i u skladu su sa ciljevima koje su zemlje članice EU,

trebale da ispune do kraja 2008. godine, shodno Direktivi o ambalaži i ambalažnom otpadu. Direktiva o deponovanju otpada (*Council Directive 99/31/EC*) i Odluka Saveta o uspostavljanju kriterijuma i procedura za prihvatanje otpada na deponije (*Council Decision 2003/33/EC*) transponovane su u domaće zakonodavstvo Zakonom o upravljanju otpadom ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010 i 14/2016) i Uredbom o odlaganju otpada na deponije ("Sl. glasnik RS", br. 92/2010).

S obzirom da Republika Srbija sada ima osam regionalnih sanitarnih deponija usklađenih sa zahtevima iz propisa EU, u narednom periodu neophodno je razviti i druge oblike upravljanja otpadom, da bi se smanjila količina otpada koja će završavati na deponijama.

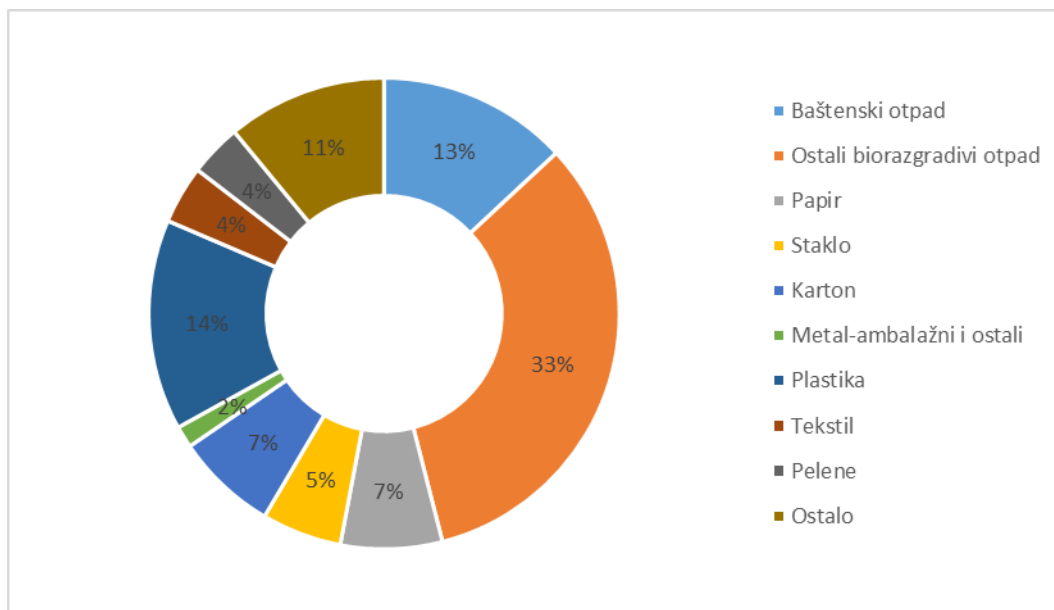
#### **1.1.4 Trenutno stanje u oblasti upravljanja komunalnim otpadom u regionu Novog Sada**

Južno-bački region za upravljanje otpadom definisan je Strategijom upravljanja otpadom u Republici Srbiji ("Sl. glasnik RS", br. 29/10) i Zakonom o upravljanju otpadom ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010 i 14/2016). Ovaj region obuhvata sedam opština (Bačka Palanka, Bački Petrovac, Beočin, Žabalj, Srbobran, Temerin i Vrbas) i Grad Novi Sad. Komunalni otpad se u ovom regionu, uglavnom, bez ikakvih predtretmana, odlaže na opštinska odlagališta koja ne zadovoljavaju kriterijume sanitarnih deponija.

Prema podacima datim u Regionalnom planu upravljanja otpadom (*FTN, 2011*) od obuhvaćenih opština jedino u Novom Sadu postoje druge opcije tretmana komunalnog otpada, osim odlaganja. Godine 2002. postavljena je prva linija za separaciju i baliranje izdvojenih frakcija komunalnog čvrstog otpada kapaciteta 4-6 tona h<sup>-1</sup>, u kojem se sprovodi izdvajanje sirovina (papir, karton, PET ambalaža, PVC folija, plastika, staklene boce, aluminijum, gvožđe, čelik, akumulatori i gume). Sirovine se selektuju po vrstama i zahtevima ovlašćenih operatera, a potom baliraju uz pomoć prese. Godine 2011. puštena je u rad druga linija za separaciju komunalnog otpada kapaciteta 8-10 tona h<sup>-1</sup>.

Na teritoriji ostalih opština ne postoji razvijeno tržište sekundarnih sirovina. Pojedina javna komunalna preduzeća u ovom regionu imaju saradnju sa privatnim kompanijama za otkup i reciklažu sirovina, međutim podaci o količinama sirovina preuzetih od strane ovih lica nisu dostupni.

Kao što se može videti sa slike 1.4 najveći procenat komunalnog otpada predstavlja biorazgradivi otpad, odnosno otpad od hrane i baštenski otpad (≈46 %). Pokrivenost stanovništva organizovanim sistemom za sakupljanje otpada u regionu iznosi 96 %.



Slika 1.4 Morfološki sastav komunalnog otpada u regionu (FTN, 2011)

## 1.2 Obrazloženje o potrebama istraživanja

U zemljama članicama EU oblast upravljanja otpadom se već decenijama uređuje na osnovu principa hijerarhije upravljanja otpadom. Na vrhu ove hijerarhije jeste smanjenje otpada na izvoru ili minimizacija otpada. Nakon toga slede opcije kao što su: ponovna upotreba, reciklaža, kompostiranje, dobijanje energije iz otpada, spaljivanje otpada bez dobijanja energije i deponovanje. Međutim, hijerarhija upravljanja otpadom ima nekoliko ograničenja. Primenom hijerarhije, radi utvrđivanja najboljih opcija tretmana otpada, kao rezultat ne dobija se uvek i najniže opterećenje po životnu sredinu, kao ni ekonomski održiv sistem. Efikasno ili održivo upravljanje otpadom uslovljeno je brojnim faktorima od količine i sastava otpada, preko socio-ekonomskih, tehnoloških, prostornih i drugih aspekata. Stoga ne postoje opšte najbolje ili najgore opcije već samo odgovarajuće opcije za različite frakcije otpada.

LCA se pokazala kao koristan instrument podrške za planiranje ili upravljanje čvrstim komunalnim otpadom. Može da se koristi za identifikaciju opterećenja i mogućnosti za optimizaciju procesa u cilju poboljšanja performansi životne sredine, zatim za informisanje donosilaca odluka i za izbor relevantnih indikatora životne sredine (Merrild, 2009). S obzirom da se primenom LCA tretman otpada i optimalna stopa tretmana otpada određuje na osnovu sastava otpada ovaj instrument može da promeni rangiranje opcija tretmana otpada u hijerarhiji (Kirkeby i dr, 2006). Takođe, potreba za LCA analizom sistema upravljanja otpadom proizilazi iz činjenice da se njenom primenom mogu razmatrati različiti uticaji

emisija zagađujućih materija koje određene tehnologije tretmana otpada produkuju kao i smanjenje potrošnje prirodnih resursa.

Primena LCA metode na sistem upravljanja otpadom doprinosi iznalaženju optimalne i održive strategije upravljanja komunalnim otpadom, obezbeđuje uporednu analizu različitih strategija i različitih tehnologija tretmana otpada.

Uspostavljanje održivog sistema upravljanja otpadom predstavlja prioritet na svim nivoima upravljanja. Odluke koje se odnose na sam izbor opcija upravljanja komunalnim otpadom su od ključnog značaja za unapređenje i dostizanje održivog sistema upravljanja otpadom.

Prethodno navedeno ukazuje na potrebu za razvojem fleksibilnog modela za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primenom LCA metode radi uspostavljanja optimalnog i održivog sistema upravljanja otpadom.

### **1.2.1 Ocenjivanje životnog ciklusa i sistem upravljanja čvrstim komunalnim otpadom**

LCA je analitički instrument koji služi za ocenjivanje uticaja na životnu sredinu od strane nekog proizvoda ili procesa tokom celokupnog životnog ciklusa ("od kolenke do groba"). Ovaj instrument omogućava identifikaciju negativnih uticaja na životnu sredinu i ključnih problema u vezi sa određenim proizvodom kroz:

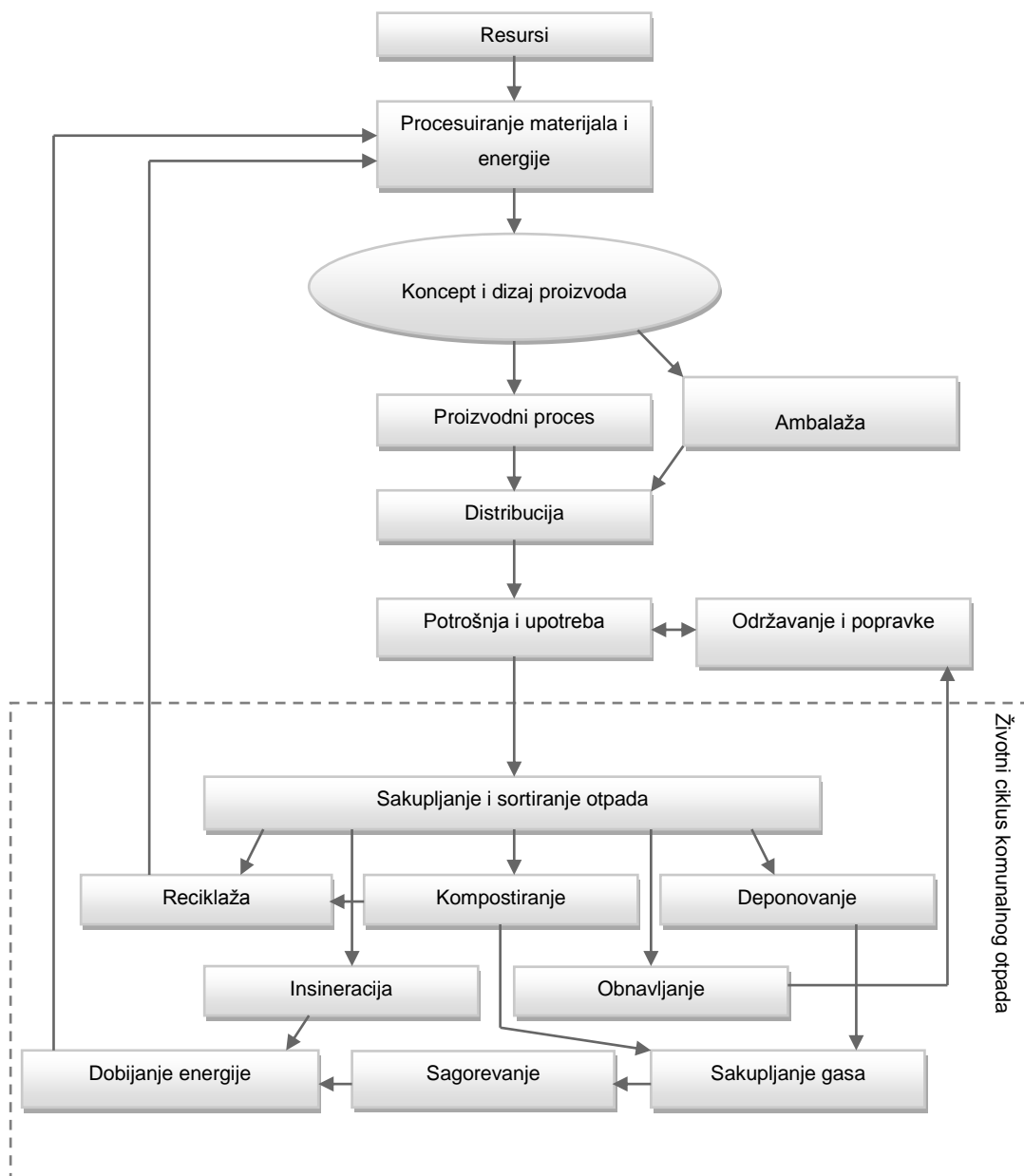
- izradu inventara relevantnih ulaza i izlaza u okviru granica posmatranog sistema,
- vrednovanje potencijalnih uticaja na životnu sredinu datih ulaza i izlaza i
- interpretaciju rezultata inventara analize i faze procene uticaja u odnosu na postavljene ciljeve.

U seriji standarda SRPS ISO 14040 uspostavljen je fleksibilan okvir pod kojim se izrađuje LCA i pod kojim može da se odvija na praktičan i tehnički pouzdan način. Jedinstvena metoda za sprovođenje LCA ne postoji. Primena LCA metode je fleksibilna, može da se sprovodi na osnovu specifične aplikacije i zahteva korisnika. Ova metoda postala je korisno sredstvo u procesu donošenja odluka u vezi sa dizajnom proizvoda krajem devedesetih godina prošlog veka, a interesovanje za njenim korišćenjem u sistemu upravljanja otpadom je u porastu poslednjih 15 godina.

Kontinualno povećanje produkcije čvrstog komunalnog otpada širom sveta zahteva iznalaženje strategije upravljanja otpadom na održiv način. LCA je instrument koji može da doprinese ovom zahtevu (*Laurent i dr, 2014a*). Osnovna razlika između LCA proizvoda i LCA otpada jeste razlika u načinu korišćenja ili potencijalnim korisnicima i funkcionalnoj jedinici. LCA čvrstog otpada ima za cilj da optimizira infrastrukturu sistema upravljanja određenom količinom otpada i određenim sastavom otpada.



Proizvod provede deo svog životnog ciklusa kao otpad, odnosno, u sistemu upravljanja otpadom (slika 1.5). Sprovođenje LCA za otpad obuhvata deo životnog ciklusa proizvoda, odnosno trenutak kada proizvod gubi upotrebnu vrednost on postaje otpad i to predstavlja početak životnog ciklusa otpada. Uticaj sistema otpada na životnu sredinu zavisi od: koncepta i dizajna proizvoda (vrsta i količina materijala od kojih se proizvod sastoji, životni vek proizvoda i mogućnost primene reciklaže), potrošnje i veka trajanja proizvoda i tretmana otpada (Bjarnadottir i dr., 2002).



Slika 1.5 Opšti sistem životnog ciklusa

Ako životni ciklus otpada posmatramo kroz pristup "od koevke do groba" taj ciklus počinje od trenutka kada se dati artikal odloži u kantu za smeće do trenutka kada se od njega ponovo dobija koristan materijal, energija ili se transformiše u emisije u vodu i vazduh ili kada se odloži na deponiju kao inertan material.

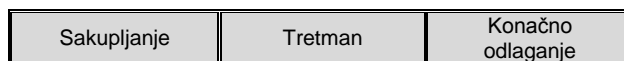
Podaci o životnom ciklusu proizvoda mogu da se kombinuju sa drugim informacijama i instrumentima procene u oblasti životne sredine radi poboljšanja eko karakteristika proizvoda ili usluga. S obzirom na to da će se proizvod koristiti i odložiti na određeni način (reciklaža, insineracija, deponija) moguće je determinisati kako će promene u proizvodu uticati na karakteristike sistema životne sredine. Međutim, postoji mogućnost da se proizvod održi konstantnim, a da se promeni tretman otpada i da se na taj način oceni uticaj na životnu sredinu. Pod pretpostavkom da su detalji o sastavu otpada poznati, za čvrsti komunalni otpada se može utvrditi kako će različite opcije upravljanja otpadom da utiču na karakteristike životne sredine.

U okviru sistema upravljanja otpadom, faze životnog ciklusa otpada se donekle razlikuju od faza životnog ciklusa proizvoda (slika 1.6).

a) Životni ciklus proizvoda



b) Životni ciklus čvrstog komunalnog otpada



Slika 1.6 Faze životnog ciklusa proizvoda (slika a) i čvrstog komunalnog otpada (slika b)

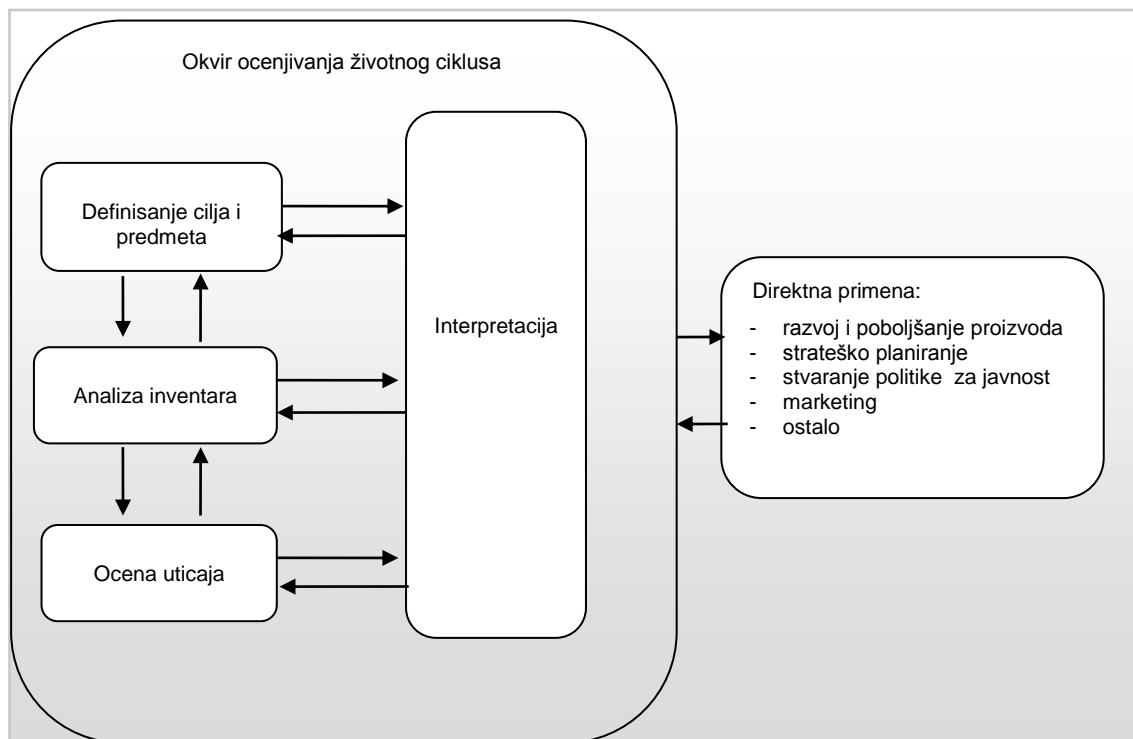
Prema SRPS ISO 14044:2008 LCA se sprovodi kroz četiri međusobno zavisne faze (slika 1.7):

1. Definisanje cilja i predmeta; faza u kojoj se sprovodi izbor metoda i postupaka analize, određuje svrha, dubina i širina, namena rezultata, funkcionalna jedinica, granice sistema i zahtevi u pogledu kvaliteta podataka.

2. Inventar životnog ciklusa (*eng. life cycle inventory-LCI*); faza koja se odnosi na identifikaciju procesa koji su obuhvaćeni, prikupljanje ulaznih i izlaznih materijalnih i energetskih tokova sistema proizvoda koji se posmatra.

3. Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa (*eng. life cycle impact assessment*); ova faza obezbeđuje ocenjivanje potencijalnih negativnih uticaja tokom životnog ciklusa na osnovu LCI rezultata, kako bi se bolje razumeo njihov značaj sa aspekta zaštite životne sredine. Uticaji potrošnje resursa i nastalih emisija se grupišu i kvantifikuju preko određenog broja kategorija uticaja koje se nakon toga mogu odmeravati po značaju.

4. Interpretacija rezultata; faza u kojoj se rezultati LCI i LCIA, sumiraju i razmatraju kao osnova za zaključke, preporuke i donošenje odluka u skladu sa definicijom cilja i predmeta.



Slika 1.7 Faze LCA metode (SRPS ISO 14040, 2008)

### Definisanje cilja i predmeta

Prilikom definisanja cilja treba nedvosmisleno da se navede svrha studije a predmet treba da je dovoljno jasno definisan, kako bi osigurao da širina, dubina i detaljnost studije budu kompatibilne i dovoljne da odgovore navedenom cilju.

Definisanje predmeta uključuje definisanje sistema proizvoda koji se posmatra, kao i pripadajuće(ih) funkcije(a), određivanje funkcionalne jedinice, granica sistema, postupke alociranja, izbor kategorija uticaja, kao i metode ocenjivanja uticaja.

Sistem proizvoda može imati više funkcija, pri čemu se obuhvataju one koje se tiču cilja i predmeta konkretne LCA studije. Sistem proizvoda jeste niz povezanih operacija koje se dešavaju u životnom ciklusu proizvoda.

Funkcionalna jedinica jeste mera za funkcionalne izlaze sistema proizvoda. Ona obezbeđuje referentnu tačku u kojoj su ulazi i izlazi povezani i omogućava jasno poređenje rezultata LCA studije. Funkcionalna jedinica se izražava po količini proizvoda (npr. kg,m<sup>2</sup> ili l)

tako da bude u vezi sa funkcijom usluge proizvoda po ekvivalentu odnosno meri upotrebe. Svi ulazi i izlazi izračunavaju se po funkcionalnoj jedinici.

Granice sistema definišu jedinične procese koje treba uključiti u sistem. Granice sistema obuhvataju i definišu fazu, operaciju, ulaze i izlaze u okviru LCA studije ocenjivanja i obezbeđuju balans između različitih sistema, kao i komparaciju. U svakoj LCA studiji, definisanje funkcionalne jedinice i granica sistema predstavlja veoma važne korake.

Iako je LCA standardizovana metoda, ostavlja prostor za izbor područja primene, funkcionalne jedinice, granica sistema i kategorije na životnu sredinu s obzirom na svrhu same analize (Merrild, 2009). Za primenu LCA metode na sektor upravljanja otpadom potrebno je odrediti smernice i definisanti procedure koje bi omogućile da se svi važni parametri uzmu u obzir.

Funkcionalna jedinica treba da reflektuje kvantitet otpada definisan sastavom otpada. Ukoliko se upoređuju dva različita sistema tretmana otpada funkcionalna jedinica treba da bude tona otpada specifičnog sastava (Laurent i dr, 2014a). Proračun može da bude baziran na prosečnoj godišnjoj količini tretiranog otpada. Funkcionalna jedinica se obično izražava kroz tretman jedne tone otpada specifičnog sastva ili kao tretman ukupne količine otpada u određenom vremenskom periodu i geografskom području (Hong i dr., 2010). Referentan tok je količina tretiranog otpada. Uticaji na životnu sredinu prouzrokovani za vreme definisanog vremenskog perioda se normalizuju u odnosu na referentan protok.

Granice sistema definišu jedinične procese, ulaze i izlaze, koji su obuhvaćeni sistemom. Etape životnog ciklusa otpada i jedinični procesi su:

- distribucija otpada iz domaćinstva do prijemne stanice
- sakupljanje i transport otpada
- opcije tretmana otpada
- deponovanje

#### *Inventar životnog ciklusa – LCI*

LCI faza podrazumeva prikupljanje podataka i proceduru proračuna potrebnu da se upotpuni inventar. Postupak obuhvata sve ulaze i izlaze sistema proizvoda kroz celokupni životni ciklus, daje rezultate i podatke o ulazima materijala i energije i o pojedinačnim emisijama u vazduh i vodu kao i o čvrstom otpadu. Druga faza životnog ciklusa jeste računski proces ili bilans mase/energije za sistem. Svi potrebni ulazi u mnogim fazama i operacijama životnog ciklusa su obuhvaćeni unutar granica sistema.

Inventar životnog ciklusa za upravljanje čvrstim otpadom se sastoji od dva glavna koraka. Prvi korak je koncipiranje sistema upravljanja otpadom; što podrazumeva izbor između različitih opcija sakupljanja, sortiranja i tretmana otpada. Drugi korak obuhvata

proračun ulaza i izlaza izabranih procesa. Podaci zavise od performansi opreme i tehnologija koje su uključene i izraženi su u odnosu na količinu tretiranog otpada. Ukoliko LCA podrazumeva specifične tretmane otpada, podaci moraju da budu što preciznije definisani u odnosu na predmet i cilj.

#### *Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa – LCIA*

LCIA faza ispituje sistem proizvoda iz perspektive životne sredine koristeći kategoriju indikatora izvedenih iz rezultata LCI faze. Ova faza obezbeđuje informacije za fazu interpretacije. Takođe, daje odgovore na pitanja u vezi sa opterećenjem životne sredine i potrošnjom resursa u proizvodnom sistemu ili sistemu usluga. U ovoj fazi se rezultati LCI faze klasifikuju u odgovarajuće kategorije uticaja.

LCIA faza razmatra samo ona pitanja zaštite životne sredine koja su identifikovana u okviru cilja i predmeta, pa tako ne predstavlja kompletno ocenjivanje svih pitanja zaštite životne sredine proučavanog sistema proizvoda. Kod većine LCA studija, biraju se postojeće kategorije uticaja, indikatori kategorija ili modeli karakterizacije. Modeli karakterizacije odražavaju mehanizam zaštite životne sredine opisivanjem veza između rezultata LCI, indikatora kategorija i, u nekim slučajevima, završet(a)ka kategorija. Mehanizam zaštite životne sredine, jeste ukupan broj procesa u životnoj sredini povezan sa karakterizacijom uticaja. Do sada je razvijen veći broj LCIA metoda, među kojima su CML, Eco-indicator 95 i 99, IMPACT 2002+, ReCiPe i dr. (*Vještica, 2014*). U okviru poglavlja 2.3. data je detaljna analiza LCIA metoda.

Primenom LCA metode na sistem za upravljanje otpadom postoji mogućnost procene uticaja realnih ili potencijalnih sistema. Može se koristiti za identifikaciju slabih tačaka u sistemu i za izbor relevantnih indikatora uticaja tretmana otpada na životnu sredinu. Mnogi procesi u sistemu zavise od sastava otpada, od fizičkih i hemijskih osobina frakcija otpada, a LCA omogućava predviđanje opterećenja životne sredine i doprinosa različitim kategorijama uticaja.

#### *Interpertecija rezultata*

*Interpretacija rezultata* predstavlja povezivanje LCI i LCIA rezultata sa ciljem i predmetom analize radi obezbeđivanja zaključaka i preporuka. Faza interpretacije treba da obezbedi rezultate konzistentne sa definisanim ciljem, predmetom i područjem primene i koji obezbeđuju zaključke, ograničenja i preporuke. Postoje tri elementa u fazi interpretacije životnog ciklusa:

- identifikovanje značajnih pitanja na osnovu rezultata LCI i LCIA faza,

- ocenjivanje značajnih pitanja proverom potpunosti, osetljivosti i doslednosti i
- donošenje zaključaka, ograničenja i preporuka.

Za dobijanje adekvatnih rezultata neophodan je veliki broj ulaznih podataka. U cilju sprovođenja LCA razvijeni su modeli koji omogućavaju i podržavaju modelovanje tehnologija za tretman otpada.

### 1.2.2 Analiza postojećih LCA modela za evaluaciju sistema upravljanja otpadom

U cilju vrednovanja opcija za održivo upravljanje otpadom koriste se različiti analitički instrumenti. Dostupni su brojni modeli koji se primenjuju kao alati podrške u procesu donošenja odluka u oblasti upravljanja otpadom. Veći deo njih je zasnovan na analizi životnog ciklusa, dok postoje i metode koje su zasnovane na analizi tokova materijala (MFA) (Stevanović Čarapina, 2013). Različiti modeli su fokusirani na različite aspekte. Dok su neki od modela fokusirani na ekonomske faktore, drugi uključuju aspekte životne sredine.

MFA je sistematska procena tokova i zaliha materijala u okviru sistema koji je definisan u prostoru i vremenu. Povezuje izvore, puteve, posrednu i finalnu dispoziciju materijala. MFA predstavlja alat za tumačenje metaboličkih procesa kompleksnih antropogenih sistema koji su se razvijali tokom vremena, omogućavajući njihovu optimizaciju kroz podršku kada su u pitanju odluke koje se tiču dizajna novih sistema (Stanisavljević, 2012).

Tabela 1.2 Pregled LCA modela za procenu uticaja sistema upravljanja otpadom na životnu sredinu

Model	Razvijen od strane organizacije (država)	Pokrivenost elemenata LCA modela	Broj supstanci koje obuhvata
UMBERTO	Institut za softversko inženjerstvo u životnoj sredini (Nemačka)	LCI/LCIA	Bez ograničenja
ORWARE (ORganic WAste REsearch)	Univezitet (Švedska)	LCI/LCIA	Vazduh:69 Voda:68
DST (Decision Support Toll)	Univezitet/Istraživački institut (USA)	LCI/LCIA	Vazduh:23 Voda:17
EPIC/CSR (Environment and Plastic Industry Council/Corporation Supporting Recycling)	Industrijska asocijacija (Kanada)	LCI	Vazduh:12 Voda:17
EASETECH (Environmental Assessment for Environmental TECHNOlogies)	Univezitet (Danska)	LCI/LCIA	Vazduh:45 Voda:45
IWM-2 (Integrated Waste Management)	Korporacija Procter & Gamble's (UK)	LCI	Vazduh:24 Voda:27

Tokom poslednjih 20 godina razvijeno je nekoliko modela za procenu uticaja sistema upravljanja otpadom na životnu sredinu, baziranih na životnom ciklusu (tabela 1.2).

Modeli omogućavaju donosiocima odluka i planerima u oblasti upravljanja otpadom da koriste LCA pristup za specifične sisteme upravljanja otpadom i indentifikuju kako promene u sistemu utiču na životnu sredinu (*Winkler i Bilitewski, 2007*).

UMBERTO, model razvijen na Institutu za softversko inženjerstvo u životnoj sredini u Hamburgu (IFU-Institute, Hamburg) fokusiran je na upravljanje čvrstim otpadom, obezbeđuje modelovanje troškova, optimizaciju procesa, upravljanje zaštitom životne sredine i ocenjivanje životnog ciklusa (*Hansen i dr., 2006*). Ovaj model karakteriše veoma visok stepen fleksibilnosti, ali i veoma mala osetljivost na vrste otpada na ulazu (*Kirkeby, 2005, Winkler i Bilitewski, 2007*).

ORWARE model razvijen je u saradnji Instituta za zaštitu životne sredine i poljoprivredno inženjerstvo, Univerziteta za poljoprivredne nauke i Instituta za istraživanja u oblasti životne sredine u Švedskoj. Omogućava proračun tokova supstanci na godišnjem nivou, aspekte životne sredine i troškove sistema za upravljanje otpadom. Upotrebljava se kao alat za procenu troškova i uticaja na životnu sredinu sistema za upravljanje otpadom. Prvobitna upotreba ovog modela je bila orijentisana na organski otpad iz domaćinstava i industrije, međutim u međuvremenu je proširena i na ostale frakcije, odnosno materijale u otpadu (*Hansen i dr., 2006*).

DST model razvijen u saradnji Instituta u Severnoj Karolini (Research Triangle Institute-RTI) i Američke agencije za zaštitu životne sredine (eng. United States Environmental Protection Agency-USEPA) predstavlja instrument za evaluaciju integralnog sistema upravljanja otpadom u pogledu uticaja na životnu sredinu i ekonomskih uticaja. Takođe, alat je podrške za donosiocima odluka na lokalnom nivou. DST model nudi mogućnost unošenja promena u svim implementiranim procesima u modelu, međutim implementacija novih procesa predstavlja problem, odnosno slabost kod ovog modela (*Winkler i Bilitewski, 2007, Hansen i dr., 2006*).

EPIC/CSR kanadski model razvijen u saradnji CSR korporacije i EPIC saveta je alat koji pruža informacije o performansama životne sredine i različitim elementima postojećih ili tipskih sistema upravljanja otpadom. Obezbeđuje informacije koje doprinose odlukama o izboru elemenata sistema za integralno upravljanje otpadom. Model obuhvata procese koji se mogu menjati u izvesnoj meri, ali ne dozvoljava velike promene (*Winkler i Bilitewski, 2007*).

EASETECH model je koncipiran za evaluaciju potrošnje resursa i potencijalnih uticaja na životnu sredinu sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom (*Kirkeby, 2006*). Ovaj model obuhvata procenu uticaja na životnu sredinu usled generisanja, sakupljanja, tretmana

i odlaganja otpada (*Hansen i dr., 2006*). Pruža potpunu fleksibilnost u redefinisaniu podataka na bilo kom nivou od generisanja, sakupljanja, transporta do tretmana i odlaganja otpada (*Bhander i dr., 2010*).

IWM-2 model obuhvata inventar životnog ciklusa komunalnog čvrstog otpada, ali ne i ocenjivanje uticaja životnog ciklusa i pruža mogućnost procene i komparacije učinka sistema upravljanja otpadom sa aspekta životne sredine i ekonomskog aspekta. Ovaj model je korišćen u razvoju LCI modula u ovoj disertaciji.

### **1.3 Cilj hipoteze istraživanja**

Svaki LCA model ima brojne prednosti i nedostatke kada je u pitanju oblast upravljanja otpadom (*Kulczycka i dr., 2014*). Postojeće modele, analizirane u prethodnom poglavlju, karakterišu određeni nedostaci, među kojima su najznačajniji:

- modeli koji imaju integrisane LCIA faze ne pružaju mogućnost primene druge, savremenije LCIA metode, a samim tim i mogućnost prikaza rezultata na više nivoa,
- uglavnom se bave samo aspektima životne sredine, dok ekonomski aspekti nisu obuhvaćeni,
- pojedini modeli se bave samo jednom frakcijom u otpadu, npr. organskim otpadom i
- obuhvataju mali broj supstanci.

Polazeći od prethodno diskutovanog, za osnovni cilj ovog istraživanja postavljena je analiza mogućnosti za unapređenje LCA modela za upravljanje komunalnim otpadom, odnosno razvoj modela za evaluaciju sistema upravljanja otpadom primenom metode LCA, koji će karakterisati fleksibilnost, specifičnost primene na čvrsti komunalni otpad, mogućnost unošenja promena u svim implementiranim procesima, mogućnost izbora LCIA metodologije i procenu troškova sistema upravljanja otpadom.

Realizacija definisanog cilja istraživanja implicira proveru sledećih hipoteza:

- Moguće je razviti model za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primenom LCA metode koji će karakterisati fleksibilnost, prikaz rezultata na više nivoa i mogućnost procene operativnih troškova.
- Primenom razvijenog modela moguće je definisati optimalni sistem upravljanja čvrstim komunalnim otpadom u regionu Novog Sada.
- Primenom razvijenog modela moguće je definisati scenario upravljanja otpadom koji ispunjava odredbe propisane Direktivama EU o upravljanju otpadom, odnosno nivo ispunjenosti odredbi propisanih Direktivama EU.

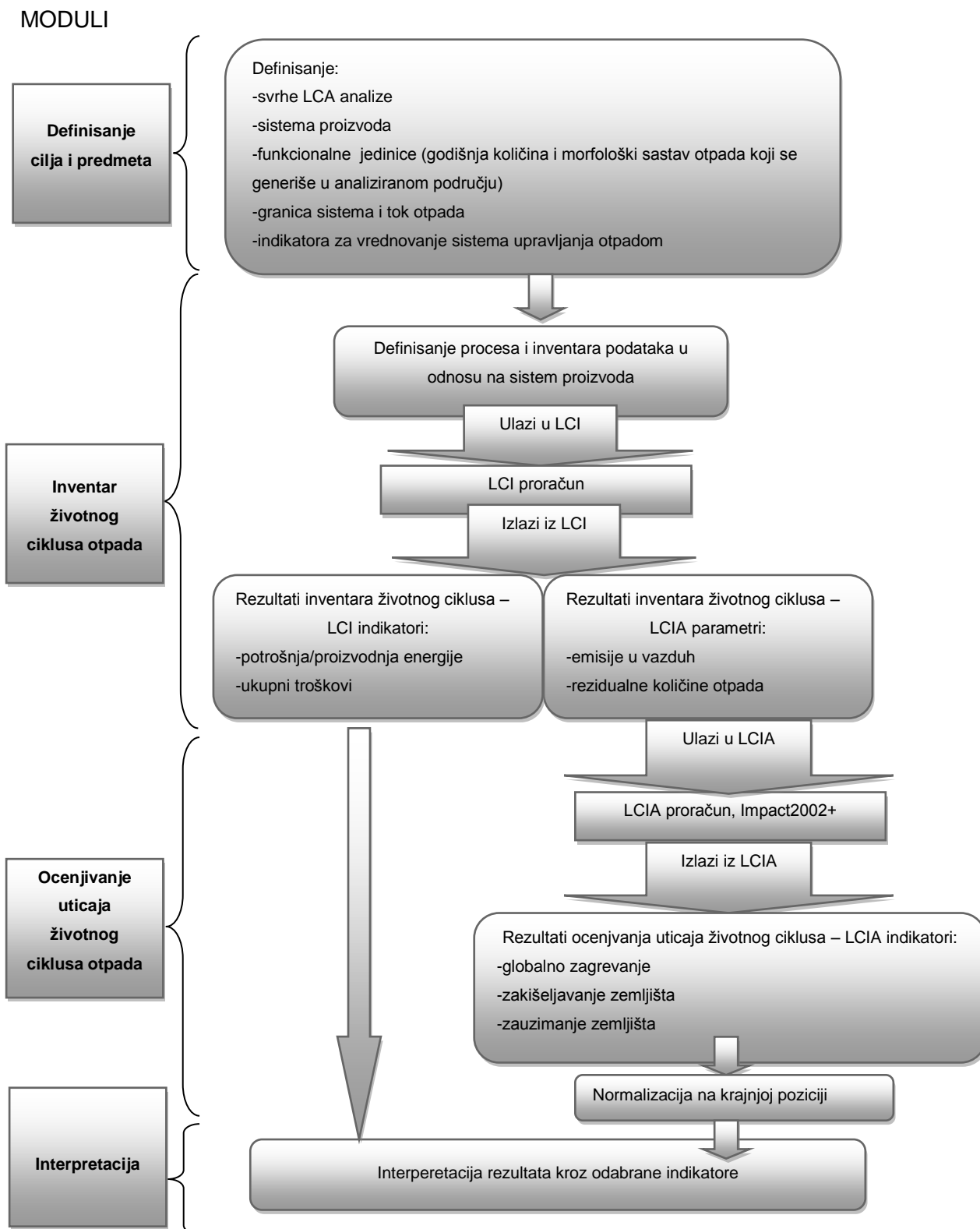


## **2. Model za evaluaciju sistema upravljanja otpadom**

Model za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primenom metode ocenjivanja životnog ciklusa je koncipiran kroz module koji prate osnovne faze LCA metode. Šematski prikaz koncepcije modela prikazan je slici 2.1.

Za potrebe razvoja modela za ocenjivanje životnog ciklusa komunalnog otpada korišćena su:

- uputstva i zahtevi za izradu LCA u seriji standarda SRPS ISO 14040 (*SRPS ISO 14040, 2008*),
- LCI model, IWM-2, CPM LCA baza podataka (*McDougall i dr, 2008*),
- LCIA metoda Impact 2002+ (*Humbert i dr., 2012*),
- specifični podaci u vezi sa analiziranim područjem i
- podaci iz publikacija u međunarodnim naučnim časopisima iz oblasti LCA i upravljanja komunalnim otpadom.



Slika 2.1 Šematski prikaz modularne strukture modela za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom primenom metode ocenjivanja životnog ciklusa

## 2.1 Modul – definisanje cilja i predmeta

*Cilj* primene LCA analize, u okviru modela, je ocenjivanje uticaja životnog ciklusa komunalnog čvrstog otpada na životnu sredinu. *Predmet studije* obuhvata sistem upravljanja komunalnim otpadom na određenom geografskom području i uticaj ovog sistema na potrošnju energije, klimatske promene, degradaciju zemljišta i operativne troškove. Polazna osnova za definisanje cilja i predmeta je utvrđivanje svrhe analize sistema.

*Svrha* ove analize je predviđanje i uporedna analiza opterećanja životne sredine sistemom upravljanja čvrstim komunalnim otpadom, radi obezbeđivanja odgovora donosiocima odluka prilikom izbora optimalnog rešenja sistema upravljanja otpadom.

*Sistem proizvoda*, analiza jediničnih procesa i elementarnih tokova detaljno je prikazana u LCI modulu (potpoglavlje 2.2.).

*Funkcionalna jedinica* je definisana kao količina komunalnog otpada sa određenog geografskog područja u datom vremenskom periodu. Ujedno ova jedinica predstavlja i jedinicu za poređenje sistema. Funkcija sistema upravljanja otpadom jeste da upravlja procesom tretmana i odlaganja otpada na određenom području.

Definisanje podataka u vezi sa generisanjem otpada obuhvata specifične podatke koji se odnose na ispitivani region (broj stanovnika, broj domaćinstava, generisana količina otpada po stanovniku na godišnjem nivou, morfološki sastav otpada itd). Sastav čvrstog komunalnog otpada na osnovu materijala, odnosno poznavanje masenog udela različitih frakcija u sastavu čvrstog komunalnog otpada jeste jedan od ključnih podataka za efektivno upravljanje otpadom i odlaganje otpada. Kategorije čvrstog otpada koje se najčešće koriste u sistemu upravljanja komunalnim otpadom predstavljene su u tabeli 2.1.

*Granice sistema* su postavljene od tačke gde proizvod gubi upotrebnu vrednost i postaje otpad do tačke gde otpad ponovo dobija upotrebnu vrednost ili izlazi iz sistema kao emisija i rezidualni otpad.

Tabela 2.1 Klasifikacija čvrstog otpada

Frakcije komunalnog čvrstog otpada	Opis
Papir	Papir, karton, papirni proizvod
Staklo	Staklene boce i tegle svih boja, staklene pločice
Metal	Svi metali uključujući i konzerve, koji se dalje dele na fero-metale i obojene metale
Plastika	Sve vrste plastike, boce, filmovi, laminati, tvrde plastike, plastične folije
Tekstil	Sve tkanine, sintetičke, prirodne
Organski otpad	Kuhinjski otpad, otpad iz bašte, otpaci od hrane

Frakcije komunalnog čvrstog otpada	Opis
Ostali otpad	Svi ostali materijali, fini materijali, koža, guma, drvo...
Ostatak od kompostiranja	Ostatak od biološkog tretmana koji nema tržišnu vrednost
Pepeo	Pepeo, šljaka, šljaka iz insineratora, iz RDF kotlova

Ulazi u sistem upravljanja otpadom, pored otpada kao materijalnog ulaza, su energetska i ekonomska ulaza, a izlazi iz sistema su korisne komponente u obliku komposta, sekundarnih sirovina ili energije, emisije u vazduh, rezidualni otpad i ukupni troškovi ili prihodi sistema. Granice sistema sa materijalnim, energetskim i ekonomskim ulazima i izlazima za sistem upravljanja otpadom prikazane su u tabeli 2.2. Otpad može ponovo dobiti vrednost kao kompost, sekundarni materijal ili energent i na taj način prestaje da bude otpad i ulazi u materijalni ili energetski tok.

Tabela 2.2 Granice sistema za ocenjivanje životnog ciklusa otpada

Ulaz/Izlaz	Granice sistema	Jedinica
Ulaz: Otpad	Tačka u kojoj materijal postaje otpad	T
Ulaz: Energija	Ekstrakcija energetskih resursa	GJ
Ulaz: Troškovi	Operativni troškovi jediničnih procesa	€
Izlaz: Energija	Energija tj. izlazna energija (energija dobijena iz otpada), ova energija oduzima se od ukupne utrošene energije u sistemu	GJ
Izlaz: Sekundarne sirovine	Izlazi iz postrojenja za sortiranje otpada ( <i>eng. Materials Recovery Facilities-MRF</i> , reciklabilne sirovine, koje se izdvajaju iz ukupne količine otpada na postrojenju za sortiranje), izlazi iz postrojenja za dobijanje goriva iz otpada ( <i>Refuse Deliverd Fuel – RDF</i> , gorivo dobijeno izdvajanjem visokokaloričnih frakcija otpada iz ukupne količine otpada)	T
Izlaz: Kompost	Izlazi iz postrojenja za biološki tretman	T
Izlaz: Emisije u vazduh	Izdurni gasovi iz transportnih vozila, emisije iz postrojenja za biološki i termički tretman otpada, emisije sa deponije	Kg
Izlaz: Konačno odlaganje otpada (rezidualni čvrsti ostatak)	Sadržaj deponije na kraju biološki aktivnog perioda	t ili m <sup>3</sup> materijala
Izlaz: Ukupni troškovi	Ukupni troškovi sistema	€

Alokacija je sprovedena na osnovu mase proizvoda, a na osnovu svrhe LCA analize sproveden je odabir LCIA metode i *kategorija uticaja* koje su u ovoj disertaciji korišćene u svojstvu indikatora za vrednovanje sistema upravljanja otpadom (detaljnije objašnjeno u potpoglavlju 2.1.1).

Kada su u pitanju zahtevi u pogledu kvaliteta podataka, postoje dve glavne kategorije potrebnih podataka:

- 1) opšti podaci u vezi sa energetsom proizvodnjom, ekstrakcijom sirovina i transportom i
- 2) specifični podaci u vezi sa proizvodnjom, distribucijom i upravljanjem otpadom.

### **2.1.1 Indikatori za vrednovanje sistema upravljanja otpadom**

Primena analitičke metode kao instrumenta podrške u procesu odlučivanja podrazumeva postupak balansiranja i pregleda detalja. Indikatori su veoma korisni u ovakvim analizama, jer mogu kompleksne rezultate opisati na razumljiv način. Glavna svrha upotrebe indikatora je da približe rezultate naučnih istraživanja različitim zainteresovanim stranama koje potiču iz nenaučne zajednice. Indikatori bi trebalo da budu relevantni i razumljivi pre svega za donosioce odluka (*Merrild, 2009*).

Indikatori su najefikasniji oblik za praćenje promena i ostvarivanja sektorskih politika i strategija. Oni doprinose procesu donošenja odluka kroz: bolje sagledavanje složenih problema, identifikaciju prioriteta, simulaciju potrebnih aktivnosti, povremeno preispitavanje i korigovanje (*Stevanović Čarapina, 2011*). Mogu da se koriste u različite svrhe: za poređenje karakteristika životne sredine, identifikaciju potencijalnih poboljšanja i samim tim je važno da indikatori budu usklađeni sa namenom, kvantitativno iskazani i da vrednosti imaju isti imenilac (npr. tona komunalnog otpada).

Prilikom predstavljanja LCA rezultata uz pomoć indikatora i odabira skupa relevantnih indikatora, mora se jasno naglasiti nivo uticaja na kojem se indikator nalazi. U LCA studijama postoje dva nivoa uticaja: međupozicija i krajnja pozicija odnosno nivo oštećenja. Takođe, postoje rezultati koji opisuju efikasnost sistema (LCI rezultati) i rezultati koji opisuju uticaj sistema (LCIA rezultati).

Pojedini autori indikatore dele na indikatore uticaja i indikatore performansi (*Villeneuve i dr, 2009*). Indikatori uticaja su indikatori koji se koriste za prikaz LCIA rezultata i u vezi su sa LCI rezultatima. Indikatori performansi se odnose na kriterijume koji definišu uspešno upravljanje otpadom. LCA indikatori upravljanja otpadom pokrivaju razne tokove otpada i različite metode tretmana otpada (*Manfredi i Goralczyk, 2013*). LCA indikatori za upravljanje otpadom su razvijeni za analizu i praćenje: uticaja na životnu sredinu, beneficija i unapređenja u vezi sa sistemom upravljanja otpadom. Ovi indikatori pokrivaju potencijane uticaje i beneficije u vezi sa celokupnim lancem upravljanja otpadom, uključujući sakupljanje, transport i tretman otpada i korisni su za evaluaciju strategije i scenarija upravljanja otpadom

(EC JRC, 2012). U ovoj disertaciji su indikatori podeljeni na LCI i LCIA indikatore, odnosno rezultate koji se dobijaju nakon druge i treće faze.

Sistem upravljanja čvrstim otpadom je poznat kao važan činilac i uzročnik mnogih problema u oblasti životne sredine (klimatske promene, emisije u vazduh, vodu i zemljište i sl.) (Laurent i dr, 2014b). Postoji značajan stepen saglasnosti u naučnoj zajednici da su emisije gasova sa efektom staklene bašte i degradacija zemljišta ključni problemi kada je u pitanju oblast upravljanja otpadom. Sektor upravljanja otpadom je odgovoran za oko 5 % emisija gasova sa efektom staklene bašte na globalnom nivou (Mahmoudakhani i dr, 2014). Upravljanje čvrstim komunalnim otpadom može da bude pitanje globalnog karaktera kada su u pitanju klimatske promene. Borba protiv klimatskih promena danas predstavlja jedan od prioriteta u politici međunarodne zajednice. Osim aktivnosti na ublažavanju klimatskih promena, postala je neminovna i potreba za što hitnijim razvojem sistema adaptacije na klimatske promene. Značaj sektora upravljanja otpadom u domenu smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu ogleda se u tome da je moguće, relativno lako, smanjiti emisije gasova sa efektom staklene bašte u atmosferu, što nije slučaj u svim oblastima. Kako se industrije i zemlje širom sveta bore da adresiraju svoje emisije ugljenika, aktivnosti sektora za otpad predstavljaju mogućnost za smanjivanje emisija gasova sa efektom staklene bašte koje tek treba da se istraže u potpunosti (ISWA, 2012).

Evropska Strategija 2020 (EU 2020, 2010) je postavila za cilj smanjenje emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte za 20 % i povećanje udela obnovljivih izvora energije u finalnoj potrošnji za 20 % do 2020. godine u odnosu na baznu 1990. godinu. Republika Srbija, kao kandidat za ulazak u EU, u obavezi je da u svim sektorima, pa tako i u sektoru upravljanja otpadom, smanji emisije gasova sa efektom staklene bašte. Kako bi se sprovedlo vrednovanje sistema upravljanja otpadom i pružio odgovor na jedan od glavnih ciljeva ove strategije, u ovoj disertaciji odabrani su indikatori "potrošnja/proizvodnja energije" i "globalno zagrevanje".

Pored gasova sa efektom staklene bašte, posebnu pažnju zauzima problem degradacije zemljišta. U mnogim zemljama širom sveta, uključujući i one najrazvijenije, postoje velike površine zemljišta na kojima je potvrđeno prisustvo štetnih materija u koncentracijama koje predstavljaju značajan rizik po ljudsko zdravlje i životnu sredinu, te se smatraju kontaminiranim. Neadekvatno upravljanje otpadom je dovelo do velikog broja lokacija koje su potencijalno kontaminirane usled neadekvatnog odlaganja otpada (Prokić, 2012). Evropska agencija za životnu sredinu (EEA) je procenila da je oko 2,5 miliona lokaliteta u zemljama članicama Evropske unije potencijalno ugroženo antropogenim aktivnostima koje se na njima odvijaju (EC JRC, 2014). Na osnovu sprovedenih istraživanja na kontaminiranim lokalitetima u Evropi, najznačajnije izvore kontaminacije predstavljaju

industrijske aktivnosti, tretman i odlaganje otpada (Prokić, 2012). Komunalni i industrijski otpad zauzima 38 % u ukupnoj kontaminaciji zemljišta, u Evropi (Panagos i dr., 2013).

Deponovanje otpada jeste metoda koja zahteva velike površine zemljišta, a ujedno je to i najzastupljenija metoda tretmana otpada u Republici Srbiji. Korelacija između degradacije zemljišta i upravljanja otpadom je očigledna. U Republici Srbiji, prema zvaničnim podacima (SEPA, 2015b), 45,48 % od ukupnog broja identifikovanih kontaminiranih lokacija predstavljaju divlje deponije komunalnog otpad. Vrednovanje sistema upravljanja otpadom u vezi sa stepenom degradacije zemljišta usled primene različitih sistema upravljanja otpadom u ovoj disertaciji sprovedeno je kroz indikatore "zakišeljavanje zemljišta" i "zauzimanje zemljišta".

Dodatno odabran je indikator "ukupni troškovi" koji predstavlja nezaobilazni faktor prilikom donošenja odluka. Troškovi sakupljanja, tretmana i odlaganja otpada predstavljaju značajan deo ukupnih komunalnih troškova i od izuzetnog su značaja za stanovništvo i kvalitet životne sredine.

Različiti indikatori, zastupljeni u istraživanjima i predstavljeni u publikacijama u međunarodnim naučnim časopisima iz oblasti LCA i upravljanja otpadom su dati tabeli 2.3.

Tabela 2.3 Indikatori zastupljeni u LCA analizama sistema upravljanja otpadom

Autor	Indikator
Klang i dr, 2008	Efekat staklene bašte, zakišeljavanje, eutrofikacija
Mohareb i dr, 2008	Potrošnja energije, emisije gasova sa efektom staklene bašte
Chester i dr, 2008	Potrošnja energije, emisije gasova sa efektom staklene bašte
Villeneuve i dr, 2009	Energetski bilans, emisije gasova sa efektom staklene bašte, acidifikacija
Blengini i Garbarino, 2010	Korišćenje zemljišta (zauzimanje zemljišta i transformacija zemljišta)
Mahmoudkhani i dr, 2014	Emisije gasova sa efektom staklene bašte
Zhang i Haung, 2014	Emisije gasova sa efektom staklene bašte
Kulczycka i dr, 2015	Klimatske promene, zakišeljavanje/eutrofikacija, ekotoksičnost, potrošnja fosilnih goriva

Iz tabele 2.3 se može uočiti da je indikator "zauzimanje zemljišta" zastupljen u veoma malom broju publikacija za razliku od indikatora "globalno zagrevanje", "zakišeljavanje" i "potrošnja energije" koji su korišćeni u gotovo svim studijama. "Zauzimanje zemljišta" je u direktnoj vezi sa uslovima deponovanja otpada i ovaj indikator može da bude izuzetno relevantan za sistem upravljanja otpadom.

## **2.2 Modul – inventar životnog ciklusa otpada**

Inventar životnog ciklusa podrazumeva prikupljanje podataka o vrsti i količini materijalnih, energetske i ekonomske ulaza za sve definisane procese životnog ciklusa otpada. Na osnovu podataka o korišćenju resursa tokom celokupnog životnog ciklusa otpada dobijaju se izlazi, odnosno podaci o vrstama i količinama materija koje se emituju u životnu sredinu.

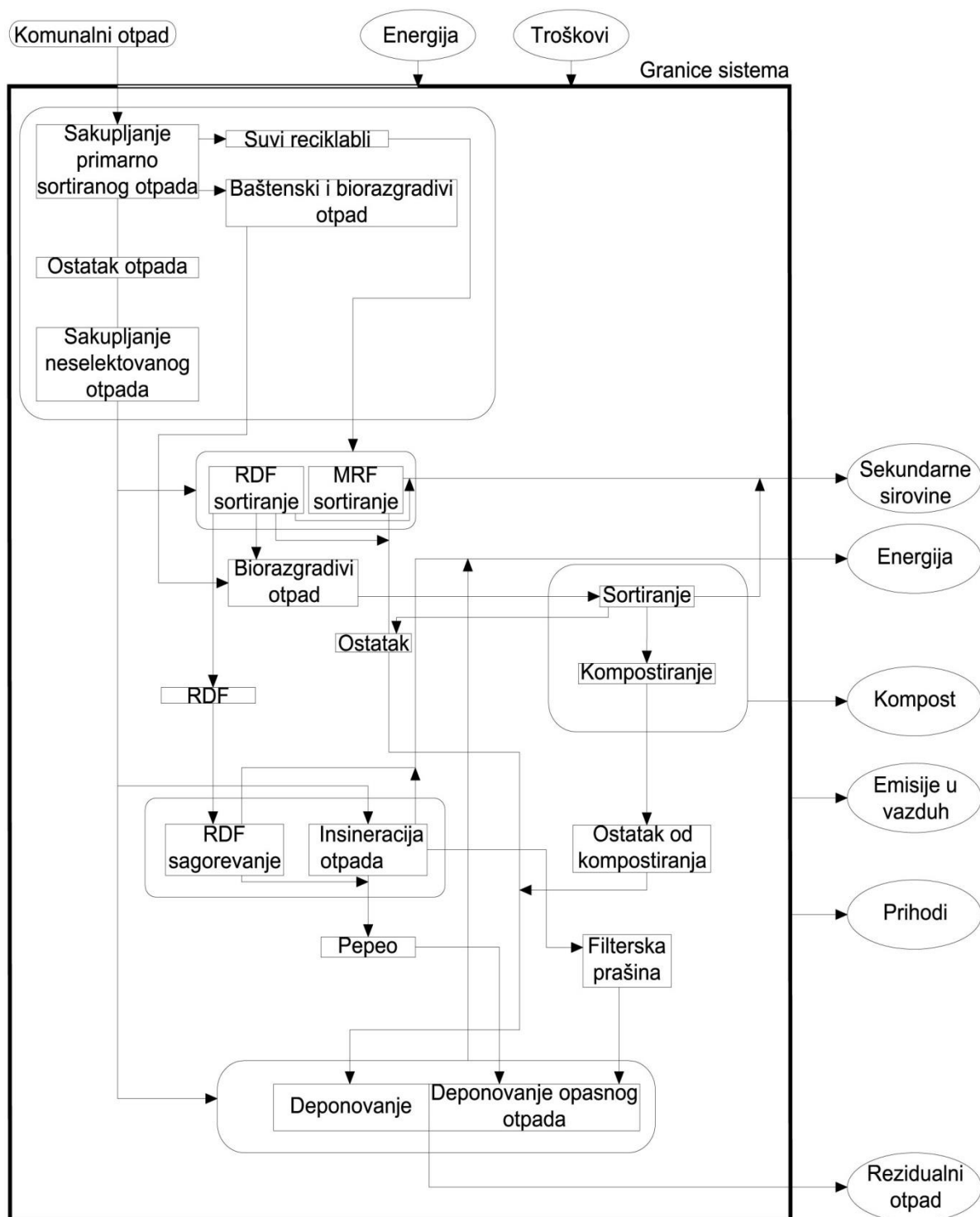
Modul za inventar životnog ciklusa komunalnog otpada je razvijen na bazi IWM-2 modela uz određene modifikacije i prilagođavanje faze inventara životnog ciklusa otpadu specifičnog sastava i analiziranom geografskom području. Model IWM-2 razvijen od strane korporacije Procter & Gamble's, sadrži niz podataka u vezi sa tretmanima otpada, energetske proizvodnje, ekstrakcijom sirovina, transportom itd. i omogućava razumevanje prednosti i nedostataka različitih opcija upravljanja otpadom iz perspektive životnog ciklusa. Podaci na kojima je baziran ovaj model su vrednosti dobijene na osnovu brojnih analiza, proračuna i normativa iz dostupnih baza podataka (CPM LCA) pojedinih zemalja EU (McDougall i dr, 2008). Svi relevantni ulazni i izlazni podaci se prikupljaju za svaki jedinični proces definisanog sistema proizvoda.

### **2.2.1 Struktura LCI modula**

U cilju detaljne analize sistema potrebno je razmotriti procese sistema proizvoda i identifikovati ulaze i izlaze iz svakog procesa. Povezivanjem svih procesa u svakoj fazi, a zatim i svih faza u životnom ciklusu, moguće je definisati ukupan sistem upravljanja otpadom.

*Materijalni ulaz* u sistem jeste čvrsti komunalni otpad koji se usmerava na različite tretmane otpada i koji napušta sistem nakon što je konvertovan u: sekundarne sirovine, energiju, kompost ili rezidualni ostatak koji se odlaže na deponiju kao inertan otpad. *Definisanje energetske i ekonomske ulaza* za izabrane procese zavisi od performansi opreme i tehnologija koje su uključene u sistem. Ovi podaci se izražavaju u odnosu na količinu tretiranog otpada (npr. generisana energija i emisije su date po toni otpada koji se spaljuje). Opšti model sistema proizvoda, sa granicama sistema upravljanja komunalnim otpadom, šematski je prikazan na slici 2.2.





Slika 2.2 Opšti model sistema proizvoda sa detaljnom strukturom LCI modula

Sekundarne sirovine ili kompost su materijali koji su izdvojeni iz otpadnog toka i predstavljaju materijal sa potencijalnom ekonomskom vrednošću. Obnavljanje ovih sirovina može da se odigrava u procesu reciklaže ili kompostiranja. Ukupna stopa reciklaže ili

obnavljanja predstavlja odnos količine materijala koji je izdvojen za reciklažu ili kompostiranje i ukupne količine komunalnog otpada koja ulazi u sistem (Villeneuve i dr, 2009). Važno je napomenuti da su u ovom modelu kroz reciklažu prikazane prednosti sekundarnih naspram primarnih sirovina. Procesuiranje sekundarnih sirovina u reciklirane proizvode nije obuhvaćeno granicama sistema, međutim, uštede i koristi nastale na osnovu količine izvojenih sekundarnih sirovina na postrojenju za sortiran jesu obuhvaće prilikom LCI proračuna i prikazane kroz reciklažu. Reciklirani materijali zamenjuju primarne materijale čime se ostvaruje ušteda resursa, energije i emisija (Mahmoudkhani i dr, 2014).

U ovom modelu ušteda energije nastala na osnovu količine izdvojenih materijala za reciklažu iznosi za: papir  $5,6 \text{ GJ t}^{-1}$ , staklo  $3,5 \text{ GJ t}^{-1}$ , metal  $18,6\text{-}174,6 \text{ GJ t}^{-1}$  i plastiku  $15,4\text{-}25,6 \text{ GJ t}^{-1}$ . Ove vrednosti su dobijene kao srednje vrednosti na osnovu podataka iz brojnih naučnih radova koji su dati u popisu literature. Posredstvom reciklaže ostvaruju se određene uštede kroz redukovanje emisija u vazduh, što je predstavljeno u tabeli 2.4.

Tabela 2.4 Ušteda emisija u vazduh i čvrstog otpada kroz reciklažu ( $\text{g t}^{-1}$ ) (McDougall, 2008)

Frakcija	Papir	Staklo	Metal	Plastika
Emisije				
Čestice	$-6,02 \cdot 10^2$	$7,84 \cdot 10^2$	$2,80 \cdot 10^2 - 2,11 \cdot 10^4$	$1,84 \cdot 10^3$
CO	$-8,90 \cdot 10^1$	$9,75 \cdot 10^2$	$1,42 \cdot 10^4 - 6,14 \cdot 10^4$	$3,20 \cdot 10^4$
CO <sub>2</sub>	$-1,99 \cdot 10^5$	$8,86 \cdot 10^4$	$1,88 \cdot 10^6 - 7,24 \cdot 10^6$	$1,02 \cdot 10^6 - 1,71 \cdot 10^6$
CH <sub>4</sub>	$-4,75 \cdot 10^2$	$6,00 \cdot 10^1$	$8,88 \cdot 10^3 - 1,59 \cdot 10^4$	
NO <sub>x</sub>	$-3,30 \cdot 10^2$	$-1,38 \cdot 10^3$	$2,83 \cdot 10^3 - 1,51 \cdot 10^4$	$5,61 \cdot 10^3 - 9,01 \cdot 10^3$
N <sub>2</sub> O	$-1,11 \cdot 10^1$	$4,60 \cdot 10^{-1}$	$5,05 \cdot 10^0 - 3,97 \cdot 10^1$	$-5,11 \cdot 10^1$
SO <sub>x</sub>	$2,32 \cdot 10^3$	$2,24 \cdot 10^3$	$3,50 \cdot 10^3 - 5,31 \cdot 10^4$	$-4,87 \cdot 10^3 - 4,00 \cdot 10^3$
HCl	$-1,56 \cdot 10^1$	$5,85 \cdot 10^1$	$-4,36 \cdot 10^1 - 6,78 \cdot 10^2$	
HF	$-1,78 \cdot 10^0$	$-1,52 \cdot 10^1$	$-3,80 \cdot 10^0 - 6,05 \cdot 10^1$	$9,90 \cdot 10^{-1}$
Amonijak	$-9,39 \cdot 10^4$	$8,95 \cdot 10^0$	$1,60 \cdot 10^{-1} - 1,32 \cdot 10^1$	
Kadmium	$-8,20 \cdot 10^{-4}$		$1,01 \cdot 10^{-1} - 2,59 \cdot 10^{-1}$	
Olovo	$-1,51 \cdot 10^{-2}$	$-4,72 \cdot 10^1$	$-4,88 \cdot 10^0 - 1,00 \cdot 10^0$	
Živa	$-3,47 \cdot 10^{-3}$	$-2,80 \cdot 10^{-4}$	$-4,00 \cdot 10^{-3} - 9,86 \cdot 10^{-2}$	
Nikl	$-1,34 \cdot 10^{-1}$	$9,45 \cdot 10^{-2}$	$1,55 \cdot 10^0 - 8,17 \cdot 10^0$	
Cink	$-6,34 \cdot 10^{-2}$	$1,03 \cdot 10^{-1}$	$1,00 \cdot 10^{-1} - 2,12 \cdot 10^0$	
Čvrsti otpad	$-1,98 \cdot 10^2$	$2,90 \cdot 10^1$	$5,68 \cdot 10^1 - 9,86 \cdot 10^2$	$-9,22 \cdot 10^1 - 1,84 \cdot 10^2$

*Energija* – opterećenje životne sredine javlja se ne samo usled korišćenja energije već i usled eksploatacije rude i proizvodnje nafte ili električne energije. Ukupna potrošnja energije, emisije i čvrsti otpad od proizvodnje električne energije variraju u zavisnosti od metoda i efikasnosti sistema. Republika Srbija se uglavnom oslanja na ugalj kada je u pitanju proizvodnja električne energije. U ukupnoj strukturi potrošnje primarne energije u Srbiji ugalj učestvuje sa 53 %, nafta sa 27 %, prirodni gas sa 13 % dok ostali primarni energenti u koje ubrajamo biogoriva i obnovljive izvore učestvuju 7 % (Rapačić, 2009). Opterećenja životne sredine usled primene 1 kWh električne energije iz različitih izvora energenata su predstavljena u tabeli 2.5. Ukupan energetski bilans predstavlja odnos proizvodnje energije u

sistemu i neophodne količine energije potrebne za funkcionisanje sistema upravljanja otpadom.

Tabela 2.5 Podaci inventara životnog ciklusa za generisanje električne energije (McDougall i dr. 2008)

	Jed.	Kameni uglj	Mrki uglj	Nafta	Prirodni gas	Nuklearna	Hidro
Efikasnost	%	28,5	24,8	27,1	34,2	27,2	76,5
Emisije u vazduh							
Čestice	g	$1,73 \cdot 10^0$	$2,02 \cdot 10^0$	$3,76 \cdot 10^{-1}$	$6,52 \cdot 10^{-2}$	$1,79 \cdot 10^{-2}$	
CO	g	$1,25 \cdot 10^{-1}$	$1,33 \cdot 10^{-1}$	$2,23 \cdot 10^{-1}$	$2,67 \cdot 10^{-1}$	$5,65 \cdot 10^{-3}$	
CO <sub>2</sub>	g	$9,79 \cdot 10^2$	$1,35 \cdot 10^3$	$8,80 \cdot 10^2$	$7,67 \cdot 10^2$	$5,71 \cdot 10^0$	
CH <sub>4</sub>	g	$4,26 \cdot 10^0$	$2,62 \cdot 10^{-1}$	$1,10 \cdot 10^0$	$1,76 \cdot 10^0$	$1,38 \cdot 10^{-2}$	
NO <sub>x</sub>	g	$2,52 \cdot 10^0$	$1,97 \cdot 10^0$	$1,96 \cdot 10^0$	$1,49 \cdot 10^0$	$1,99 \cdot 10^{-2}$	
N <sub>2</sub> O	g	$6,06 \cdot 10^{-3}$	$6,86 \cdot 10^{-3}$	$1,94 \cdot 10^{-2}$	$5,58 \cdot 10^{-3}$	$1,52 \cdot 10^{-4}$	
SO <sub>x</sub>	g	$4,02 \cdot 10^0$	$6,86 \cdot 10^0$	$9,30 \cdot 10^0$	$2,65 \cdot 10^{-1}$	$2,14 \cdot 10^{-2}$	
HCL	g	$3,00 \cdot 10^{-1}$	$2,91 \cdot 10^{-1}$	$9,69 \cdot 10^{-3}$	$6,19 \cdot 10^{-4}$	$3,61 \cdot 10^{-4}$	
HF	g	$3,19 \cdot 10^{-2}$	$2,28 \cdot 10^{-2}$	$9,73 \cdot 10^{-4}$	$5,28 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-4}$	
Hlorovani HC	g	$1,06 \cdot 10^{-8}$	$1,04 \cdot 10^{-8}$	$1,55 \cdot 10^{-9}$	$1,55 \cdot 10^{-9}$	$7,61 \cdot 10^{-7}$	
Amonijak	g	$5,84 \cdot 10^{-3}$	$5,05 \cdot 10^{-4}$	$7,56 \cdot 10^{-4}$	$1,94 \cdot 10^{-4}$	$1,46 \cdot 10^{-4}$	
Kadmium	g	$4,66 \cdot 10^{-6}$	$2,16 \cdot 10^{-5}$	$5,96 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-7}$	$1,23 \cdot 10^{-7}$	
Olovo	g	$1,83 \cdot 10^{-4}$	$4,94 \cdot 10^{-5}$	$5,18 \cdot 10^{-4}$	$3,61 \cdot 10^{-6}$	$7,95 \cdot 10^{-7}$	
Mangan	g	$1,11 \cdot 10^{-4}$	$3,83 \cdot 10^{-5}$	$1,58 \cdot 10^{-4}$	$2,96 \cdot 10^{-6}$	$1,94 \cdot 10^{-7}$	
Živa	g	$3,85 \cdot 10^{-5}$	$5,03 \cdot 10^{-5}$	$2,79 \cdot 10^{-6}$	$1,46 \cdot 10^{-5}$	$1,46 \cdot 10^{-7}$	
Nikl	g	$4,64 \cdot 10^{-4}$	$6,63 \cdot 10^{-5}$	$4,52 \cdot 10^{-3}$	$4,88 \cdot 10^{-6}$	$3,98 \cdot 10^{-6}$	
Cink	g	$3,50 \cdot 10^{-4}$	$3,35 \cdot 10^{-4}$	$3,79 \cdot 10^{-4}$	$5,82 \cdot 10^{-6}$	$9,48 \cdot 10^{-6}$	
Čvrsti otpad	g	$2,20 \cdot 10^2$	$1,09 \cdot 10^2$	$1,65 \cdot 10^1$	$2,71 \cdot 10^1$	$4,00 \cdot 10^0$	

Upotreba naftnih derivata i prirodnog gasa rezultira između ostalog i emisijama brojnih polutunata u vazduh. U sistemu upravljanja otpadom potrošnja benzinskog i dizel goriva, uglavnom se pripisuje automobilima i teretnim vozilima, a na osnovu vrste korišćenog goriva izračunavaju se emisije po litri goriva. U tabeli 2.6 prikazana su opterećenja usled proizvodnje i upotrebe benzina, dizela i prirodnog gasa.

Tabela 2.6 Podaci inventara životnog ciklusa za energente (McDougall i dr. 2008)

	Jedinica	Prirodnigas (m <sup>3</sup> )	Benzin (l)	Dizel (l)
Toplotna energija	GJ	0,04020	0,03435	0,038136
Efikasnost	%	80,2	63,6	75,9
Emisije u vazduh				
Čestice	g	$1,23 \cdot 10^{-1}$	$4,98 \cdot 10^{-1}$	$1,24 \cdot 10^0$
CO	g	$9,70 \cdot 10^{-1}$	$6,50 \cdot 10^1$	$1,65 \cdot 10^1$
CO <sub>2</sub>	g	$2,29 \cdot 10^3$	$2,99 \cdot 10^3$	$3,02 \cdot 10^3$
CH <sub>4</sub>	g	$6,46 \cdot 10^0$	$3,94 \cdot 10^0$	$3,67 \cdot 10^0$
NO <sub>x</sub>	g	$2,34 \cdot 10^0$	$2,89 \cdot 10^1$	$5,43 \cdot 10^1$
N <sub>2</sub> O	g	$2,47 \cdot 10^{-2}$	$2,32 \cdot 10^{-1}$	$7,28 \cdot 10^{-2}$
SO <sub>x</sub>	g	$1,29 \cdot 10^0$	$4,90 \cdot 10^0$	$4,54 \cdot 10^0$
HCL	g	$1,43 \cdot 10^{-2}$	$1,34 \cdot 10^{-2}$	$6,17 \cdot 10^{-3}$
HF	g	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-3}$	$6,44 \cdot 10^{-4}$
Hlorovani HC	g	$5,04 \cdot 10^{-8}$	$3,38 \cdot 10^{-8}$	$1,73 \cdot 10^{-8}$
Amonijak	g	$2,88 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-4}$	$8,12 \cdot 10^{-5}$
Kadmium	g	$1,72 \cdot 10^{-6}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$	$2,94 \cdot 10^{-5}$
Olovo	g	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$3,11 \cdot 10^{-3}$	$1,61 \cdot 10^{-4}$
Mangan	g	$7,18 \cdot 10^{-6}$	$4,81 \cdot 10^{-6}$	$2,47 \cdot 10^{-6}$
Živa	g	$7,25 \cdot 10^{-5}$	$8,48 \cdot 10^{-6}$	$3,02 \cdot 10^{-6}$
Nikl	g	$9,94 \cdot 10^{-5}$	$2,60 \cdot 10^{-3}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$
Cink	g	$3,43 \cdot 10^{-5}$	$8,25 \cdot 10^{-4}$	$9,66 \cdot 10^{-4}$
Čvrsti otpad	g	$3,00 \cdot 10^0$	$5,30 \cdot 10^0$	$5,70 \cdot 10^0$

*Emisije u vazduh* koje se javljaju iz pojedinačnih procesa, a naročito iz celokupnog sistema upravljanja otpadom su brojne. Zbog toga je potrebno definisati koje emisije će se uzeti u obzir, a zatim iste posmatrati kroz svaki proces. Lista emisija u vazduh koje su uključene u ovaj LCI modul data je u potpoglavlju 2.2.3.

*Ukupni troškovi* obračunati su na osnovu celokupnog sistema upravljanja otpadom. Prihodi se ostvaruju od prodaje sekundarnih sirovina, komposta ili energije. Oduzimanjem prihoda od troškova sistema dobija se iznos troškova operativnosti sistema.

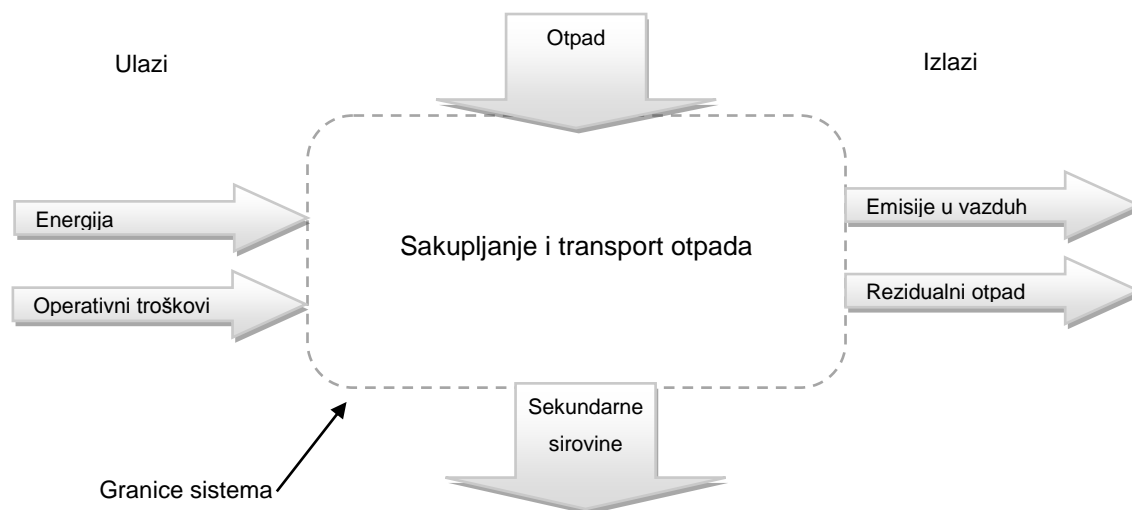
*Rezidualna količina otpada* predstavlja parametar koji opisuje količine konačnog i/ili stabilizovanog otpada koji se odlaže na deponiju iz perspektive životnog ciklusa. Ovaj parametar uzima u obzir sve benefite nastale usled reciklaže ili nekog drugog tretmana otpada. Pomoću *rezidualne količine otpada* može se odrediti stopa preusmeravanja otpada sa deponije (stopa diverzije sa deponije, %) koja odražava odnos ukupne količine otpada procesuirane u sistemu i deponovane količine otpada (*Stypka i Flaga, 2005*). Količine otpada koje se izdvajaju iz ukupne količine otpada i preusmeravaju na tretman otpada, bilo u cilju dobijanja materijala ili energije, prestaju da budu otpad i ulaze u materijalni ili energetski tok.

## **2.2.2 Procesi obuhvaćeni LCI modulom**

### **2.2.2.1 Sakupljanje i transport otpada**

Proces sakupljanja otpada predstavlja važan segment upravljanja otpadom. Pod pojmom sakupljanja otpada se, pored postupka uklanjanja otpada sa mesta njegovog nastanka, podrazumeva i postupak njegovog transporta od mesta nastanka do mesta tretmana ili konačnog odlaganja. Značajan je kako zbog očuvanja zdravlja ljudi i životne sredine, tako i zbog estetskih i finansijskih razloga (*Prokić, 2015*).

Sakupljanje otpada predstavlja vezu između generatora otpada i sistema za tretman otpada. Operacije sakupljanja zavise od stepena sortiranja. Način sakupljanja bitno utiče na kvalitet reciklabilnih sirovina, komposta i energije koja se može proizvesti u sistemu upravljanja otpadom. Postoje razni načini sakupljanja otpada: sakupljanje posebno izdvojenih frakcija, sakupljanje neselektovanog otpada itd. (*Boer i dr, 2007*). Funkcija sistema sakupljanja i transporta otpada jeste sakupiti otpad iz domaćinstva i otpad iz komercijalnog sektora i transportovati ga do postrojenja za sortiranje, tretman i odlaganje otpada. Za vreme sprovođenja ovih aktivnosti nastaju opterećenja životne sredine koja se odnose na transport, koji zahteva potrošnju energije i doprinosi značajnim emisijama, ali i druga opterećenja koja nastaju usled upotrebe i proizvodnje plastičnih kesa (koje se koriste za sakupljanje otpada) i usled čišćenja i pranja kontejnera, posuda, kanti i vozila za sakupljanje otpada. Granice, ulazi i izlazi sistema sakupljanja otpada prikazane su na slici 2.3.



Slika 2.3 Granice sistema za proces sakupljanja otpada

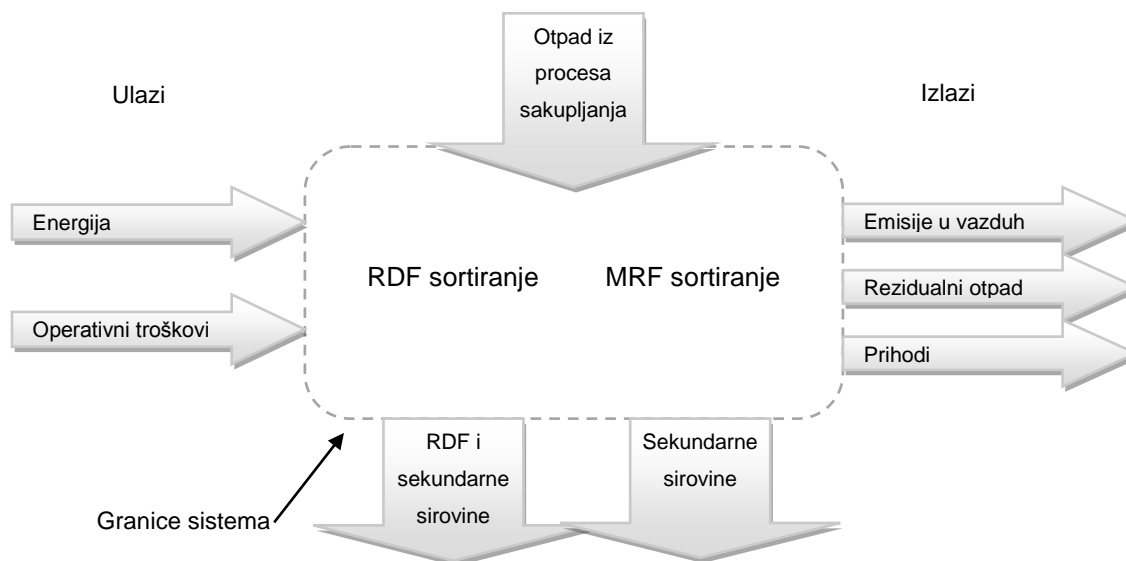
Potrošnja goriva i opterećenja usled transporta zavise: od broja domaćinstava koja koriste ove usluge, količine sakupljenog otpada, gustine naseljenosti, udaljenosti zone u kojoj se sakuplja otpad od postrojenja za tretman otpad i prosečne dužine puta koju pređu vozila za sakupljanje otpada. Podaci o količini sakupljenog otpada omogućavaju izračunavanje prosečne potrošnje goriva po toni otpada.

Troškovi sakupljanja otpada variraju u zavisnosti od lokalnih uslova. Podaci o troškovima sakupljanja obuhvataju i prodaju sakupljenih i izdvojenih sirovina. Ovaj podatak varira sa tržišnom cenom materijala i značajan je prilikom komparacije troškova različitih sistema za sakupljanje otpada.

#### 2.2.2.2 Centralno sortiranje

Sortiranje na centralnom postrojenju (sekundarna separacija) može da bude ručno ili automatizovano. Najjednostavnija tehnika sortiranja jeste ručno sortiranje i izdvajanje željenih/ciljanih materijala sa pokretne trake. Automatizovane operacije mogu da budu: mašinsko razdvajanje (fizičko odvajanje komponenti), separacija na osnovu veličine, oblika ili težine materijala i separacija na osnovu osobina materijala (magnetizma, boje...). Neke od brojnih tehnologija iz ove oblasti su: klasifikacija pomoću vazduha, flotacija, magnetna separacija, elektro-magnetna separacija i elektrostatička separacija.

LCI modul obuhvata dva tipa sortiranja: izdvajanje i/ili baliranje reciklabilnih sirovina (*MRF*, eng. *Materijal Recovery Facility*) i izdvajanje sirovina iz kojih može da se dobije energija (*RDF*, eng. *Refuse-Derived Fuel*) (slika 2.4).



Slika 2.4 Granice sistema za centralno sortiranje otpada

Cilj MRF sortiranja jeste izdvajanje korisnih sirovina. Mnoge sirovine se recikliraju iz razloga što su reciklabilne, a ne zato što je to pogodno po životnu sredinu ili ekonomski isplativo, što ne predstavlja odgovarajući pristup. Održivi sistem upravljanja otpadom podrazumeva razmatranje procesa reciklaže i u ekonomskom smislu i u smislu životne sredine. Postoje različite konstrukcije postrojenja za izdvajanje reciklabilnih sirovina. Postrojenje može da bude projektovano tako da prihvata neselektovan otpad iz domaćinstva ili sortirane reciklabile, a nivo kontaminacije se kreće od 5 do 50 % u odnosu na ulazne količine otpada. Na postrojenju koje prihvata neselektovan otpad sprovodi se sortiranje i baliranje, dok se na postrojenju koje prihvata prethodno sortirane reciklabile sprovodi uklanjanje nečistoća, odnosno drugih frakcija i baliranje.

Prosečna potrošnja energije za ovu vrstu sortiranja u velikoj meri varira u zavisnosti od različitih sistema sortiranja, jer ne postoji standard za ovakav proces. Što je više razdvojenih materijala, to je veća potrošnja energije. Potrošnja energije raste i sa porastom nivoa automatizovanosti procesa sortiranja.

RDF sortiranje podrazumava izdvajanje gorivih frakcija iz otpada. Energetska (kalorijska) vrednost čvrstog otpada je funkcija sadržaja ugljenika u datom materijalu. Širok spektar materijala sadržanih u čvrstom komunalnom otpadu ima značajnu kalorijsku vrednost te može samostalno da gori uz oslobađanje korisne energije. Zbog prisustva vlage u otpadu, koja nepovoljno utiče na energetske potencijal otpada, zahteva se obrada radi minimiziranja sadržaja vlage čime se značajno može poboljšati kvalitet goriva i efikasnost sagorevanja. RDF sortiranje podrazumeva automatizovano razdvajanje sagorivih i nesagorivih frakcija u

čvrstom otpadu. Izdvojene sagorive komponente se zatim šalju na doradu (formiranje malih grudvica ili usitnjavanje) (Koneczny i dr, 2007).

U ovom modulu RDF sortiranje je deo RDF tretmana otpada, ali i biološkog tretmana zbog toga što se tokom RDF sortiranja izdvajaju i organske frakcije koje se sprovode na kompostiranje.

RDF proces sortiranja se deli na dva osnovna procesa: proces dobijanja sabijenih paketa ili briketa (gusti RDF, eng. *densified RDF-dRDF*) i proces dobijanja neobrađenog goriva iz otpada (grubi RDF, eng. *coarse RDF-cRDF*) (EC WRc, 2003). U procesu dobijanja briketa proizvode se grudvice slične po veličini i obliku, koje se suše i dobija se relativno stabilna masa koja može da se transportuje i skladišti kao čvrsto gorivo. Dobijene grudvice mogu da se spaljuju same ili u kombinaciji sa ugljem. Ovaj proces obuhvata sušenje i formiranje peleta, što zahteva dosta energije.

Operativne troškove za sortiranje i prosečnu cenu sortiranja otpada je teško predvideti, jer ne postoji standardni MRF proces. Šeme koje podrazumevaju sakupljanje neselektovanih reciklabila otpada, obuhvataju manje troškove u fazi sakupljanja, ali verovatno veće troškove u MRF procesu. U sistemima koji obuhvataju primarnu separaciju troškovi sakupljanju su veći, a MRF proces je jednostavniji i troškovi su manji. Drugi ekonomski faktor koji treba uzeti u obzir jeste prihod dobijen od prodaje izdvojenih materijala.

### 2.2.2.3 Biološki tretman otpada – kompostiranje

Kompostiranje je kontrolisana razgradnja organskih materija u toplom, vlažnom okruženju, delovanjem bakterija i drugih mikroorganizama. Organski sastav može biti komunalni čvrsti otpad, mulj iz tretmana (komunalnih) otpadnih voda, poljoprivredni otpad i drugi zeleni otpad ili kombinacija ovih materijala sa drugim organskim materijalima (Jovičić i dr, 2009). Procesom kompostiranja biodegradabilnog otpada značajno se smanjuje visoko organsko opterećenje određenih vrsta otpada. Ovi procesi umanjuju emisije gasova sa efektom staklane bašte zarobljavanjem organskog ugljenika u zemljište, poboljšavajući fizičke karakteristike zemljišta, i dodavajući zemljištu nutrijente.

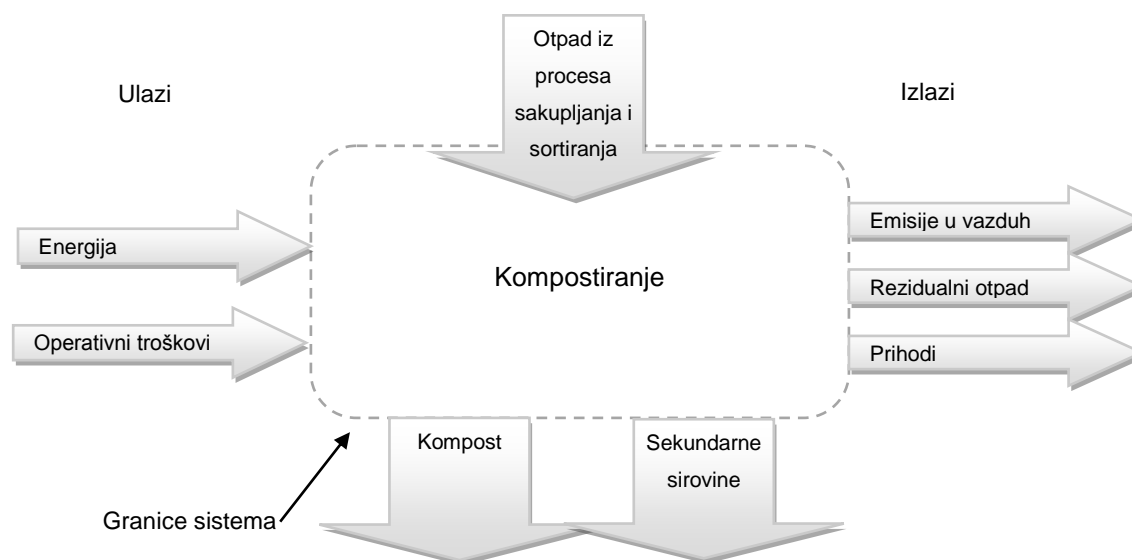
Kompostiranje se definiše kao kontrolisano biološko aerobno prevođenje organske materije iz otpada u stabilniji materijal. Krajnji produkti kompostiranja su ugljen-dioksid, voda, minerali i stabilizovana organska materija (kompost). U poređenju sa netretiranim komunalnim otpadom, konačni proizvod – kompost (materijal sličan humusu) je bezbedniji, estetski privlačniji, sa znatno manje neprijatnog mirisa.

Ovaj biološki tretman vlažne organske materije je izuzetno podoban i značajan kao predtretman za neke druge tretmane otpada. Prisustvo visokog sadržaja vlage u tretmanima otpada kao što su spaljivanje i deponovanje može da prouzrokuje određene probleme, npr.

smanjenje energetske vrednosti ili povećanje količine procednih voda. Biološkim tretmanom sadržaj vlage u otpadu se znatno umanjuje. Biološkim tretmanom otpada se postiže: inhibicija bioloških i hemijskih procesa unutar otpada čime se sprečava formiranje deponijskih gasova i procednih voda, imobilizacija kontaminanata u otpadu koji je predviđen za deponovanje kako bi se smanjilo opterećenje procednih voda, veća gustina kompaktovanja koja produžava životni vek i smanjuje sleganje deponije.

Prednosti kompostiranja su sledeće: krajnji proizvod može imati izvesnu tržišnu vrednost, koja treba da rezultira u povraćaju izvesnog dela uložениh sredstava; prostor koji je potreban za lokaciju postrojenja je relativno mali, masa dobijenog proizvoda manja je od mase ulazne sirovine, što će bez obzira da na upotrebnu vrednost povoljno uticati na troškove daljeg upravljanja ovim tokom. Sa druge strane, ovakva postrojenja mogu zahtevati i velika kapitalna ulaganja. Tržište za dobijeni proizvod nije uvek osigurno, a i skladištenje krajnjeg proizvoda može biti problem za sebe. Iskustva pokazuju da iako se organski materijal sa deponije može uspešno transformisati u kompost, kontaminacija (posebno od čestica stakla, plastike i metala) utiče na njegov kvalitet i mogućnost daljeg plasmana na tržištu. Iz tog razloga se organski otpad za kompostiranje mora razdvajati na izvoru i pre odlaganja na deponiju (Vujić i dr, 2012).

Emisije koje proizlaze iz kompostiranja su: amonijak, azot-suboksid, metan, lako isparljiva organska jedinjenja i ugljen-dioksid (Kirkeby, 2005, Boldrin i dr, 2011). Na slici 2.5 su date granice sistema u procesu kompostiranja.



Slika 2.5 Granice sistema za biološki tretman otpada, kompostiranje

Kvalitet komposta jeste ključni faktor koji određuje da li je izlaz iz procesa biološkog tretmana vredan proizvod ili ostatak. Ako je cilj da se proizvede kvalitetan kompost, onda je



poželjno da se uspostavi sistem odvojenog sakupljanja organskog otpada (zeleni, baštenski otpad i sl.).

Ekonomski troškovi uključuju troškove biološkog tretmana i naknadu od prodaje komposta.

#### 2.2.2.4 Odlaganje otpada na deponije

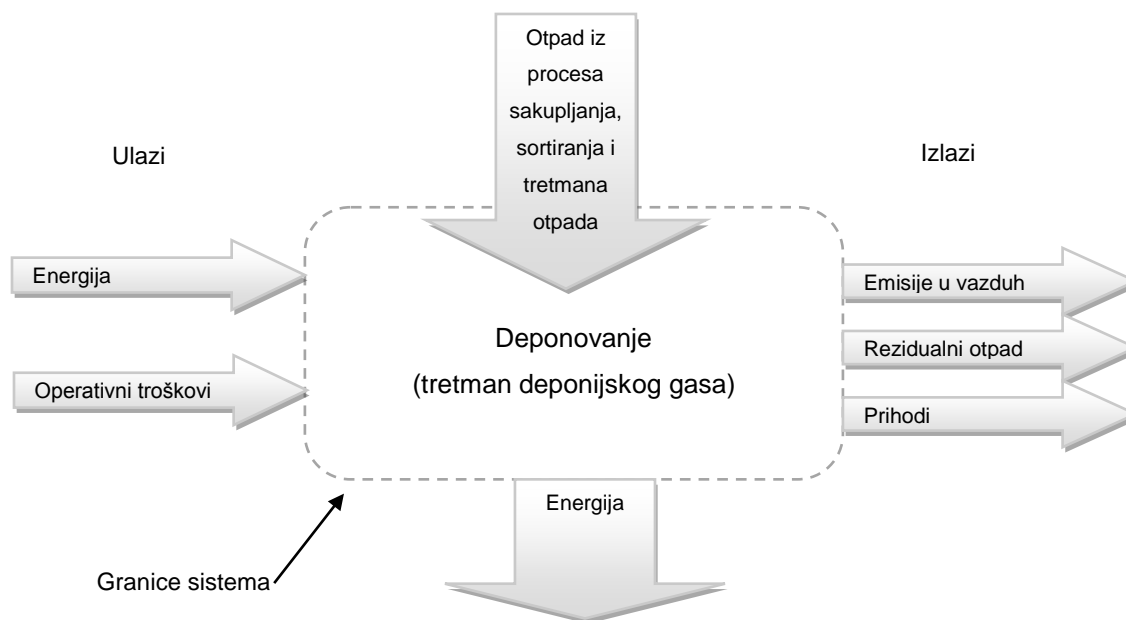
Sanitarna deponija predstavlja kontrolisano rešenje za konačno odlaganje otpada. Glavni cilj deponovanja otpada je dugoročno održivo odlaganje otpada u pogledu zaštite ljudskog zdravlja i životne sredine. Ova opcija jeste jedina opcija konačnog odlaganja. Druge metode, kao što su biološki ili termički tretman, proizvode ostatak otpada nakon tretmana koji potom mora da bude odložen na deponiju. Na deponijama dolazi do razlaganja deponovanog otpada pod uticajem mikroorganizama i do generisanja deponijskog gasa, koji u sebi dominantno sadrži metan i ugljen dioksid. Izlazi su u ovom slučaju, pored deponijskog gasa i stabilizovani čvrsti otpad (rezidualni otpad) kao i procedne deponijske vode. Ovaj relativno nekontrolisani proces počinje da se odigrava nekoliko godina nakon deponovanja otpada i može da traje decenijama nakon zatvaranja deponije.

Deponovanje je opcija odlaganja otpada koja zahteva veliki prostor. Ukoliko posmatramo deponije za ostatke termičkog tretmana, odnosno insineracije, uticaji na životnu sredinu su uzrokovani uglavnom generisanjem i emisijom procednih voda, dok generisanje, a samim tim i emitovanje deponijskog gasa nije prisutno.

Sanitarne deponije podrazumevaju proces odlaganja sabijenog otpada koji se na kraju svakog operativnog dana prekriva slojem zemljišta. Emisije koje nastaju pri ovom procesu (deponijski gas i deponijske procedne vode) je neophodno kontrolisati i tretirati što je duže moguće. Deponovanje se može smatrati i tehnologijom dobijanja energije iz otpada ukoliko se deponijski gas sakuplja i eksploatiše njegov energetski potencijal. Sastav deponijskog gasa predstavlja smešu metana (45-60 %), ugljen dioksida (40-60 %), azota (2-5 %), kiseonika (0,1-1 %) i ostalih gasova u manjim količinama (*Vujčić i dr. 2012*).

Nekontrolisano kretanje deponijskog gasa može da dovede do ozbiljnih posledica po životnu sredinu (metan je gas sa efektom staklene bašte) i da ugrozi bezbednost lokalnog stanovništva i radnika na deponiji. Deponijske procedne vode se generišu usled razlaganja organskih frakcija i perkolacije atmosferskih voda kroz deponovan otpad. Supstance koje nastaju usled razgradnje biodegradabilnih frakcija otpada putem filtracije atmosferskih voda, kroz telo deponije, vremenom dospevaju u dublje slojeve zemljišta. Količina i sastav deponijskih procednih voda zavisi od mnogih faktora, uključujući i prirodu otpada (količinu organske materije, amonijaka, teških metala i sl.) konstrukciju deponije kao i godišnju količinu padavina u regionu (*Amor i dr, 2015*).

Posledice po životnu sredinu nastale usled konačnog odlaganja čvrstog otpada odražavaju se i preko potrošnje zemljišta. Ako je prosečna dubina otpada na deponiji 20 m moguće je izračunati zapreminu prostora koja je potrebna za odlaganje otpada (Stypka and Flaga, 2005). Ulazi i izlazi za proces odlaganja otpada na deponiju dati su na slici 2.6.



Slika 2.6 Granice sistema za deponiju

Ekonomski troškovi deponovanja otpada variraju širom Evrope. Ovi troškovi zavise od cene zemljišta, karakteristika deponije i projektovanih mera zaštite, inženjerskih zahteva i radne snage. Troškovi deponovanja treba da obuhvataju: cenu zemljišta, kapitalne troškove gradnje, operative troškove, troškove zatvaranja i dugoročnog praćenja (monitoringa) posle zatvaranja.

#### 2.2.2.5 Termički tretman otpada

Termički tretman otpada/insineracija se može posmatrati kao predtretman otpada pre konačnog odlaganja ili kao postupak dobijanja energije iz otpada. Sagorevanjem čvrstog otpada mogu se ispuniti četiri cilja: redukcija zapremine, stabilizacija, sterilizacija otpada i dobijanje energije (Lam i dr, 2010).

Proces insineracije se može podeliti u dve osnovne grupe: 1) insineratore za sagorevanje komunalnog čvrstog otpada u kojima se vrši direktno sagorevanje otpada bez prethodnog tretmana, odnosno neselektovanog otpada i 2) ostale tipove insineratora u kojima se otpad spaljuje uz prethodnu pripremu (insineracija RDF-a)(tabela 2.7).

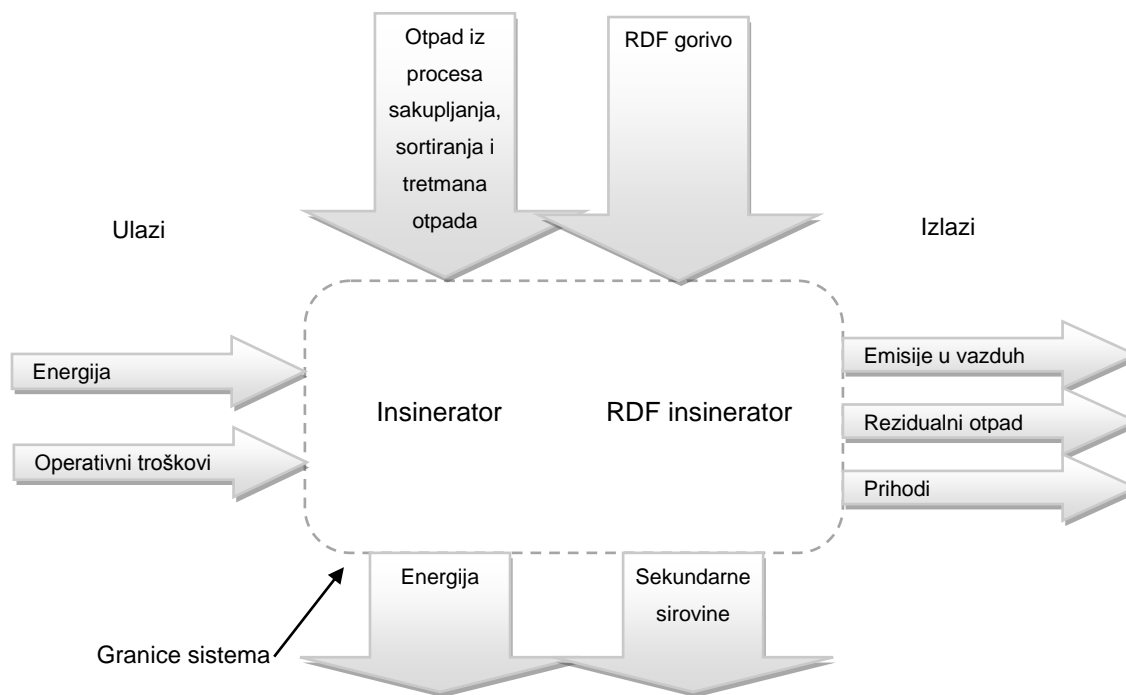
Tabela 2.7 Opcije termičkog tretmana otpada

Tip insineracije	Karakteristike
Insineracija neselektovanog otpada (mass-burn)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Smanjuje količinu otpada za konačno odlaganje;</li> <li>• Proizvodi stabilan ostatak koji nakon deponovanje neće generisati deponijski gas;</li> <li>• Visok nivo emisija u vazduh iz procesa sagorevanja, zbog čega se zahteva oprema za kontrolu i tretman emisija.</li> </ul>
Insineracija RDF-a	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koristi zapaljiv deo otpadnog toka za dobijanje energije;</li> <li>• RDF ima veću kalorijsku vrednost od neselektovanog čvrstog komunalnog otpada;</li> <li>• dRDF pogodan energent koji se može skladištiti, ne zahteva neposredno spaljivanje;</li> <li>• Proizvodi manje pepela.</li> </ul>

Insineracija čvrstog komunalnog otpada ili tehnologija sagorevanja mase jeste sistem koji prihvata sav čvrsti otpad koji nije uopšte ili je u maloj meri podvrgnut prethodnim procesima selektovanja i predtretmana otpada kao što su procesi izdvajanja kabastog otpada. Insinerator za sagorevanje mase podrazumeva peć sa pokretnim kosim rešetkama. Neselektovani čvrsti otpad se doprema do prihvatne hale, a pokretne rešetke obezbeđuju kretanje otpada kroz peć i spuštanje nesagorivog ostatka u komoru za pepeo.

Ključni parametri za sagorevanje organskih polutanata su temperatura i vreme zadržavanja. Minimalna kontrolisana temperatura mora biti 850°C, sa vremenom zadržavanja od najmanje dve sekunde u cilju potpune degradacije štetnih organskih jedinjenja tokom sagorevanja. Takođe neophodno je da svi insineratori budu opremljeni odgovarajućom opremom za prečišćavanje i kontrolu izduvnih gasova. Elektrostatički taložnici za kontrolu emisije čestica, skruber za kontrolu kiselosti gasova, filter i adsorberi za kontrolu dioksina i jedinicu za selektivnu katalitičku redukciju za kontrolu emisija NO<sub>x</sub>. Jedinjenja organskog ugljenika se prilikom insineracije oksidišu u CO<sub>2</sub> i vodenu paru, koji se emituju u atmosferu preko izduvnih gasova. Pepeo koji nastaje kao produkt sagorevanja nema kapaciteta da formira procedne vode i deponijski gas nakon odlaganja na deponiju, ali sadrži visoke koncentracije teških metala (*Stanisavljević, 2012*).

Insineraciji RDF-a prethodi postupak sortiranja, opisan u potpoglavlju 2.2.2.3, a sam proces spaljivanja se sprovodi u RDF insineratorima ili drugim postrojenjima, kao što su cementare, termoelektrane i slično, gde se usitnjeni čvrsti komunalni otpad može koristiti kao zamena za ugalj. Kada su u pitanju emisije u vazduh, zahtevaju se visoko efikasni sistemi koji podrazumevaju tretiranje dimnih gasova suvim skruberima, vrećastim filterima i selektivnim nekatalitičkim redukcionim sistemima. Granice sistema za termički tretman otpada prikazane su na slici 2.7.



Slika 2.7 Granice sistema za termički tretman otpada

Ekonomski troškovi insineracije otpada se, generalno, smatraju visokim, zbog visokih kapitalnih investicija. Glavni faktori koji utiču na visinu troškova po toni ulaza su: kapacitet peći, instalirana oprema i nivo prečišćavanja gasova, da li postoji rekuperacija energije i da li postoje ekonomski instrumenti za podsticanje proizvodnje energije iz otpada i za podsticanje nedeponovanja otpada.

### 2.2.3 Izlazi iz LCI

Izlazni parametri inventara se mogu upoređivati za različite sisteme upravljanja otpadom i u zavisnosti od cilja studije mogu se koristiti za određivanje slabosti ili prednosti sistema.

Naredna tabela (tabela 2.8) daje prikaz izlaznih parametara inventara životnog ciklusa otpada koji su, u ovom istraživanju, korišćeni u svojstvu LCI indikatora vrednovanja sistema i koji doprinose odabranim LCIA indikatorima vrednovanja sistema upravljanja komunalnim otpadom.

Tabela 2.8 Rezultati inventara životnog ciklusa

Parametar	Merna jedinica
Potrošnja/proizvodnja energije	GJ
Emisije u vazduh	
CO <sub>2</sub>	kg ili tona
CH <sub>4</sub>	kg ili tona
N <sub>2</sub> O	kg ili tona
SO <sub>x</sub>	kg ili tona
NO <sub>x</sub>	kg ili tona
NH <sub>3</sub>	kg ili tona
Rezidualne količine otpada	m <sup>3</sup>
Ukupni troškovi	€/godišnje

"Potrošnja/proizvodnja energije" i "ukupni troškovi" su indikatori koji se određuju nakon LCI faze a ostali parametri prikazani u tabeli 2.7 su neophodni za određivanje LCIA indikatora i predstavljaju ulazne parametre za LCIA proračun.

### 2.2.3.1 Potrošnja/proizvodnja energije

S obzirom na trend potrošnje i količine rezervi uglja, nafte i prirodnog gasa u svetu, očuvanje neobnovljivih energetske resursa jeste nezaobilazni faktor kada je u pitanju procena održivosti sistema upravljanja otpadom. Zabrinutost zbog očuvanja resursa podstiče iznalaženje mera za smanjenje količina nastalog otpada, kao i načina za povraćaj materijala ili dobijanje energije iz otpada. Iskorišćenje otpada, kao resursa, doprinosi smanjenju korišćenja obnovljivih i neobnovljivih resursa. Spaljivanjem otpada dobija se energija i smanjuje potrošnja fosilnih goriva. Upravljanje otpadom je nesumnjivo u vezi sa načinom kako koristimo resurse. Osnove "Tematske strategije EU o održivom korišćenju prirodnih resursa" su postavljene na tvrdnji da adekvatno upravljanje otpadom smanjuje pritisak na prirodne resurse i redukuje zagađenje u vezi sa ekstrakcijom i preradom istih (*Strategija, 2012*). Zavisnost od neobnovljivih izvora može se smatrati neodrživom na duži rok. Obnovljivi izvori, s druge strane, mogu da ponude energiju kontinuirano i u skladu sa principima održivog upravljanja, a njihova upotreba u celini stvara manje pritiske na životnu sredinu. Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2015. godine u okviru trećeg – posebnog prioriteta, koji obuhvata Programe selektivnog korišćenja novih obnovljivih izvora energije i Programe novih energetski efikasnijih i ekološko prihvatljivijih tehnologija, posebno razmatra i energetske iskorišćenje otpada (*Strategija, 2010*). Proizvodnja energije prilikom određenog tretmana otpada obezbeđuje uštedu energije koja je možda proizvedena iz nekih drugih izvora.

Za indikator "potrošnja/proizvodnja energije" koriste se rezultati dobijeni u LCI modulu koji se odnose na potrošnju i proizvodnju energije u celokupnom životnom ciklusu otpada u vidu električne energije (KWh), dizel goriva (l) i prirodnog gasa (m<sup>3</sup>).

U životnom ciklusu komunalnog otpada potrošnja i proizvodnja energije nastaju u procesu sakupljanja i transporta u vidu potrošnje goriva, u tretmanima otpada (sortiranje, biološki, termički tretman i reciklaža) u vidu električne energije, prirodnog gasa i nafnih derivata potrebnih za rad postrojenja i u procesu deponovanja otpada u vidu električne energije i drugih energenata potrebnih za rad postrojenja.

### 2.2.3.2 Ukupni troškovi

Kako bi se donosiocima odluka obezbedio što potpuniji uvid u sistem upravljanja otpadom, analiziran je i ekonomski parametar, odnosno troškovi sistema. Veza između socio-ekonomskog i tehničko-tehnološkog aspekta često predstavlja glavnu prepreku za unapređenje kvaliteta životne sredine. Uvođenje savremenih opcija tretmana otpada jeste prihvatljivo ukoliko je naučno opravdano. Međutim, ovakva poboljšanja često su u vezi sa dodatnim troškovima (npr. odvojeno sakupljanje reciklabila za sobom povlači i dodatne troškove). Finansijski parametar je često ključni faktor kada je u pitanju donošenje odluka i evaluacija sistema upravljanja otpadom.

Troškovi u procesu upravljanja otpadom su veoma varijabilni kako na državnom tako i međudržavnom nivou i odražavaju se na lokalne karakteristike, visinu zarade i cene zemljišta. Troškovi sakupljanja se najčešće izražavaju po domaćinstvu na godišnjoj osnovi.

Javnost se, generalno, više bavi posledicama uticaja otpada na životnu sredinu, dok su donosioci odluka fokusirani na finansijske parametre sistema upravljanja otpadom. Efikasno planiranje sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom podrazumeva analizu uticaja na životnu sredinu i analizu troškova i u vezi je sa životnim ciklusom čvrstog komunalnog otpada (*Emery i dr., 2007*).

## 2.3 Modul – ocenjivanje uticaja životnog ciklusa

Rezultati inventara životnog ciklusa dobijeni u LCI modulu sadrže podatke o vrstama i količini emisija, količini otpada, potrošnji energije i ekonomskim troškovima sistema, ali ne i o mogućim uticajima ovih elementarnih tokova na životnu sredinu. Kako bi se procenio uticaj ovih izlaza neophodno je sprovesti ocenjivanje uticaja životnog ciklusa.

Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa jeste grupisanje rezultata inventara životnog ciklusa u kategorije uticaja, na međupozicijama i/ili krajnjim pozicijama mehanizama životne sredine korišćenjem faktora karakterizacije (FK). Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa ima za cilj da poveže, u meri u kojoj je to moguće, svaki rezultat inventara životnog ciklusa sa odgovarajućom kategorijom uticaja na životnu sredinu. Prema ISO 14044, LCI rezultati su klasifikovani u kategorije uticaja, svaki sa indikatorom kategorije. Indikator kategorije se

nalazi između LCI rezultata i kategorije uticaja u krajnjoj tački (u kojoj se javlja efekat na životnu sredinu) u uzročno-posledičnom lancu. Do sada je razvijeno više LCIA metoda, a najčešće korišćene su prikazane u tabeli 2.9.

Tabela 2.9 Pregled LCIA metoda

Naziv metode	Autor metode	Kratak opis i namena metode
CML 2002	<i>Guinée i dr., 2002</i>	Obezbeđuje postupak za određivanje indikatora na međupozicijama.
EDIP 1997-2003	<i>Wenzel i dr., 1997, Hauschild i Potting, 2005</i>	Pregled rezultata na četiri različita nivoa: životni ciklus inventar, karakterizacija uticaja, normalizacija i vrednovanje ( <i>Kirkeby, J. 2005</i> ).
Eco-Indicator 99	<i>Goedkoop iSpriensma, 2000</i>	Postupak za određivanje indikatora na krajnjim pozicijama
ReCiPe	<i>Kombinacija CML 2000 i Eco-indikator 99</i>	Mogućnost vrednovanja uticaja na međupozicijama i krajnjim pozicijama mehanizama životne sredine ( <i>Kiš i dr.2013</i> ).
Impact 2002+	<i>Humbert i dr., 2012</i>	Kombinovani pristup za kategorije uticaja na međupozicijama i krajnjim pozicijama, povezuje sve vrste rezultata inventara životnog ciklusa preko četrnaest kategorija uticaja na međupozicijama u četiri kategorije uticaja na krajnjim pozicijama.

CML i EDIP su klasične metode ocenjivanja uticaja životnog ciklusa koje omogućavaju kvantitativno modelovanje u relativno ranim fazama u uzročno-posledičnom lancu, odnosno rezultate u tzv.međupozicijama kategorija uticaja. Eco-Indikator99 je metoda orijentisana na krajnje kategorije uticaja i obezbeđuje model za uzročno-posledični lanac do krajnje pozicije ili pozicije štete, ali sa visokim stepenom neizvesnosti (*Jolliet i dr, 2003*). Metoda Impact 2002+ jeste metoda koja vrednuje uticaje na međupozicijama (potencijal globalnog zagrevanja, zauzimanje zemljišta, acidifikacija i sl.) i na krajnjim pozicijama mehanizama životne sredine (oštećenje ekosistema, klimatske promene itd.), što izdvaja ovu metodu od drugih koje kao rezultat vrednuju samo uticaje na međupozicijama ili samo na krajnjim pozicijama.

Metode koje kombinuju kategorije uticaja na međupozicijama i krajnjim pozicijama, kao što je Impact 2002+ i ReCiPe, poprimaju sve veći značaj i primenu u evaluacionim analizama. U ovom istraživanju je korišćena Impact 2002+ metoda, ali postoji mogućnost za primenu i drugih LCIA metoda u čemu se ogleda fleksibilnost ovog modela.

### 2.3.1 LCIA metoda Impact 2002+

Impact 2002+ metoda je razvijena od strane tima dr Olivier Jolliet, profesora na Univerzitetu u Mičigenu u SAD, a ranije na Politehničkom univerzitetu u Lozani u Švajcarskoj (Vještica, 2014). Ova metoda daje mogućnost povezivanja rezultata inventara životnog ciklusa preko četrnaest kategorija uticaja na međupozicijama sa četiri kategorije uticaja na krajnjim pozicijama (kategorijama štete) (tabela 2.10).

Tabela 2.10 Kategorije uticaja u Impact 2002+

	Kategorije uticaja na međupoziciji	Referentne supstance	Kategorije uticaja na krajnjoj poziciji/kategorije štete	Jed. mere štete
LCI rezultati	Toksičnost po ljude	kg chloroetilena u vazduh-ekv	Zdravlje stanovništva	DALY
	Respiratorni efekti	kg PM <sub>2,5</sub> u vazduh-ekv		
	Jonizujuće zračenje	Bq ugljenik-14 u vazduh-ekv		
	Razaranje ozonskog omotača	kg CFC-11 u vazduh-ekv		
	Fotohemijska oksidacija	kg etilena u vazduh-ekv		
	Ekotoksičnost akvatičnih sistema	kg trietilen glikol u vodu-ekv	Kvalitet ekosistema	PDF·m <sup>2</sup> ·god
	Ekotoksičnost zemljišta	kg trietilen glikol u vodu-ekv		
	Zakišeljavanje akvatičnih sistema	kg SO <sub>2</sub> u vazduh-ekv		
	Eutrofikacija akvatičnih sistema	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> u vazduh-ekv		
	Zakišeljavanje zemljišta	kg SO <sub>2</sub> u vazduh-ekv		
	Zauzimanje zemljišta	m <sup>2</sup> organskog zem.-ekv ·god	Klimatske promene	Kg CO <sub>2</sub> -eq u vazduh
	Globalno zagrevanje	kg CO <sub>2</sub> u vazduh-ekv		
	Neobnovljivi izvori energije	kg sirove nafte-ekv (860 kg/m <sup>3</sup> )		
	Ekstrakcija minerala	kg gvožđe-ekv (ruda)		

Termin "međupozicija" podrazumeva da se ova tačka nalazi na "sredini puta" uticaja, između LCI rezultata i krajnje pozicije uticaja.

Kategorije uticaja na međupozicijama karakterišu elementarne tokove koji doprinose istom uticaju. Ukupan uticaj elementarnog toka se iskazuje u odnosu na ekvivalentan uticaj referentnog toka. Faktori karakterizacije su zasnovani na principima ekvivalencije i izraženi su u kg-ekvivalentne supstance u poređenju sa referentnom supstancom.

Na primer, u okviru kategorije uticaja "globalno zagrevanje" uticaj svakog gasa sa efektom staklene bašte (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) se iskazuje zbirno, kroz ekvivalentan uticaj referentne supstance CO<sub>2</sub> (Kiš i dr., 2013).



Kategorije uticaja na krajnjim pozicijama izračunavaju se množenjem faktora karakterizacije (FK) (koji su dati u Impact 2002+ metodi u excel dokumentu) i LCI rezultata. U metodi Impact 2002+ su dati faktori karakterizacije za međupozicije (FK<sub>mp</sub>) i krajnje pozicije (FK<sub>kp</sub>) kategorije uticaja, kao i faktori normalizacije.

Kategorije uticaja na međupozicijama se povezuju sa jednom ili više kategorija uticaja na krajnjim pozicijama. Jedinice u kojima se izražavaju kategorije uticaja:

- "kg substance s-ekv" (kg ekvivalentne referentne supstance s) izražava količinu referentne supstance koja predstavlja uticaj razmatrane zagađujuće supstance na nivou kategorija uticaja na međupozicijama.
- DALY (*eng. Disability Adjusted Life Years*) jeste jedinica mere za kategoriju "zdravlje stanovništva" i predstavlja zbir izgubljenih godina života zbog prevremene smrti i izgubljenih godina "zdravog" života usled oštećenja zdravlja zbog izloženosti zagađenju.
- PDF (*eng. Potentially Disappeared Fraction*) ili potencijalno ugrožena biološka vrsta na površini od m<sup>2</sup> tokom vremenskog period od godinu dana. PDF jeste jedinica mere za kategoriju "kvalitet ekosistema" i predstavlja broj vrsta koje će nestati na površini od m<sup>2</sup> tokom određenog vremenskog perioda (PDF·m<sup>2</sup>·god), odnosno gubitak biodiverziteta (*Humbert i dr, 2012*).
- MJ jeste jedinica za kategoriju "resursi" i predstavlja jedinicu mere za količinu potrebne energije.
- Kategoriji "klimatske promene" prema ovoj metodi doprinosi samo kategorija na međupoziciji "globalno zagrevanje", stoga je jedinica mere u kojoj se iskazuje ova kategorija štete ista kao i na međupoziciji, kg CO<sub>2</sub>-ekv u vazduh.

Normalizacija se sprovodi korišćenjem tzv. "point" jedinica (pt). "Point" ili "bod" predstavlja prosečan uticaj specifične kategorije izazvan od strane stanovnika tokom jedne godine (ukupan uticaj specifične kategorije podeljen je sa ukupnom populacijom Evrope, npr. uticaj od 3 pt u kvalitetu ekosistema predstavlja prosečan godišnji uticaj tri Evropljana). Takođe, „point“ važi i za klimatske promene i resurse i izračunava se kao ukupna godišnja šteta izazvana rezultatom emisija ili ekstrakcijom resursa u Evropi podeljena sa ukupnim brojem stanovnika Evrope (*Humbert i dr, 2012*). Normalizacija omogućava analizu udela svakog uticaja na ukupnu štetu razmatrane kategorije. Normalizacijom se olakšava tumačenje rezultata i upoređivanje različitih kategorija.

Faktori karakterizacije za međupozicije (FK<sub>mp</sub>), krajnje pozicije (FK<sub>kp</sub>) kategorije uticaja i faktori normalizacije za odabrane kategorije uticaja dati su u tabelama 2.11 do 2.13.

Tabela 2.11 Faktori karakterizacije i normalizacije prema Impact 2002+ za "globalno zagrevanje"

Supstanca	Jed. mere	FK <sub>mp</sub> (kg CO <sub>2-ekv</sub> )	Nor. FK <sub>mp</sub> (stan. god)
CO <sub>2</sub>	kg	1	8,62·10 <sup>-5</sup>
CH <sub>4</sub>	kg	25	2,16·10 <sup>-3</sup>
N <sub>2</sub> O	kg	298	2,57·10 <sup>-2</sup>

Tabela 2.12 Faktori karakterizacije i normalizacije prema Impact 2002+ "zakišeljavanje zemljišta"

Supstanca	Jed. mere	FK <sub>mp</sub> (kg SO <sub>2-ekv</sub> )	Nor. FK <sub>mp</sub> (stan. god)	FK <sub>kp</sub> (PDF·m <sup>2</sup> ·god)	Nor. faktor štete (stan. god.)
SO <sub>2</sub>	kg	1	3,17·10 <sup>-3</sup>	1,04	7,54·10 <sup>-5</sup>
NO <sub>x</sub>	kg	5,49	1,74·10 <sup>-2</sup>	5,71	4,14·10 <sup>-4</sup>
NH <sub>3</sub>	kg	14,96	4,47·10 <sup>-3</sup>	15,57	1,13·10 <sup>-3</sup>

Tabela 2.13 Faktori karakterizacije i normalizacije prema Impact 2002+ za indikator "zauzimanje zemljišta"

Vrsta zemljišta	Jed. mere	FK <sub>mp</sub> (m <sup>2</sup> ·god.)	Nor. FK <sub>mp</sub> (stan. god)	FK <sub>kp</sub> (PDF·m <sup>2</sup> ·god)	Nor. faktor štete (stan. god.)
Industrijsko ili zeleno- građevinsko zemljište	m <sup>2</sup> ·god	0,77	2,23·10 <sup>-4</sup>	0,84	6,09·10 <sup>-5</sup>

## 2.3.2 Izlazi iz LCIA

### 2.3.2.1 Globalno zagrevanje

Borba protiv klimatskih promena i smanjenje emisija gasova sa efektom staklene bašte su među najvećim izazovima sa kojima se suočava naša civilizacija. Istraživanja pokazuju da je udeo sektora upravljanja otpadom u ukupnim emisijama gasova sa efektom staklene bašte u zemljama EU 28, u 2014. godini iznosio 3 % (EEA, 2014).

Gasovi sa efektom staklene bašte koji nastaju u sistemu upravljanja otpadom mogu se podeliti u dve kategorije: 1) direktne emisije, koje potiču od prakse postupanja sa otpadom (kao što su emisije metana koje se javljaju na deponijama, emisije nastale prilikom sakupljanja i transporta otpada, emisije ugljen dioksida usled rada postrojenja za insineraciju otpada i emisije nastale usled reciklaže, anaerobne digestije i kompostiranja otpada) i 2) indirektno emisije, koje nastaju usled korišćenja obnovljenih materijala umesto primarnih materijala i fosilnih goriva (emisije koje nastaju usled: generisanja energije iz deponijskog

gasa, korišćenja energije dobijene spaljivanjem otpada, upotrebe recikliranih materijala, komposta i biogasa umesto prirodnih resursa) (EEA, 2011).

Uticao na klimatske promene iskazuje se preko potencijala globalnog zagrevanja (*eng. Global Warming Potential – GWP*) i izražava se za vremenski horizont od 100 godina (*IPCC, 2007*). Međuvladin panel o klimatskim promenama (*eng. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) definisao je model na osnovu koga se izračunava potencijal globalnog zagrevanja preko ekvivalentnog ugljen dioksida. Za indikator "*globalno zagrevanje*" koriste se LCI rezultati dobijeni u LCI modulu, a koji se odnose na emisije ugljen-dioksida, metana i azot-suboksida ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  i  $\text{N}_2\text{O}$ ).

"*Globalno zagrevanje*" jeste indikator uticaja na međupoziciji i izražava se u jedinici  $\text{kg CO}_{2\text{-ekv}}$ , a na krajnjoj poziciji indikator se naziva "*klimatske promene*" i izražava se takođe u jedinici  $\text{kg CO}_{2\text{-ekv}}$  ( $\text{kg CO}_{2\text{-ekv}}$  u vazduh/kg). Indikator "*globalno zagrevanje*" je za sada jedini indikator koji prema Impact 2002+ metodi doprinosi klimatskim promenama kao indikatoru na krajnjoj poziciji. Stoga su jedinice u kojima se izražava, a i vrednosti faktora karakterizacije, iste na oba nivoa. LCIA metode navedene u tabeli 2.8 razmatraju tri kategorije uticaja na krajnjim pozicijama, a jedino Impact 2002+ navodi "*klimatske promene*" kao zasebnu, četvrtu kategoriju uticaja na krajnjoj poziciji.

#### 2.3.2.2 Zakišeljavanje zemljišta

Emisije azota i sumpora su glavni uzročnici koji izazivaju kiselost najpre atmosfere, a potom i drugih ekosistema. Kategorija uticaja "*zakišeljavanje zemljišta*" obuhvata uticaje u oblasti zaštite kvaliteta ekosistema izazvane atmosferskim emisijama azota i sumpora ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  i  $\text{NH}_3$ ).

Zakišeljavanje zemljišta predstavlja globalnu pretnju biodiverzitetu i uglavnom je uzrokovano taloženje kiselih supstanci iz atmosfere (*Azevedo i dr., 2013*). U nekim oblastima zakišeljavanje zemljišta je prirodan proces. Prirodno zakišeljavanje je spor proces, a dominantnan uzrok ove pojave jeste taloženje kiselih supstanci (oksida sumpora, oksidi azota i amonijak) iz atmosfere nastalih usled antropogenih aktivnosti. U mnogim zemljama širom sveta, uključujući i one najrazvijenije, postoje velike površine zemljišta na kojima je potvrđeno prisustvo štetnih (kiselih) materija u koncentracijama koje predstavljaju značajan rizik po ljudsko zdravlje i životnu sredinu, te se smatraju kontaminiranim. Kontaminacija zemljišta nastaje kao rezultat mešanja čvrstih ili tečnih opasnih supstanci sa supstancama koje su prirodno prisutne u zemljištu (*Prokić, 2012*).

Po podacima iz Izveštaja o stanju zemljišta za 2013. godinu, na području Republike Srbije identifikovano je 422 lokaliteta koji obuhvataju potencijalno kontaminirane i

kontaminirane lokalitete. Neadekvatno upravljanje otpadom je dovelo do velikog broja lokacija koje su potencijalno kontaminirane usled neadekvatnog odlaganja otpada.

Prema podacima iz Inventara kontaminiranih lokaliteta u 2013. godini najveći udeo u ukupnom broju lokaliteta imaju lokaliteta na kojima su javno komunalne deponije sa 43,13 %, zatim industrijsko komercijalni lokaliteta sa 36,30 % i deponije industrijskog otpada sa 10,43 %.

Uticao sistema upravljanja otpadom na "zakišeljavanje zemljišta" ogleđa se kroz emitovanje oksida sumpora, oksida azota i amonijaka kroz procese u životnom ciklusu komunalnog otpada (transport, sortiranje, biološki tretman, reciklaža i deponovanje). "Zakišeljavanje zemljišta" jeste indikator uticaja na međupoziciji i izražava se u kg SO<sub>2-ekv</sub>, a povezan je sa indikatorom uticaja na krajnjoj poziciji "kvalitet ekosistema" koji se izražava u PDF·m<sup>2</sup>·god.

### 2.3.2.3 Zauzimanje zemljišta

Mnoge ljudske aktivnosti zahtevaju značajne površine zemljišta (za ekstrakciju resursa, za proizvodni proces, za deponije i sl.). Transformacija i zauzimanje zemljišta u velikoj meri menja kvalitet zemljišta i čini zemljište nedostupnim za prvobitnu ili druge namene. U slučaju održivog korišćenja zemljišta može se smatrati da je zemljište zadržalo konstantan kvalitet, međutim, u mnogim slučajevima zauzimanje zemljišta doprinosi tome da kvalitet zemljišta progresivno opada (*Muys i dr, 2002*). Kako bi se utvrdili efekti zauzimanja zemljišta na ekosistem neophodno je odrediti intenzitet upotrebe. Oštećenje zemljišta koje nastaje kao posledica zauzimanja zemljišta izračunava se tako što se koristi pretpostavka da usled zauzimanja zemljište gubi primarni kvalitet, što zavisi od vremena i prostora (*li i dr, 2008*).

Zapremina otpada definiše prostor potreban za deponovanje, koji zapravo predstavlja resurs s obzirom da prostora za deponovanje otpada ima sve manje. Smanjenje zapremine otpada se može izraziti preko razlike u prostoru potrebnom za deponovanje.

U Republici Srbiji velika većina deponija (oko 3.300) se karakteriše malom dubinom i zapreminom otpada od 10.000 m<sup>3</sup>. Samo oko 50 deponija ima veću zapreminu od 100.000 m<sup>3</sup> (*SEPA, 2015a*).

Kategorija uticaja "zauzimanje zemljišta" se ne može izračunati direktno iz inventara, te je korišćena sledeća pretpostavka: ukupna količina otpada koja se odlaže na deponiju (m<sup>3</sup>) se podeli sa prosečnom dubinom deponije (pretpostavka je 15 metara) i pomnoži sa prosečnim vremenom zauzimanja zemljišta (pretpostavka je 70 godina, 20 godina za eksploataciju i 50 godina za monitoring) (*Stypka et al., 2005*).

Faktori karakterizacije u Impact 2002+ su dati za različite vrste zemljišta (industrijsko, građevinsko, organski obrađivano i sl.), s obzirom da se uticaj određene aktivnosti na zauzimanje zemljišta razlikuje u zavisnosti od tipa zemljišta. "Zauzimanje zemljišta" jeste indikator uticaja na međupoziciji i izražava se u  $m^2 \cdot \text{god}$ , a pripada indikatoru uticaja na krajnjoj poziciji "kvalitet ekosistema" koji se izražava u  $\text{PDF} \cdot m^2 \cdot \text{god}$ .

Faktor karakterizacije je izražen preko ekvivalenta tj. u  $m^2$  organski obrađivanog zemljišta- $_{\text{ekv}} \cdot \text{god}$ , a faktori karakterizacije korišćeni u ovom radu se odnose na industrijsko ili zeleno-građevinsko zemljište.

#### 2.3.2.4 Normalizacija

Autori Impact 2002+ metode preferiraju normalizaciju na nivou štete, što je primenjeno i u ovoj disertaciji. Svrha normalizacije rezultata jeste analiza odgovarajućeg udela svakog od uticaja na ukupno oštećenje u okviru razmatrane kategorije uticaja. Pomenuti pristup olakšava tumačenje rezultata, odnosno upoređivanje različitih kategorija na istom grafiku u istim jedinicama. Podaci normalizacije u disertaciji se mogu razlikovati obzirom da je faktor normalizacije u Impact 2002+ metodi određen za 431.000.000 stanovnika, odnosno populaciju EU i ne obuhvata specifičnosti populacije u Republici Srbiji.

## 2.4 Modul - interpretacija kroz odabrane indikatore

Indikatori za evaluaciju sistema upravljanja otpadom su podeljeni na dve grupe iz razloga što ih je moguće predstaviti na dva nivoa, odnosno, kao rezultate LCI ili LCIA faze što je prikazano u tabeli 2.14. LCI rezultati koji su potrebni za određivanje LCIA indikatora prikazani su u tabeli 2.15.

Tabela 2.14 Indikatori za evaluaciju sistema upravljanja otpadom

Naziv indikator	Rezultat faze
Potrošnja/proizvodnja energije	LCI
Ukupni troškovi	LCI
Globalno zagrevanje	LCIA
Zakišeljavanje zemljišta	LCIA
Zauzimanje zemljišta	LCIA

Tabela 2.15 Lista LCI rezultata koji se koriste za određivanje LCIA indikatora

Naziv indikatora	LCI rezultat
Globalno zagrevanje	emisije u vazduh CO <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O
Zakišeljavanje zemljišta	emisije u vazduh SO <sub>x</sub> NO <sub>x</sub> NH <sub>3</sub>
Zauzimanje zemljišta	Rezidualne količine otpada

### 3. Verifikacija modela

Razvijeni model će biti verifikovan na regionu za upravljanje otpadom sa centrom u Novom Sadu. Grad Novi Sad je sa opštinama Bačka Palanka, Bački Petrovac, Beočin, Žabalj, Srbobran, Temerin i Vrbas oformio region (u daljem tekstu Region) koji ima za cilj uspostavljanje regionalnog sistema upravljanja komunalnim otpadom.

Verifikacija funkcionalnosti i praktične primenljivosti razvijenog modela zahtevala je primenu sledećih vrsta podataka:

- specifične podatke (broj stanovnika, dnevne količine otpada i sl.) o analiziranom području,
- detaljne podatke o analiziranim scenarijima (toka otpada, podaci o energetskim i ekonomskim ulazima i izlazima iz delova sistema),
- LCI podatke iz dostupnih naučnih i stručnih literaturnih izvora koji su korišćeni u slučajevima nedostupnosti specifičnih podataka.

#### 3.1 Razvoj scenarija upravljanja otpadom

Scenario 1 je osnovni scenario koji opisuje trenutnu praksu upravljanja otpadom u novosadskom regionu. Ovaj scenario je baziran na količini i sastavu sakupljenog otpada i postojećoj infrastrukturi za tretman otpada. Prilikom modelovanja alternativnih scenarija (scenarija 2, 3 i 4) uzeti su u obzir ciljevi i zahtevi navedeni u Direktivama EU u oblasti upravljanja otpadom. Scenario 2 i 3 su formirani tako da se predstave prednosti po životnu sredinu naprednih sistema upravljanja otpadom, a da se zadovolje zahtevi Direktive o deponovanju otpada (*Council Directive 99/31/EC*) i Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu (*Directive 2004/12/EC*), kao i ciljevi definisani u nacionalnom zakonodavstvu: Zakonu

o upravljanju otpadom ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010 i 14/2016), Zakonu o ambalaži i ambalažnom otpadu ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009) i Uredbi o odlaganju otpada na deponije ("Sl. glasnik RS", br. 92/2010). Scenario 4 razmatra mogućnost insineracije ukupne količine generisanog otpada. Korišćenje otpada kao energenta nalažu Zakon o upravljanju otpadom ("Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010 i 14/2016) i Direktiva o spaljivanju otpada (*Directive 2000/76EC*).

### **Scenario 1 – Postojeći sistem upravljanja otpadom**

U ispitivanom Regionu generisani komunalni otpad se sakuplja, transportuje i odlaže od strane javnih komunalnih preduzeća zaduženih za usluge zbrinjavanja otpada. Otpad se, uglavnom, odlaže bez ikakvih predtretmana na gradske deponije koje ne zadovoljavaju kriterijume sanitarnih deponija. Pored gradskih deponija u svim opštinama postoji i veliki broj divljih smetlišta. Iako se postojeće deponije klasifikuju kao kontrolisana odlagališta ne postoje osnovni elementi koji su neophodni za fizičku izolaciju tela deponije od životne sredine, kao ni procedure za prekrivanje deponije (vrši se periodično prekrivanje slojeva otpada zemljom), ni sistemi za sakupljanje i tretman procednih voda i deponijskog gasa. Tretman otpada pre deponovanja nije zastupljen, otpad je i dalje veoma reaktivan nakon odlaganja. Ovakve deponije predstavljaju opasnost koja se ogleda u nekontrolisanom odlaganju brojnih polutanata, zatim u razgradnji otpada i rasprostiranju tih polutanata. Takođe, javljaju se problemi poput izbijanja požara, neprijatnih mirisa, širenja zaraze i druge opasnosti po ljudsko zdravlje i činioce životne sredine.

Od obuhvaćenih opština jedino u Novom Sadu postoji postrojenje za separaciju otpada na lokaciji postojeće deponije i podrazumeva ručno sortiranje otpada, a izdvojene sekundarne sirovine preuzimaju treća lica u cilju dalje upotrebe. Realizacijom terenskog istraživanja dobijeni su podaci o prosečnoj količini otpada koja se sprovodi na postrojenje za separaciju i koja iznosi oko 19.000 t/god ( $\approx 9\%$ ), a količina isporučenih sekundarnih sirovina u 2014. godini iznosila je 8.971 t. Na postrojenje za separaciju doprema se samo otpad iz kolektivnog stanovanja u gradskom naselju Novi Sad.

Postojeći sistem upravljanja komunalnim otpadom, u ispitivanom Regionu, dakle, podrazumeva sledeće procese:

- sakupljanje i transport otpada,
- sortiranje otpada sakupljenog iz kolektivnog stanovanja u gradskom naselju Novi Sad na postrojenju za sortiranje i baliranje,
- odlaganje otpada na nesanitarnu deponiju.

Imajući u vidu elemente (sakupljanje, transport, tretmani i odlaganje otpada) i ciljeve (očuvanje činioca životne sredine, ekonomska optimizacija i društvena prihvatljivost) koje podrazumeva održiv sistem upravljanja otpadom, kao i ciljeve definisane u direktivama EU, postojeće stanje u Regionu, u oblasti upravljanja komunalnim otpadom ima mnogo nedostataka, koji se odnose na:

- infrastrukturu za upravljanje otpadom koja je slabo razvijena,
- neadekvatne lokalitete za odlaganje otpada,
- razdvajanje otpada na samom izvoru ili primarnu separaciju koja je u maloj meri zastupljena,
- nepotpun obuhvat stanovništva uslugama organizovanog sakupljanja otpada,
- nepostojanje ili nedovoljnu primenu tretmana i predtretmana otpada u cilju iskorišćenja sekundarnih sirovina i u cilju dobijanja energije,
- odlaganje otpada bez ikakvog tretmana na opštinske deponije, koje su u većoj ili manjoj meri neuređene,
- prekrivanje inertnim materijalom koje se ne sprovodi ili se sprovodi periodično i
- nepostojanje sistema za sakupljanje i tretman procednih voda i deponijskog gasa.

Na osnovu gore navedenog može se ustanoviti da postoji potreba za unapređenjem postojećeg sistema u cilju usklađivanja sa osnovnim principima održivog upravljanja otpadom.

### **Scenario 2 – Kompostiranje, reciklaža i odlaganje na sanitarnu deponiju**

Ovaj scenario razvijen je u skladu sa ciljevima navedenim u Direktivi EU o ambalaži i ambalažnom otpadu i Direktivi EU o deponovanju otpada. Direktivom EU o ambalaži i ambalažnom otpadu propisuju se ciljevi 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

Ciljevi postavljeni Direktivom EU o deponovanju otpada, odnose se na količinu biorazgradivog komunalnog otpada generisanog 1995. godine, koja predstavlja referentnu godinu. Krajnji cilj jeste da se zaključno sa 2016. godinom, deponovana količina biorazgradivog komunalnog otpada smanji na najmanje 35 % u odnosu na količinu generisanu 1995. godine. Uvođenje biološkog tretmana (npr. kompostiranje) otpada je



višestruko opravdana opcija najpre zbog ciljeva definisanih zakonodavstvom, a zatim zbog potencijalo korisnih proizvoda (komposta) i benefita sa aspekta životne sredine.

Scenario 2 podrazumeva i transfer stanice, za pretovar otpada, oko 20 % od ukupne količine otpada, u razmatranom regionu, transportuje se do transfer stanica pa zatim do sanitarne deponije. Transfer stanice su predviđene za pretovar i transport otpada iz opštine Bačka Palanka (udaljenje od Regionalne deponije oko 46 km) i pretovar i transport otpada iz opštine Vrbas (udaljenje od Regionalne deponije oko 38 km) (FTN, 2011). Ovaj scenario obuhvata sledeće:

- proširenje obuhvata stanovništva uslugama organizovanog sakupljanja otpada na 100 % teritorije Regiona,
- primarnu separaciju određenih frakcija (papira 60 %, stakla 60 %, metala 50 % i plastike 22,5 %),
- transfer stanice,
- sortiranje i baliranje datih frakcija na postrojenju za sortiranje,
- kompostiranje oko 65 % od ukupnog generisanog biodegradabilnog otpada i
- odlaganje otpada na deponiju koja je opremljena sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa i procednih deponijskih voda.

### **Scenario 3 – Kompostiranje, reciklaža, RDF i odlaganje na sanitarnu deponiju**

Scenario 3 podrazumeva postrojenje za izdvajanje sagorivih sirovina i njihovu obradu radi dobijanja goriva iz otpada (RDF, eng. *Refuse-Derived Fuel*). Proizvedeni RDF upotrebljava se kao alternativno gorivo, u postrojenju za dobijanje energije (RDF insinerator). Scenario 3 takođe podrazumeva izdvajanje reciklabila i kompostiranje biodegradabilnog otpada u stepenu jednakom kao i u scenariju 2.

Ostatak otpada od svih navedenih tretmana otpada odlaže se na deponiju koja je opremljena sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa i deponijskih voda.

Scenario 3 podrazumeva sledeće procese:

- proširenje obuhvata stanovništva uslugama organizovanog sakupljanja otpada na 100 %,
- primarnu separaciju određenih frakcija (papira 60 %, stakla 60 %, metala 50 % i plastike 22,5 %),
- transfer stanice,
- sortiranje i baliranje frakcija na postrojenju za sortiranje,
- izdvajanje sagorivih komponenata otpada, njihova obrada (RDF) i spaljivanje,
- kompostiranje oko 65 % od ukupnog generisanog biodegradabilnog otpada i

- odlaganje otpada na deponiju koja je opremljena sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa i procednih deponijskih voda i
- odlaganje ostataka od RDF tretmana na deponiju opasnog otpada.

### **Scenario 4 – Insineracija**

Scenario 4 podrazumeva postrojenje za insineraciju u kojem se spaljuje neselektovani čvrsti komunalni otpad u cilju proizvodnje električne energije. Pepeo i drugi ostaci (filterska prašina), koji nastaju nakon spaljivanja, se odlažu na deponiju. Insineracija predstavlja jednu od najskupljih tehnologija tretmana otpada pre svega zbog visokih investicionih ulaganja. Preporuke od strane Evropske komisije su da Republika Srbija, kao kandidat za članstvo u EU, treba da investira u najjeftinije tehnologije koje će obezbediti najbolje efekte i obezbediti finansijski održive sisteme upravljanja.

Scenario 4 podrazumeva sledeće procese:

- proširenje obuhvata stanovništva uslugama organizovanog sakupljanja otpada na 100 %,
- sakupljanje i transport neselektovanog otpada,
- spaljivanje neselektovanog otpada u insineratoru i
- odlaganje ostataka od insineracije na deponiju opasnog otpada.

### **3.2 Definisane cilja i predmeta**

Osnovni *cilj* sprovođenja LCA analize jeste ocenjivanje uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada na životnu sredinu. *Predmet* studije obuhvata analizu uticaja sistema upravljanja komunalnim otpadom u Južno-bačkom regionu na životnu sredinu kroz indikatore: potrošnju/proizvodnju energije, globalno zagrevanje, zakišeljavanje zemljišta, zauzimanje zemljišta i troškove. *Svrha* analize jeste evaluacija, predviđanje i uporedna analiza sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom. Na osnovu dobijenih rezultata i komparativne analize će biti lakše doneti kvalitetnije odluke u cilju unapređenja sistema upravljanja otpadom u ispitivanom regionu.

Modelovanje *sistema proizvoda* za četiri scenarija sprovedeno je na osnovu opšteg modela sistema proizvoda prikazanog na slici 2.2. *Funkcionalna jedinica* je količina komunalnog otpada sa određenog geografskog područja u datom vremenskom periodu, odnosno, 195.850 t komunalnog otpada. Prilikom prikupljanja podataka o količini i sastavu otpada koji se generiše ili će biti generisan na datom području javlja se jedan od suštinskih problema, a to je nepostojanje preciznih podataka o količinama generisanog otpada.

Nedostatak sveobuhvatnog i standardizovanog sistema prikupljanja podataka jeste jedan od ograničavajućih faktora u ovom procesu i u razvoju efikasnog sistema upravljanja čvrstim otpadom. Ovi podaci su nepotpuni i zasnovani su na različitim definicijama kategorija otpada. Korišćenjem podataka dobijenih na osnovu terenskog istraživanja i podataka iz Regionalnog plana upravljanja otpadom (FTN, 2011), dobijeni su potrebni podaci za definisanje ulaznih podataka sistema upravljanja komunalnim otpadom u Regionu i prikazani su u tabeli 3.1.

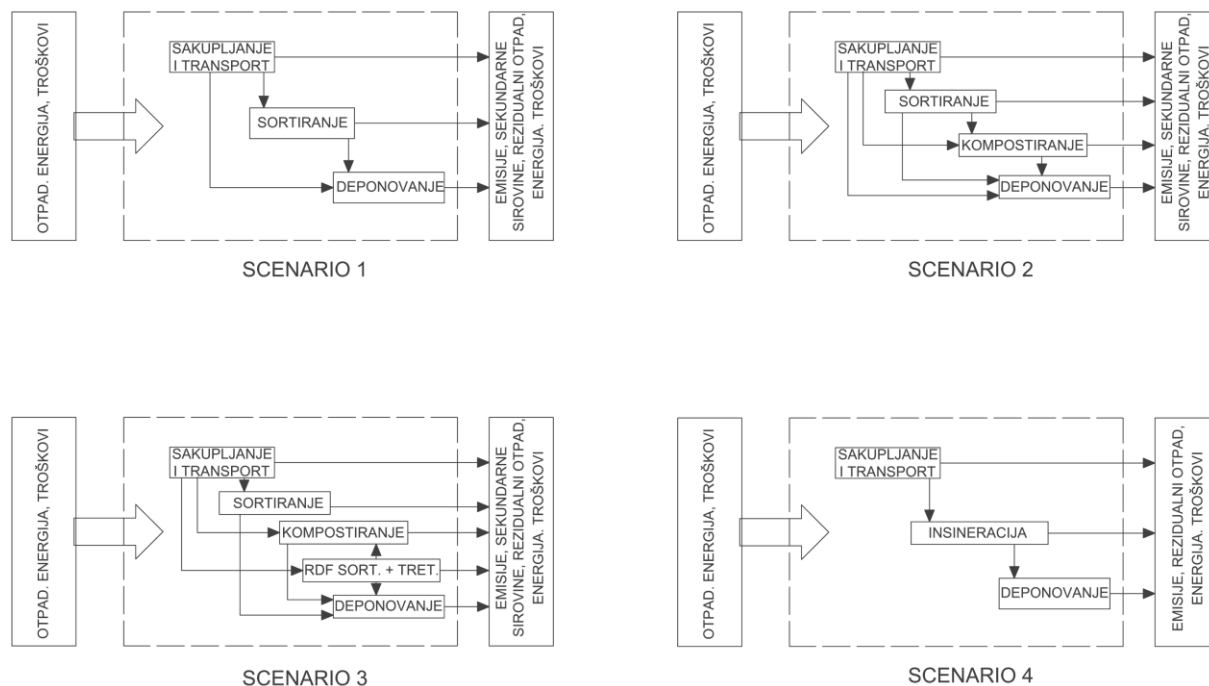
Ukupan broj stanovnika u Regionu, po Popisu stanovništva iz 2011. godine, je 532.200, a prosečan broj članova domaćinstava iznosi 2,7. Na teritoriji Regiona prosečno se generiše 195.850 tona komunalnog otpada godišnje. Obzirom da je sastav otpada, odnosno poznavanje masenog udela različitih frakcija u sastavu čvrstog komunalnog otpada, od presudnog značaja za definisanje održivog sistema upravljanja otpadom, za potrebe ovog rada korišćeni su podaci o morfološkom sastavu otpada koji se generiše u Regionu, a prema sledećoj klasifikaciji:

1. papir, uključujući papir, karton i papirne proizvode,
2. staklo, uključujući staklene boce i tegle svih boja, staklene pločice,
3. metal, uključujući sve fero-metale i obojene metale,
4. plastika, uključujući sve vrste plastike, boce, filmove, laminate, tvrde plastike, plastične folije,
5. tekstil, uključujući sve tkanine, sintetičke i prirodne,
6. organski otpad, uključujući kuhinjski otpad, otpad iz bašte, otpatke od hrane i
7. ostali otpad, uključujući sve ostale materijale, fine materijale, kožu, gumu, drvo i sl.

*Tabela 3.1 Podaci o broju stanovnika, količini otpada i morfološkom sastavu otpada u Regionu*

Scenario 1,2,3,4		
Ukupan broj stanovnika	532.200	
Prosečan broj stanovnika po domaćinstvu	2,7	
Prosečna količina komunalnog otpada	368 kg osobi <sup>-1</sup> god <sup>-1</sup>	
Frakcija	Količine (tona)	Maseni udeo ( %)
Papir/karton	28.398	14,5
Staklo	10.772	5,5
Metal	4.700	2,4
Plastika	28.398	14,5
Tekstil	7.638	3,9
Organski (hrana i zeleni otpad)	90.091	46
Ostalo	25.852	13,2
Ukupno	195.850	100

Granice sistema definišu jedinične procese koji su uključeni u sistem upravljanja otpadom. Na slici 3.1 prikazane su granice sistema za definisane scenarije.



Slika 3.1 Granice sistema i tok otpada za razvijene scenarije

U tabeli 3.2 su date glavne karakteristike i tok otpada u scenarijima koji su razmatrani za Region.

Tabela 3.2 Glavne karakteristike scenarija (%)

Scenario	Sortiranje	Kompostiranje	RDF sortiranje + tretman	Insineracija	Deponovanje
1.	9 %	0 %	0 %	0 %	91 % + rezidualni otpad
2.	16 %	31 %	0 %	0 %	53 % + rezidualni otpad
3.	16 %	31 %	53 %	0 %	Rezidualni otpad
4.	0 %	0 %	0 %	100 %	Rezidualni otpad

U okviru ovog rada identifikovane su sledeće *pretpostavke*:

- specijalna vozila za sakupljanje i transport otpada koriste dizel gorivo,
- prateća oprema i održavanje opreme (pranje kontejnera i kanti) u sistemu sakupljanja nisu uzeti u obzir, odnosno nisu obuhvaćeni granicama sistema,

- dužina puta (km), odnosno udaljenost postrojenja za tretman otpada unutar jednog sistema kreće se od 2 do 10 km,
- energija dobijena u sistemu upravljanja otpadom koristi se za potrebe sistema, a ostatak se distribuira u mrežu,
- 50 % od dobijenog komposta ima tržišnu vrednost, obzirom da je 50 % od biodegradabilog otpada koji je kompostiran u scenarijima 2 i 3 baštenski otpad koji je pogodan za proizvodnju kvalitetnog komposta. Preostala količina otpada ili komposta se odlaže na deponiju, odnosno koristi kao materijal za dnevno prekrivanje deponovanog otpada i
- troškovi reciklaže, odnosno procesa reciklaže, ne ulaze u granice sistema, obuhvaćeni su samo kroz emisije ili uštede koje se obračunavaju na osnovu količine reciklabilnih materijala izdvojenih na postrojenju za sortiranje.

Usvojene pretpostavke su neizbežne zbog nedostatka podataka. Podaci o održavanju opreme su isključeni iz granica sistema jer je njihovo sakupljanje veoma komplikovano. Podaci inventara o procesima tretmana otpada u Republici Srbiji su, moglo bi se načelno reći, nedostupni ili su bazirani na procenama i srednjim vrednostima. Razlog ovakvog stanja treba pripisati nepostojanju obaveze za sistematsko praćenje i rešavanje problema. Treba naglasiti da je LCA analiza zasnovana na procenama čiji je osnovni cilj generisanje podataka koji se mogu iskoristiti za procenu opterećenja, komparaciju različitih tretmana otpada i definisanje optimalnih scenarija sistema upravljanja otpadom. Takođe, važno je napomenuti da sve LCA strategije upravljanja čvrstim otpadom veoma zavise od pretpostavki, usvojenih podataka i modelovanja jediničnih procesa (*Pressley i dr, 2015*).

### **3.3 Inventar životnog ciklusa otpada**

Ovo potpoglavlje obuhvata prikupljanje podataka, odnosno pregled podataka koji su korišćeni za definisanje scenarija. Za svaki proces u okviru granica sistema upravljanja otpadom definisaniše energetske i ekonomske ulazi, a materijalni ulazi odnosno količine otpada za svaki proces definisani su prilikom razvoja scenarija.

#### **Sakupljanje i transport otpada**

Najveća pokrivenost organizovanim sakupljanjem otpada je u Gradu Novom Sadu, opštinama Srbobran, Temerin i Beočin  $\approx 100$  %, zatim slede Bački Petrovac i Vrbas  $\approx 92$  %. Nešto manji stepen pokrivenosti je u opštini Bačka Palanka  $\approx 69$  %, dok je najmanja

pokrivenost u Žablju i iznosi  $\approx 44$  %. I pored niskog stepena pokrivenosti u nekim opštinama, zbog činjenice da je u Novom Sadu, koji dominira u Regionu kada je u pitanju broj stanovnika, izuzetno visok stepen pokrivenosti, prosečan stepen pokrivenosti sakupljanja komunalnog čvrstog otpada u Regionu iznosi  $\approx 96$  %. U scenarijima 2, 3 i 4 stepen pokrivenosti sakupljanja otpada iznosi  $\approx 100$  %.

U procesu sakupljanja i transporta otpada neophodno je definisati šemu sakupljanja otpada, odnosno da li domaćinstvo dostavlja otpad i reciklabile u određena reciklažna dvorišta ili domaćinstvo odlaže otpad u posude (kante) i dostavlja na predviđena mesta na ulici (kontejnere), pokrivenost stanovništva uslugama sakupljanja, potrošnju goriva i ukupne troškove ovakvog načina sakupljanja. U definisanim scenarijima sakupljanje otpada podrazumeva sakupljanje od strane preduzeća zaduženog za ove delatnosti, a domaćinstvo je u obavezi da selektovani (u slučaju da postoji primarna separacija) ili neselektovani otpad odloži u kontejnere na predviđena mesta na ulici. Primarna separacija se postiže postavljanjem zasebnih kontejnera za sakupljanje reciklabilnih komponenti otpada.

### *Potrošnja energije*

Energija potrebna za sakupljanje i transport otpada odnosi se na prosečnu potrošnju dizel goriva za vozila koja se koriste u sistemu sakupljanja, odnosno prosečnu potrošnju goriva po toni transportovanog otpada. Potrošnja goriva po toni sakupljenog otpada se kreće od 1,4 do 33,5 l t<sup>-1</sup> otpada (*Larsen i dr., 2009, Beigl i dr., 2004, Nygen i dr., 2010*) u zavisnosti od tipa stanovanja, konfiguracije terena, gustine naseljenosti i sl. U radu je usvojena vrednost za potrošnju dizel goriva po toni otpada od 14 l t<sup>-1</sup> sakupljenog selektovanog otpada i 10 l t<sup>-1</sup> sakupljenog neselektovanog otpada (tabela 3.3). Ova relativno visoka vrednost je usvojena zbog problema zastarelosti mehanizacije koja se koristi za transport otpada. Većina vozila je starija od deset godina, a često se koriste vozila koja nisu predviđena za ovu namenu, što u velikoj meri smanjuje učinak JKP (*Savić, 2009*). Stanje opreme za sakupljanje otpada u Regionu nije na zadovoljavajućem nivou iz više razloga: u većini naseljenih mesta ne postoji dovoljan broj kontejnera, posude su uglavnom dotrajale i neophodno ih je zameniti, loše je održavanje prostora sa kontejnerima, ruralna naselja ne poseduju adekvatne saobraćajnice i sl.

Potrošnja električne energije u ovom elementu nije razmatrana jer se ovaj vid energije odnosi na održavanje, odnosno, pranje kapitalne opreme (kontejnera i kamiona) što nije obuhvaćeno granicama sistema.

### Ekonomski troškovi

Kada su u pitanju troškovi sakupljanja otpada ove vrednosti variraju u zavisnosti od lokalnih uslova, cene radne snage, električne energije i sl. U literaturi se mogu naći vrednosti od 27 do 56 € t<sup>-1</sup> (Savić, 2008, Emery i dr., 2007). Na osnovu literaturnih podataka i podataka o upravljanju otpadom u Regionu definisana je cena sakupljanja otpada. Ova vrednost u scenarijima 1 i 4 iznosi 54 € t<sup>-1</sup>. U scenarijima 2 i 3 korišćena prosečna vrednost je 82 € t<sup>-1</sup>, obzirom da ovi scenariji podrazumevaju sakupljanje primarnog selektovanog otpada, što za sobom povlači povećanje cene.

Tabela 3.3 Ulazni podaci za proces sakupljanja otpada

				Izvor
Potrošnja energije	Dizel	Neselektovan otpad	10 l t <sup>-1</sup>	Larsen i dr, 2009
		Selektovan otpad	14 l t <sup>-1</sup>	McDougall i dr, 2008
Troškovi		Neselektovan otpad	54 € t <sup>-1</sup>	Savić, 2008
		Selektovan otpad	82 € t <sup>-1</sup>	

### Centralno sortiranje

Sortiranje na centralnom postrojenju u Novom Sadu podrazumeva ručno izdvajanje korisnih komponenata iz neselektovanog otpada, sa transportne trake. Sekundarne sirovine se zatim uvode u automatizovanu balirku. U njoj se formiraju bale sekundarnih sirovina, koje se odlažu na plato izvan postrojenja, do preuzimanja od strane preduzeća koja vrše njihov otkup. Nivo kontaminacije materijala određen je na osnovu podataka dobijenih terenskim istraživanjem, odnosno, podataka o ulaznim količinama otpada (19.074 t) i količini isporučениh sekundarnih sirovina na godišnjem nivou (8.950 tona), i iznosi 47 %.

Ovo postrojenje u scenarijima 2 i 3 podrazumeva sortiranje i baliranje prethodno selektovanih frakcija otpada i pripremu za transport. Nivo kontaminacije materijala u slučaju postojanja primarne separacije iznosi 8 % (McDougall i dr, 2008).

### Potrošnja energije

Potrošnja električne energije (za pokretne trake, rešetke, separatore i sl.) u brojnim naučnim publikacijama izražena je u odnosu na svaku sortiranu frakciju i vrednosti se kreću od 5,4 do 116 kWh t<sup>-1</sup>. U sličnim istraživanjima prilikom modelovanja postrojenja za sortiranje korišćene su vrednosti u rasponu od 22 do 24,3 kWh t<sup>-1</sup> (Pressley i dr, 2015). Potrošnja dizel goriva se odnosi na vozni park i se kreće od 0,7 do 1,35 l t<sup>-1</sup> (Pressley i dr, 2015, White i dr., 1999). U tabeli 3.4 prikazane su usvojene vrednosti energetske potrebe postrojenja za sortiranje, a vrednosti su definisane na osnovu navedenih literaturnih podataka.

### Ekonomski troškovi

Ekonomski faktor koji treba uzeti u obzir je prihod dobijen od prodaje sirovina, što pre svega zavisi od tržišta. U ovoj analizi usvojeni su podaci troškova postrojenja za sortiranje koji iznose 13 € t<sup>-1</sup>, a vrednosti prodaje sekundarnih sirovina iznose: papir 65 € t<sup>-1</sup>, plastika 138-200 € t<sup>-1</sup>, metal 180-1300 € t<sup>-1</sup> i staklo 16 € t<sup>-1</sup> (JKP, 2014).

Tabela 3.4 Ulazni podaci za proces sortiranja otpada

			Izvor
Potrošnja energije	El. energija	23 kWh t <sup>-1</sup>	Pressley i dr, 2015, White i dr., 1999
	Dizel	1,3 l t <sup>-1</sup>	
	Prirodni gas	2,3 m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>	
Troškovi		13 € t <sup>-1</sup>	Stanisavljević, 2012

### Sortiranje i obrada otpada radi dobijanja goriva – RDF-sortiranje

RDF sortiranje obuhvata izdvajanje sagorivih komponenata koje se šalju na peletiranje, zatim organske frakcije koje su podloga za biološki tretmani proces u kojem se pomoću magnetizma izdavaju metalne frakcije. RDF sortiranje može da bude predtretman dobijanja sabijenih paketa ili peleta (gusti RDF, eng. *densified RDF-dRDF*) i predtretman dobijanja neobrađenog goriva iz otpada (grubi RDF, eng. *coarse RDF-cRDF*). RDF proces definisan u scenariju 3 predstavlja dRDF proces.

#### Potrošnja energije

Pojedine operacije u RDF procesu sortiranja zahtevaju značajnu potrošnju električne energije, npr. primarno usitnjavanje 12,5 kWh t<sup>-1</sup>, sekundarno usitnjavanje 8,5 kWh t<sup>-1</sup> ili formiranje peleta 9,5 kWh t<sup>-1</sup>. Pored toga, proces sušenja zahteva oko 400 MJ toplotne energije po toni ulazne sirovine. Usvojeni podaci za RDF proces dati su u tabeli 3.5. Za "tipičan" sastav otpada oko 27 % ulazne sirovine izdvaja se u pelete, dok se 18,3 % izgubi u procesu peletiranja (McDougall i dr, 2008).

#### Ekonomski troškovi

Operativni troškovi zavise od kapaciteta RDF postrojenja i kreću se od 12 do 36 € t<sup>-1</sup> (Caputo i dr., 2002, Emery i dr., 2007, Dong i Lee, 2009). Za postrojenja kapaciteta 100.000 tona god<sup>-1</sup> ova vrednost iznosi ≈33 € t<sup>-1</sup> ulaza, a za postrojenje kapaciteta 200.000 tona god<sup>-1</sup> ova vrednost iznosi ≈24 € t<sup>-1</sup> ulaza.



Tabela 3.5 Ulazni podaci za RDF proces sortiranja

			Izvor
Potrošnja energije	El. energija	55,5 kWh t <sup>-1</sup>	McDougall i dr, 2008
	Prirodni gas	10,3 m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>	
Troškovi procesa		34 € t <sup>-1</sup>	Dong i Lee, 2009

Usvojene vrednosti prikazane su u tabeli 3.5, a odabir ovih vrednosti sproveden je u odnosu na kapacitet postrojenja, odnosno, godišnju količinu tretiranog otpada. Prihodi od izdvojenih metala iznose 57 € t<sup>-1</sup> (Kohaupt, 2009, Achinas i dr., 2013).

### **Biološki tretman otpada – kompostiranje**

Postoji mnoštvo različitih metoda kompostiranja. U osnovi se ove metode dele na otvorene sisteme, koji se odvijaju na otvorenom prostoru, i zatvorene sisteme, kod kojih se celokupan proces ili deo procesa odvija u zatvorenom reaktoru. U ovoj LCA analizi predviđeno je kompostiranje na otvorenom prostoru.

Ulazni podaci koji definišu proces kompostiranja otpada u ovom modelu odnose se na potrošnju energije (kWh t<sup>-1</sup>) otpada, gubitak mase (%) u toku procesa, operativne troškove (€ t<sup>-1</sup>) i tržišnu vrednost komposta (€ t<sup>-1</sup>).

#### **Potrošnja energije**

Kompostiranje jeste energetski zahtevan proces, a ne proizvodi energiju u korisnom obliku. Potrošnja energije zavisi od kvaliteta ulazne sirovine (sirovine razdvojene na samom izvoru ili mehaničkim putem) i u literaturi se ove vrednosti kreću od 15 do 80 kWh t<sup>-1</sup> otpada (Moller, 2016). Za potrebe ovog istraživanja usvojena je vrednost od 30 kWh t<sup>-1</sup> otpada, (Komilis i Ham 2004) obzirom da se organski otpad selektuje na izvoru. Usled visokog sadržaja vlage u otpadnom materijalu u toku procesa izgubi oko 50 % mase pri isparavanju i respiraciji.

#### **Ekonomski troškovi**

Na osnovu publikovanih podataka tržišna vrednost komposta se kreće od 15 do 70 € (Komilis i Ham 2004, Hogg, 2001), a prema autoru Jovičić i dr. (2009) ova vrednost može da iznosi i do 110 € t<sup>-1</sup>. U ovoj analizi je usvojena vrednost od 30 € t<sup>-1</sup> komposta, obzirom da se radi o kompostu proizvedenom od komunalnog otpada, odnosno kompostu nižeg kvaliteta (Hogg, 2001, Komilis i Ham 2004).

U zavisnosti od izabranog procesa kompostiranja operativni troškovi se kreću od 25 do 55 € t<sup>-1</sup> ulaza otpada (Johannes i dr., 1998). Usvojena vrednost u ovom istraživanju je 37

€ t<sup>-1</sup> (Renkow i dr., 1998). Tabela 3.6 daje prikaz usvojenih vrednosti potrebnih za definisanje procesa kompostiranja.

Tabela 3.6 Ulazni podaci za proces kompostiranja otpada

			Izvor
Potrošnja energije	El. energija	30 kWh t <sup>-1</sup>	Moller, 2016
Troškovi procesa		37 € t <sup>-1</sup>	Renkow i dr., 1998

Uštede ili koristi koje nastaju zbog proizvodnje komposta LCI modul obračunava kroz reciklažu. Ove vrednosti se odnose na smanjenje opterećenja životne sredine usled proizvodnje đubriva kroz parametre N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O. Prosečan sadržaj ovih parametara u kompostu iznosi: 1,18 % za N, 0,68 % za P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i 0,9 % za K<sub>2</sub>O u suvoj materiji.

### **Odlaganje otpada na deponije**

Scenario 1 obuhvata odlaganje otpada na neuređenu deponiju dok ostali scenariji podrazumevaju deponiju koja je opremljena sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa i procednih voda. Procesom deponovanja obuhvaćena je i transfer stanica.

#### **Potrošnja energije**

Potrošnja električne energije (osvetljenje pratećih objekata, rad ventilatora i pumpi) i potrošnja goriva na lokaciji deponije (kompaktovanje, premeštanje zemljišta, ekstrakcija i sagorevanje gasa, tretman procednih voda i dr.) su podaci koje je potrebno definisati za nesanitarnu i sanitarnu deponiju.

Analizom literature dobijene su sledeće vrednosti: količina potrebne električne energije iznosi 0,3 i 0,5 kWh t<sup>-1</sup> (Hong i dr. 2010), a potrošnja goriva za proces deponovanja otpada se kreće od 0,4 do 1 litara dizela po toni deponovanog otpada (Manfredi i dr, 2009). U radu su usvojene vrednosti od 0,6 (nesanitarna deponija) (CPM LCA Database) i 0,8 (sanitarna deponija) litara dizel goriva po toni otpada (Manfredi i dr, 2009).

Kada je reč o energetske potrebama transfer stanice, ne postoji mnogo publikovanih podataka. U literaturi se mogu naći vrednosti od 0,002 do 1,5 kWh t<sup>-1</sup> otpada u zavisnosti od tipa transfer stanice, a za potrošnju dizel goriva vrednosti se kreću od 0,13 do 1,8 l t<sup>-1</sup> otpada (Kosmicki, 1997). Troškovi transfer stanice objedinjeni su sa troškovima deponovanja.

### Deponijski gas i deponijske procedne vode

Koeficijenti efikasnosti sakupljanja deponijskog gasa kreću se od 40 do 90 % a deponijskih voda od 75 do 95 % (Huitric i dr., 2006). Deponijski gas nastaje od biodegradabilne frakcije otpada. Prosečne vrednosti za količinu gasa koji nastaje na deponiji kreću se od 150 do 250 Nm<sup>3</sup> po toni biodegradabilnog otpada. Takođe, gas nastaje i od biološki tretiranog otpada ili komposta koji nema tržišnu vrednost i odložen je na deponiju. Količina deponijskog gasa koja nastaje od biološki tretiranog otpada kreće se od 100 do 176 Nm<sup>3</sup>. U ovom radu usvojena je vrednost 250 Nm<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> biodegradabilnog i 100 Nm<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> biološki tretiranog otpada (Arena et al. 2003). Toplotna vrednost deponijskog gasa se kreće od 15-21 MJ Nm<sup>3</sup><sup>-1</sup> u zavisnosti od sadržaja metana, a u radu je usvojena srednja vrednost od 18 MJ Nm<sup>3</sup><sup>-1</sup>. Ova količina energije se koristi za sagorevanje, a količina korisne energije zavisi od toga da li se gas koristi za svrhe grejanja ili dobijanja električne energije. Za potrebe ovog istraživanja polazi se od pretpostavke da se sprovodi spaljivanje deponijskog gasa u gasnom motoru za generisanje električne energije. Efikasnost konverzije ovog sistema je 30 % a generisanje električne energije iznosi 1,5 kWh Nm<sup>3</sup><sup>-1</sup> deponijskog gasa (McDougall i dr., 2008). Za deponije opasnog otpada ovaj model pretpostavlja da nema generisanja deponijskog gasa već samo procednih voda.

Većina velikih modernih deponija je obložena geomembranom ili slojem sabijene gline, što omogućava da procedne vode koje nastaju u ovako zatvorenoj deponiji mogu da cirkulišu i da ubrzavaju proces raspadanja otpada ili mogu da budu sprovedene do sistema za preradu otpadnih voda. U ovom modelu u obzir se uzima tretman deponijskih voda, a za efikasnost tretmana deponijskih voda mogu se naći vrednosti od 75 do 95 % (Bohdziewicz i dr, 2008) i od 40 do 97 % (Renoua i dr., 2008).

### Zapremina otpada

Vrednosti koje su usvojene u ovoj disertaciji kada je u pitanju zapremina otpada na deponiji prikazane su u tabeli 3.7. Ove vrednosti su date u publikaciji Švajcarske agencije za životnu sredinu *Inventar životnog ciklusa za ambalažu* (BUWAL, 1998) i korišćene su u brojnim publikacijama. Prosečna vrednost gustine sabijenog komunalnog otpada iznosi 0,9 t m<sup>3</sup><sup>-1</sup>.

Tabela 3.7 Zapremina otpada na deponiji (BUWAL, 1998)

Frakcija	Papir	Staklo	Metal	Plastika	Tekstil	Organski	Ostalo	Kompost	Pepeo
t m <sup>3</sup> <sup>-1</sup>	0,95	1,96	0,80	0,96	0,69	0,90	0,90	1,29	1,49

### Ekonomski troškovi

Ekonomski troškovi odlaganja otpada na deponije variraju širom Evrope. Varijabilnost odražava geografske razlike uglavnom u troškovima zemljišta, projektovanju deponija i inženjerskim zahtevima i troškovima radne snage. Ekonomski troškovi deponije treba da uključuju: troškove zemljišta, kapitalne troškove, operativne troškove, troškove zatvaranja i dugoročno praćenje posle zatvaranja deponije.

Podaci kojima se definiše proces odlaganja otpada na deponije su prikazani u narednoj tabeli 3.8. Efikasnost sakupljanja deponijskog gasa i deponijskih voda iznosi 90 %, a efikasnost tretmana deponijskih voda 95 %.

Tabela 3.8 Ulazni podaci za proces deponovanja otpada

Nesanitarna deponija			Izvor
Potrošnja energije	El. energija	0,3 kWh t <sup>-1</sup>	Hong i dr, 2010
	Dizel	0,6 l t <sup>-1</sup>	CPM LCA Database,
Troškovi		12 € t <sup>-1</sup>	Stanisavljević, 2012
Sanitarna deponija			
Potrošnja energije	El. energija	0,5 kWh t <sup>-1</sup>	Hong i dr, 2010
	Dizel	0,8 l t <sup>-1</sup>	Manferdi i dr, 2009
Troškovi		45 € t <sup>-1</sup>	Stanisavljević, 2012
Troškovi deponije opasnog otpada		100 € t <sup>-1</sup>	

### Termički tretman otpada

Termički tretman otpada (insineracija) je opcija kojom se redukuje zapremina otpada, a kao rezultat dobijaju se inertni ostatak i energija. Insineracija neselektovanog komunalnog čvrstog otpada i insineracija RDF-a su dva tipa termičkog tretmana otpada koja su razmatrana u ovoj disertaciji. Podaci o energetskim potrebama, finansijskim troškovima i drugim parametrima potrebnim za definisanje ovih postrojenja dati su u tabeli 3.9. Za potrebe ove analize pretpostavlja se da se energija dobijena iz otpada koristi za podmirivanje sopstvenih potreba postrojenja, a da se ostatak energije izvozi iz sistema u vidu električne energije. Neodgovarajući materijal, kao što su veliki metalni predmeti ili potencijalno opasni materijali koji mogu da oštete procesnu opremu, izdvajaju se u toku predtretmana u okviru procesa insineracije neselektovanog komunalnog otpada. Rezidualni otpad iz procesa insineracije može da sadrži karakteristike opasnog otpada i ovakav otpad se odlaže na deponije opasnog otpada.

### Potrošnja energije

U procesu insineracije neselektovanog komunalnog otpada potrebe za električnom energijom procenjuju se na oko 70 kWh t<sup>-1</sup> ulaznog materijala. Ova procena bazirana je na srednjoj vrednosti podataka koji se mogu naći u literaturi, a kreću se od 60 do 80 kWh t<sup>-1</sup> otpada (*Villeneuve i dr, 2009, Cherubini i dr, 2008, Liamsanguan i Gheewala, 2008*).

Za proces inisineracije RDF-a usvojena je vrednost 20 kWh t<sup>-1</sup> RDF-a, a u literaturi se mogu naći vrednosti od 18 do 23 kWh t<sup>-1</sup> RDF-a (*Khoo, 2009, Arena i dr. 2003*). Oko 14 % električne energije koja se proizvede u ovom procesu utroši se na rad samog postrojenja. Energija je, takođe, potrebna u obliku prirodnog gasa za grejanje spalionice insineratora i ova vrednost se procenjuje na oko 0,23 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> ulaznog materijala (*McDougall i dr., 2008*).

Proizvodnja energije zavisi od sastava čvrstog komunalnog otpada. Ključni parametar jeste sadržaj vode u čvrstom komunalnom otpadu, koji utiče na toplotnu vrednost otpada. Zbog heterogenog sastava komunalnog otpada, toplotna moć za komunalni čvrsti otpad u modelu izračunata je na osnovu sastava otpada, koristeći specifične toplotne vrednosti materijala (papir 10,5 GJ t<sup>-1</sup>, staklo -0,5 GJ t<sup>-1</sup>, plastika 25 GJ t<sup>-1</sup>, tekstil 13,5 GJ t<sup>-1</sup>, organski otpad 3,7 GJ t<sup>-1</sup> i kompost 7,4 GJ t<sup>-1</sup>), a kalorijska vrednost za RDF iznosi 18 GJ t<sup>-1</sup> RDF-a (*McDougall i dr., 2008*). Efikasnost sistema odnosno konverzije u električnu energiju iznosi 27 % (*Cherubini i dr., 2008*).

Pri procesu insineracije otpada čvrsti otpad se javlja iz dva izvora: ostaci od sagorevanja (pepeo) i čvrsti ostaci iz sistema za prečišćavanje gasova (filterska prašina i mulj od tremana vode, ukoliko se koristi mokri postupak za prečišćavanje gasova). Količina pepela i ostatak iz sistema za prečišćavanje koji će se proizvesti u procesu insineracije zavisi pre svega od sastava otpada. U procesu insineracije neselektovanog otpada generiše se od 250 do 300 kg pepela po toni otpada. Suvi sistem za prečišćavanje gasova daje oko 45 kg prašine i ostataka po toni otpada. Polu suvi ili polu mokri proces proizvodi oko 40 kg pepela po toni ulaza u peć, a mokri proces generiše od 20 do 30 kg prašine i od 2,5 do 12 kg mulja po toni otpada. U RDF procesu javlja se oko 86 kg pepela po toni ulaza, 1,3 kg filterske prašine nastale u procesu prečišćavanja gasova i 12 kg mulja iz mokrog procesa prečišćavanja gasova (*White i dr, 1999*).

### Ekonomski troškovi

Ekonomski troškovi insineracije se generalno smatraju veoma visokim zbog visokih investicionih ulaganja. Ovi podaci variraju u zavisnosti od kapaciteta, opreme za prečišćavanje gasova i sl. U literaturi se vrednosti kreću od 100 do 120 € t<sup>-1</sup>, a za potrebe rada usvojeni su podaci koji su prikazani u tabeli 3.9.

Tabela 3.9 Ulazni podaci za RDF insineratore i insineratore neselektovanog komunalnog otpada

RDF		Izvor	
Potrošnja energije	El. energija	20 kWh t <sup>-1</sup>	McDougall i dr, 2008
Troškovi		100 € t <sup>-1</sup>	Khoo, 2009
Insineracija			
Potrošnja energije	El. energija	70 kWh t <sup>-1</sup>	Cherubini i dr, 2008
	Prirodni gas	0,23 m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>	McDougall i dr, 2008
Troškovi		110 € t <sup>-1</sup>	Stanisavljević, 2012

### 3.4 Verifikacija modela na scenariju 1

#### Sakupljanje i transport

Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja dati su u tabeli 3.10.

Tabela 3.10 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 1

Frakcija	Ulaz, tona god <sup>-1</sup>	Izlazi, tona god <sup>-1</sup>	
		Otpad koji se sprovodi na postrojenje za sortiranje	Otpad koji se direktno odlaže na deponiju
Papir	28.398	13.231	15.167
Staklo	10.772	1.219	9.553
Metal	4.701	1.358	3.343
Plastika	28.398	1.740	26.658
Tekstil	7.638		7.638
Organski	90.091	763	89.328
Ostalo	25.852	763	25.089
<b>Ukupno</b>	<b>195.850</b>	<b>19.074</b>	<b>176.776</b>

#### Postrojenje za sortiranje

Količine ulaznih i izlaznih sirovina za scenario 1, za postrojenje za sortiranje, date su u tabeli 3.11. Nivo kontaminacije materijala iznosi ≈47 %.

Tabela 3.11 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za sortiranje – scenario 1

Frakcija	Ulaz, tona god <sup>-1</sup>	Izlaz, tona god <sup>-1</sup>	
		Sekundarne sirovine (materijali)	Rezidualne količine otpada
Papir	13.231	6.748	6.483
Staklo	1.219	621	597
Metal	1.358	692	665
Plastika	1.740	889	854
Organski	763		763
Ostalo	763		763
<b>Ukupno</b>	<b>19.074</b>	<b>8.950</b>	<b>10.125</b>

Deponija

Tabela 3.12 Materijalni ulazi procesa deponovanja – scenario 1

Frakcija	Ulazi, tona god <sup>-1</sup>	
	Rezidualne količine otpada iz procesa separacije	Otpad koji se direktno odlaže na deponiju
Papir	6.483	15.167
Staklo	597	9.553
Metal	665	3.343
Plastika	854	26.658
Tekstil		7.638
Organski	763	89.328
Ostalo	763	25.089
<b>Ukupno</b>	<b>10.125</b>	<b>176.776</b>

Na deponiju koja ne zadovoljava sanitarno-tehničke zahteve odlaže se preostali otpad od procesa sortiranja (10.125 tona) i otpad koji se direktno iz sistema sakupljanja odnosi na deponiju (176.776 tona). Ulazi procesa deponovanja u scenariju 1 dati su u tabeli 3.12. Izlazi su dati u formi emisija i rezidualnih količina otpada, što je razmatrano u rezultatima inventara.

**3.4.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 1**

Rezultati inventara za scenario 1 su dati u narednim tabelama (tabele 3.13 – 3.16). U procesu sakupljanja uzeto je u obzir samo stanovništvo obuhvaćeno uslugama organizovanog sakupljanja. U tabeli 3.13 prikazana je potrošnja/proizvodnja energije u postojećem scenariju. U scenariju 1 energija se uštedi u procesu reciklaže i iznosi 82.113 GJ. Najveća potrošnja energije jeste u sistemu sakupljanja otpada i iznosi 132.256 GJ god<sup>-1</sup>. Ukupna potrošnja energije u ovom scenariju iznosi 64.339 GJ.

Tabela 3.13 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – potrošnja/proizvodnja energije

Energent	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Potrošnja el. ener.	kWh		4,20·10 <sup>5</sup>			5,61·10 <sup>4</sup>		
Proizvod. el. ener.	kWh							
Reciklaža	GJ						-8,21·10 <sup>4</sup>	
Dizel gorivo	l	2,63·10 <sup>6</sup>	2,81·10 <sup>4</sup>			1,12·10 <sup>5</sup>		
Prirodni gas	m <sup>3</sup>		4,39·10 <sup>4</sup>					
Ukupno	GJ	1,32·10 <sup>5</sup>	7,98·10 <sup>3</sup>			6,22·10 <sup>3</sup>	-8,21·10 <sup>4</sup>	6,43·10 <sup>4</sup>

Cena upravljanja komunalnim otpadom u scenariju 1 iznosi 58 € po toni otpada, a troškovi po stanovniku na godišnjem nivou iznose 21 € (tabela 3.14).

Tabela 3.14 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – ukupni troškovi

Troškovi	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Rashodi		10.152.864	258.087			2.429.701		12.840.652
Prihodi			-1.419.320					-1.419.320
Ukupno	€	10.152.864	-1.161.232			2.429.701		11.421.332
Trošak/ domaćinstvu		52	-6			12		58
Trošak/ stanovniku		19	-2			5		21

U životnom ciklusu otpada, u scenariju 1, od gasova sa efektom staklene bašte, direktno se u atmosferu emituje 33.585 t CO<sub>2</sub>, 11.732 t CH<sub>4</sub> i 79 kg N<sub>2</sub>O na godišnjem nivou. Ove emisije se javljaju u svim procesima obuhvaćenim sistemom upravljanja otpadom. Količine deponijskog gasa koje se generišu u postojećem scenariju i koje se oslobađaju u atmosferu iznose 29.844.868 Nm<sup>3</sup>.

Iz iznetih rezultata u tabeli 3.15 može se videti da "zakišeljavanju zemljišta" u scenariju 1 najviše doprinose emisije NO<sub>x</sub>. Za emisije NO<sub>x</sub> je pretežno odgovoran proces sakupljanja i transporta otpada.

Tabela 3.15 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – emisije u vazduh

Emisije u vazduh	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
CO <sub>2</sub>		7,94·10 <sup>6</sup>	4,69·10 <sup>5</sup>			2,68·10 <sup>7</sup>	-1,59·10 <sup>6</sup>	3,36·10 <sup>7</sup>
CH <sub>4</sub>		9,66·10 <sup>3</sup>	7,33·10 <sup>2</sup>			1,17·10 <sup>7</sup>	-3,56·10 <sup>6</sup>	1,17·10 <sup>7</sup>
N <sub>2</sub> O		1,92·10 <sup>-1</sup>	4,00·10 <sup>0</sup>			5,03·10 <sup>-1</sup>	7,50·10 <sup>1</sup>	7,97·10 <sup>1</sup>
SO <sub>x</sub>	kg	1,20·10 <sup>4</sup>	2,28·10 <sup>3</sup>			7,96·10 <sup>2</sup>	-1,92·10 <sup>4</sup>	-4,20·10 <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>		1,43·10 <sup>5</sup>	2,28·10 <sup>3</sup>			6,18·10 <sup>3</sup>	-5,75·10 <sup>3</sup>	1,46·10 <sup>5</sup>
NH <sub>3</sub>		2,15·10 <sup>4</sup>	6,43·10 <sup>-1</sup>			8,55·10 <sup>-2</sup>	5,13·10 <sup>2</sup>	5,14·10 <sup>2</sup>

U tabeli 3.16 prikazane su rezidualne količine otpada ili količine otpada koje preostaju nakon svih tretmana otpada obuhvaćenih sistemom upravljanja otpadom u scenariju 1, uzimajući u obzir benefite koji nastaju zbog procesa reciklaže. Rezidualna količina otpada iznosi 177.425 tona, ili 90 % od ukupne količine otpada. Za potrebe određivanja indikatora "zauzimanje zemljišta" potrebno je ovaj parametar predstaviti kroz zapreminu otpada, što iznosi 189.182 m<sup>3</sup> god<sup>-1</sup>.



**Tabela 3.16 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 1 – rezidualne količine otpada**

Otpad	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Neopasan			10.125			176.776		186.900
Opasan								
Usled potrš. ener.	t	15	36			5	-1.672	-1.616
Od tretmana proc. voda								
Krediti reciklaže							-7.860	-7.860
Ukupno		15	10.160			176.781	-9.531	177.425
Zapremina	m <sup>3</sup>	10	9.971			187.722	-8.521	189.182

### 3.4.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 1

Rezultati koji se odnose na indikatore na međupozicijama i krajnjim pozicijama mehanizama životne sredine, kao i normalizovane vrednosti dati su u tabelama 3.17-3.19. Sumarno su rezultati na nivou ocenjivanja uticaja životnog ciklusa prikazani u tabeli 3.20.

**Tabela 3.17 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 1 – globalno zagrevanje**

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god	kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god
CO <sub>2</sub>	3,36·10 <sup>7</sup>		3,36·10 <sup>7</sup>	2,90·10 <sup>3</sup>	3,36·10 <sup>7</sup>	2,90·10 <sup>3</sup>
CH <sub>4</sub>	1,17·10 <sup>7</sup>	kg	2,93·10 <sup>8</sup>	2,53·10 <sup>4</sup>	2,93·10 <sup>8</sup>	2,53·10 <sup>4</sup>
N <sub>2</sub> O	7,90·10 <sup>1</sup>		2,35·10 <sup>4</sup>	2,03·10 <sup>0</sup>	2,35·10 <sup>4</sup>	2,03·10 <sup>0</sup>
<b>Ukupno</b>			<b>3,27·10<sup>8</sup></b>	<b>2,82·10<sup>4</sup></b>	<b>3,27·10<sup>8</sup></b>	<b>2,82·10<sup>4</sup></b>

**Tabela 3.18 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 1 – zakišeljavanje zemljišta**

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg SO <sub>2</sub> -ekv	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
SO <sub>x</sub>	-4,19·10 <sup>3</sup>		-4,19·10 <sup>3</sup>	-1,33·10 <sup>1</sup>	-4,36·10 <sup>3</sup>	-3,16·10 <sup>-1</sup>
NO <sub>x</sub>	1,46·10 <sup>5</sup>	kg	7,99·10 <sup>5</sup>	2,53·10 <sup>3</sup>	8,32·10 <sup>5</sup>	6,03·10 <sup>1</sup>
NH <sub>3</sub>	5,14·10 <sup>2</sup>		7,69·10 <sup>3</sup>	2,44·10 <sup>1</sup>	8,00·10 <sup>3</sup>	5,80·10 <sup>-1</sup>

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
<b>Ukupno</b>		<b>kg</b>	<b>7,95·10<sup>5</sup></b>	<b>2,52·10<sup>3</sup></b>	<b>8,27·10<sup>5</sup></b>	<b>5,99·10<sup>1</sup></b>

Tabela 3.19 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 1 – zauzimanje zemljišta

	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			m <sup>2</sup> <sub>ekv</sub> ·god	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
<b>Ukupno</b>	<b>9,25·10<sup>5</sup></b>	<b>m<sup>2</sup>·god</b>	<b>7,12·10<sup>5</sup></b>	<b>2,06·10<sup>2</sup></b>	<b>7,77·10<sup>5</sup></b>	<b>5,63·10<sup>1</sup></b>

Tabela 3.20 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 1

Kategorija uticaja	Rezultati indikatora na međupoziciji	Rezultati indikatora na krajnjoj poziciji	Uticaj životnog ciklusa komunalnog otpada (point)
Globalno zagrevanje	3,27·10 <sup>8</sup> kg CO <sub>2-ekv</sub>	3,27·10 <sup>8</sup> kg CO <sub>2-ekv</sub>	28.200
Zakiseljavanje zemljišta	7,95·10 <sup>5</sup> kg SO <sub>2-ekv</sub>	8,27·10 <sup>5</sup> PDF·m <sup>2</sup> ·god	59
Zauzimanje zemljišta	7,12·10 <sup>5</sup> m <sup>2</sup> <sub>ekv</sub>	7,77·10 <sup>5</sup> PDF·m <sup>2</sup> ·god	56
<b>Ukupno</b>			<b>28.315</b>

Količina emisija CO<sub>2-ekv</sub> u vazduh koje se odnose na "klimatske promene" i "globalno zagrevanje" iznose 326.914 tona. "Kvalitet ekosistema" u scenariju 1 je ugrožen u iznosu od 827.162 PDF·m<sup>2</sup>·god kroz "zakiseljavanje zemljišta" i 776.873 PDF·m<sup>2</sup>·god kroz "zauzimanje zemljišta". Emisije SO<sub>2-ekv</sub> koje doprinose "zakiseljavanju zemljišta" iznose 794 tona, a za "zauzimanje zemljišta" odgovorna je površina od 651.676 m<sup>2</sup><sub>ekv</sub>.

Ukupan normalizovan uticaj životnog ciklusa komunalnog otpada u scenariju 1, kroz odabrane indikatore, iznosi 28.315 pt, što znači da će emisije koje nastaju usled ovakvog sistema upravljanja otpadom imati efekat na životnu sredinu kao 28.315 stanovnika Evrope u toku jedne godine.

### 3.5 Verifikacija modela na scenariju 2

#### Sakupljanje i transport

Tabela 3.21 daje prikaz ulaza i izlaza procesa sakupljanja.

Tabela 3.21 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 2

Frakcija	Ulaz, tona god <sup>-1</sup>	Izlazi, tona god <sup>-1</sup>		
		Otpad koji se sprovodi na postrojenje za sortiranje	Otpad koji se sprovodi na kompostiranje	Otpad koji se direktno odlaže na deponiju
Papir	28.398	16.459		11.939
Staklo	10.772	6.229		4.543
Metal	4.701	2.405		2.296
Plastika	28.398	6.307	3.036	19.056
Tekstil	7.638			7.638
Organski	90.091		57.674	32.416
Ostalo	25.852			25.852
<b>Ukupno</b>	<b>195.850</b>	<b>31.400</b>	<b>60.710</b>	<b>103.740</b>

#### Postrojenje za sortiranje

Na postrojenje za sortiranje odlazi 31.400 tona otpada. Nivo kontaminacije iznosi ≈8 % s obzirom da se radi o sirovinama koje su primarno selektovane. U ovakvim slučajevima, kada su sirovine relativno čiste kontaminacija se kreće od 6 do 10 % (McDougall i dr, 2008).

Količine materijala na ulazu i izlazu iz postrojenja za separaciju date su u tabeli 3.22.

Tabela 3.22 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za sortiranje – scenario 2

Frakcija	Ulaz, tona god <sup>-1</sup>	Izlaz, tona god <sup>-1</sup>	
		Sekundarne sirovine (materijali)	Rezidualne količine otpada
Papir	16.459	15.142	1.317
Staklo	6.229	5.730	498
Metal	2.405	2.214	193
Plastika	6.307	5.802	504
<b>Ukupno</b>	<b>31.400</b>	<b>28.888</b>	<b>2.512</b>

#### Kompostiranje

Biološkom tretmanu podvrgnuto je 60.710 tona otpada. Od ove količine otpada ≈23 % odlazi na kompost kao proizvod koji ima tržišnu vrednost (pretpostavka od koje se polazi jeste da 50 % od dobijenog komposta ima tržišnu vrednost, dok ostatak odlazi na deponiju i koristi se kao inertan materijal za prekrivanje otpada), ≈46 % se izgubi usled procesa isparavanja i degradacije, a ≈31 % odlazi na sanitarnu deponiju. Ulaz i izlazi postrojenja za kompostiranje dati su u tabeli 3.23.

Tabela 3.23 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za kompostiranje – scenario 2

Frakcija	Ulaz, tona godišnje	Izlaz, tona godišnje		
		Spaljeno	Kompost	Rezidualne količine
Organski	60.710	28.116	14.058	18.536

### Sanitarna deponija

Na deponiju se odlaže preostali otpad iz procesa separacije (2.512 tone), procesa kompostiranja (18.536 tona) i otpad koji se direktno iz procesa sakupljanja odvozi na deponiju (103.740 tona). Ulazi na sanitarnu deponiju prikazani su u tabeli 3.24.

Tabela 3.24 Materijalni ulazi procesa deponovanja – scenario 2

Frakcija	Ulazi, tona godišnje		
	Rezidualne količine iz procesa separacije	Rezidualne količine iz procesa kompostiranja	Otpad koji se direktno odlaže na deponiju
Papir	1.317		11.939
Staklo	497		4.543
Metal	192		2.296
Plastika	506		19.056
Tekstil			7.638
Organski			32.413
Ostalo			25.855
Kompost		18.536	
<b>Ukupno</b>	<b>2.512</b>	<b>18.536</b>	<b>103.740</b>

### 3.5.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 2

Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 2 prikazani su u narednim tabelama (tabele 3.25 – 3.28).

U tabeli 3.25 prikazana je ukupna potrošnja i proizvodnja energije u scenariju 2, kroz sve faze životnog ciklusa otpada. Ušteda energije u ovom scenariju iznosi 1,7 GJ t<sup>-1</sup> otpada. Za ove uštede odgovoran je proces reciklaže i sanitarnog deponovanja. Korišćenjem deponijskog gasa u energetske svrhe ovaj scenario ostvaruje uštede energije od ≈205.000 GJ god<sup>-1</sup>. Na osnovu izdvojenih materijala koji odlaze na reciklažu ušteda energije iznosi 298.961 GJ.

Tabela 3.25 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – potrošnja/proizvodnja energije

Energent	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Potrošnja el. ener.	kWh		6,91·10 <sup>5</sup>	1,82·10 <sup>6</sup>		6,49·10 <sup>4</sup>		
Proizvod. el. ener.	kWh					-2,04·10 <sup>7</sup>		

Reciklaža	GJ						-2,99·10 <sup>5</sup>	
Dizel gorivo	l	2,74·10 <sup>6</sup>	4,10·10 <sup>4</sup>	1,82·10 <sup>3</sup>			1,37·10 <sup>5</sup>	
Prirodni gas	m <sup>3</sup>		7,22·10 <sup>4</sup>					
Ukupno	GJ	1,32·10 <sup>5</sup>	1,29·10 <sup>4</sup>			-2,05·10 <sup>5</sup>	-2,99·10 <sup>5</sup>	-3,34·10 <sup>5</sup>

Ukupna cena upravljanja otpadom u scenariju 2 iznosi oko 16.953.115 € na godišnjem nivou, a po toni generisanog otpada 86 €. Troškovi pojedinačnih procesa u sistemu upravljanja otpadom za scenario 2 dati su u tabeli 3.26.

Tabela 3.26 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – ukupni troškovi

Troškovi	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Rashodi		16.059.700	410.709	2.264.814		5.740.209		24.475.432
Prihodi			-4.688.984	-1.405.821		-1.427.512		-7.522.317
Ukupno	€	16.059.700	-4.278.275	858.933		4.312.696		16.953.115
Trošak/ domaćinstvu		81	-22	4		22		86
Trošak/ stanovniku		30	-8	2		8		32

Rezultati emisija u vazduh prikazane su u tabeli 3.27. Posmatrajući životni ciklus otpada u scenariju 2 kroz emisije u vazduh, uočava se da se u najvećim količinama javlja CO<sub>2</sub> (10.725 t god<sup>-1</sup>). Pojava ovog jedinjenja se pripisuje razgradnji organske materije u procesu deponovanja.

Usled sanitarnog deponovanja ostvaruju se uštede SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> i NH<sub>3</sub>. Najveće količine NH<sub>3</sub> pojavljuju se u procesu reciklaže papira (621 kg god<sup>-1</sup>), odnosno usled procesa pulpiranja.

Tabela 3.27 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – emisije u vazduh

Emisije u vazduh	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
CO <sub>2</sub>		8,27·10 <sup>6</sup>	7,57·10 <sup>5</sup>	1,63·10 <sup>6</sup>		1,04·10 <sup>7</sup>	-1,03·10 <sup>7</sup>	1,07·10 <sup>7</sup>
CH <sub>4</sub>		1,01·10 <sup>4</sup>	1,19·10 <sup>3</sup>	2,63·10 <sup>3</sup>		5,64·10 <sup>5</sup>	-1,41·10 <sup>4</sup>	5,64·10 <sup>5</sup>
N <sub>2</sub> O		1,99·10 <sup>-1</sup>	6,24·10 <sup>0</sup>	1,60·10 <sup>1</sup>		-1,80·10 <sup>2</sup>	-7,20·10 <sup>2</sup>	-8,77·10 <sup>2</sup>
SO <sub>x</sub>	kg	1,25·10 <sup>4</sup>	3,72·10 <sup>3</sup>	9,31·10 <sup>3</sup>		-1,03·10 <sup>5</sup>	-5,59·10 <sup>4</sup>	-1,33·10 <sup>5</sup>
NO <sub>x</sub>		1,49·10 <sup>5</sup>	3,46·10 <sup>3</sup>	3,27·10 <sup>3</sup>		-2,66·10 <sup>4</sup>	-3,54·10 <sup>4</sup>	9,35·10 <sup>4</sup>
NH <sub>3</sub>		2,24·10 <sup>4</sup>	1,00·10 <sup>0</sup>	3,00·10 <sup>0</sup>		-3,10·10 <sup>1</sup>	6,21·10 <sup>2</sup>	5,93·10 <sup>2</sup>

U tabeli 3.28 su predstavljeni podaci o količinama otpada koji se odlažu na deponiju. Iz perspektive životnog ciklusa količina otpada koja zahteva konačno odlaganje iznosi 100.411 m<sup>3</sup>.

*Tabela 3.28 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 2 – rezidualne količine otpada*

Otpad	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Neopasan			2.512	18.536		103.740		124.787
Opasan								
Usled potrš. ener.	t	16	59			-1.708	-6.177	-7.658
Od tretmana proc. voda						253		253
Krediti reciklaže							-27.186	-27.186
Ukupno		16	2.571	18.689		102.284	-33.362	90.197
Zapremina	m <sup>3</sup>	10	2.274	15.685		110.284	-27.842	100.411

### 3.5.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 2

Pregled rezultata indikatora kategorija uticaja na međupozicijama i krajnjim pozicijama mehanizama životne sredine kao i normalizovane vrednosti dat je u tabelama 3.29. – 3.32.

*Tabela 3.29 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 2 – globalno zagrevanje*

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god	kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god
CO <sub>2</sub>	1,07·10 <sup>7</sup>		1,07·10 <sup>7</sup>	9,25·10 <sup>2</sup>	1,07·10 <sup>7</sup>	9,25·10 <sup>2</sup>
CH <sub>4</sub>	5,64·10 <sup>5</sup>	kg	1,41·10 <sup>7</sup>	1,22·10 <sup>3</sup>	1,41·10 <sup>7</sup>	1,22·10 <sup>3</sup>
N <sub>2</sub> O	-8,77·10 <sup>2</sup>		-2,61·10 <sup>5</sup>	-2,25·10 <sup>1</sup>	-2,61·10 <sup>5</sup>	-2,25·10 <sup>1</sup>
<b>Ukupno</b>			<b>2,48·10<sup>7</sup></b>	<b>2,14·10<sup>3</sup></b>	<b>2,48·10<sup>7</sup></b>	<b>2,14·10<sup>3</sup></b>

Tabela 3.30 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 2 – zakišeljavanje zemljišta

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg SO <sub>2-ekv</sub>	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
SO <sub>x</sub>	-1,33·10 <sup>5</sup>		-1,33·10 <sup>5</sup>	-4,23·10 <sup>2</sup>	-1,39·10 <sup>5</sup>	-1,01·10 <sup>-1</sup>
NO <sub>x</sub>	9,35·10 <sup>4</sup>	kg	5,13·10 <sup>5</sup>	1,63·10 <sup>3</sup>	5,34·10 <sup>5</sup>	3,87·10 <sup>1</sup>
NH <sub>3</sub>	5,93·10 <sup>2</sup>		8,87·10 <sup>3</sup>	2,81·10 <sup>1</sup>	9,23·10 <sup>3</sup>	6,69·10 <sup>-1</sup>
<b>Ukupno</b>			<b>3,80·10<sup>5</sup></b>	<b>1,20·10<sup>3</sup></b>	<b>3,95·10<sup>5</sup></b>	<b>2,87·10<sup>1</sup></b>

Tabela 3.31 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 2 – zauzimanje zemljišta

	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			m <sup>2</sup> <sub>ekv</sub> ·god	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
<b>Ukupno</b>	<b>4,69·10<sup>5</sup></b>	<b>m<sup>2</sup>·god</b>	<b>3,61·10<sup>5</sup></b>	<b>1,04·10<sup>2</sup></b>	<b>3,94·10<sup>5</sup></b>	<b>2,85·10<sup>1</sup></b>

Tabela 3.32 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 2

Kategorija uticaja	Rezultati indikatora na međupoziciji	Rezultati indikatora na krajnjoj poziciji	Uticaj životnog ciklusa komunalnog otpada (point)
Globalno zagrevanje	24.827 tona CO <sub>2-ekv</sub>	24.827 tona CO <sub>2-ekv</sub>	2.142
Zakišeljavanje zemljišta	379 tonaSO <sub>2-ekv</sub>	395.410 PDF·m <sup>2</sup> ·god	28
Zauzimanje zemljišta	360.810 m <sup>2</sup> <sub>ekv</sub>	393.611 PDF·m <sup>2</sup> ·god	28
<b>Ukupno</b>			<b>2.198</b>

Ukupan uticaj životnog ciklusa komunalnog otpada u scenariju 2, kroz odabrane indikatore, je normalizovan i procenjen na 2.198 pt (tabela 3.32.). Ovakvim sistemom upravljanja otpadom nepovoljan uticaj se umanjuje za 26.117 pt u odnosu na scenario 1.

U najvećoj meri negativne posledice se ogledaju kroz indikator "klimatske promene" i iznose 24.827 tona CO<sub>2</sub> ili 2.142 pt. A uticaj na "zakišeljavanje zemljišta" i "zauzimanje zemljišta" kao kategorije koje doprinose "kvalitetu ekosistema" iznose po 28 pt.

### 3.6 Verifikacija modela na scenariju 3

#### Sakupljanje i transport

Ulazi i izlazi procesa sakupljanja za scenario 3. dati su u tabeli 3.33.

Tabela 3.33 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 3

Frakcija	Ulaz, tona god <sup>-1</sup>	Izlazi, tona god <sup>-1</sup>		
		Otpad koji se sprovodi na postrojenje za sortiranje	Otpad koji se sprovodi na kompostiranje	Otpad koji se sprovodi na RDF tretman
Papir	28.398	16.459		11.939
Staklo	10.772	6.229		4.543
Metal	4.701	2.405		2.296
Plastika	28.398	6.307	3.036	19.056
Tekstil	7.638			7.638
Organski	90.091		57.674	32.416
Ostalo	25.852			25.852
<b>Ukupno</b>	<b>195.850</b>	<b>31.400</b>	<b>60.710</b>	<b>103.740</b>

#### Postrojenje za sortiranje

Na postrojenje za sortiranje odlazi 31.400 tona otpada od čega se 28.888 tona izdvoji kao sekundarne sirovine, a ostatak (2.512 tona otpada) se odlaže na sanitarnu deponiju. S obzirom da je ovim scenarijom obuhvaćena primarna separacija nivo kontaminacije materijala iznosi ≈8 %. Količine materijala na ulazu i izlazu iz postrojenja za separaciju date su u tabeli 3.34.

Tabela 3.34 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za sortiranje – scenario 3

Frakcija	Ulaz, tona god <sup>-1</sup>	Izlaz, tona god <sup>-1</sup>	
		Sekundarne sirovine (materijali)	Rezidualne količine otpada
Papir	16.459	15.142	1.317
Staklo	6.229	5.730	498
Metal	2.405	2.214	193
Plastika	6.307	5.802	504
<b>Ukupno</b>	<b>31.400</b>	<b>28.888</b>	<b>2.512</b>

#### RDF tretman

Na RDF tretman koji podrazumeva prethodno sortiranje i formiranje briketa odlazi 103.740 tona otpada. U procesu RDF sortiranja se ciljno izdvajaju: frakcije pogodne za formiranje briketa, frakcije pogodne za biološki tretman (koje se zatim usmeravaju na postrojenje za kompostiranje) i materijali za reciklažu. Ostatak otpada od navedena tri tretmana se odlaže na deponiju koja je opremljena sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa i procednih deponijskih voda.



RDF gorivo se spaljuje u RDF insineratoru. Tako dobijena energija se koristi za podmirivanje sopstavenih potreba, a ostatak energije se izvozi u mrežu. U tabeli 3.35 predstavljeni su ulazi i izlazi RDF postrojenja za sortiranje i formiranje briketa, a ulazi i izlazi RDF postrojenja za spaljivanje dati su u tabeli 3.36.

Tabela 3.35 Materijalni ulazi i izlazi RDF postrojenja, sortiranje i formiranje briketa – scenario 3

Frakcija	Ulaz, tona godišnje	Izlaz, tona godišnje
Papir	11.939	1.608 na deponiju 1.009 na kompostiranje 1.706 gubici* 7.616 RDF gorivo
Staklo	4.543	1.445 na deponiju 22 u formi materijala 3.076 na kompostiranje
Metal	2.296	317 na deponiju 1.829 u formi materijala 117 na kompostiranje 6 gubici* 26 RDF gorivo
Plastika	19.056	7.827 na deponiju 27 u formi materijala 1.217 na kompostiranje 1.827 gubici* 8.156 RDF gorivo
Tekstil	7.638	2.803 na deponiju 59 u formi materijala 301 na kompostiranje 819 gubici* 3.656 RDF gorivo
Organski	32.416	11.125 na deponiju 187 u formi materijala 17.496 na kompostiranje 661 gubici* 2.950 RDF gorivo
Ostalo	25.852	7.008 na deponiju 50 u formi materijala 15.269 na kompostiranje 645 gubici* 2.880 RDF gorivo
<b>Ukupno</b>	<b>103.740</b>	<b>32.133 na deponiju</b> <b>2.174 u formi materijala</b> <b>38.486 na kompostiranje</b> <b>5.664 gubici*</b> <b>25.284 RDF gorivo</b>

\*gubici prilikom procesa sušenja i peletiranja

Tabela 3.36 Materijalni ulazi i izlazi RDF postrojenja, spaljivanje – scenario 3

Frakcija	Ulaz, tona godišnje	Izlaz, tona godišnje
RDF gorivo	25.284	22.762 spaljeno 2.175 opasan rezidualni otpad 346 neopasan rezidualni otpad

#### Kompostiranje

Na proces kompostiranja odlazi 60.710 tona otpada iz procesa sakupljanja i 38.486 tona otpada iz RDF sortiranja, što ukupno iznosi ≈50 % od ukupne količine otpada. Tokom procesa sortiranja, kao predtretman procesa kompostiranja uklone se sve frakcije koje nisu pogodne za biološki tretman otpada, odnosno materijali kao što su staklo, plastika, metal i tekstil. Od ukupne količine otpada koja ulazi u proces kompostiranja ≈19 % otpada se izdvoji u formi komposta; međutim samo 50 % od dobijenog komposta ima tržišnu vrednost, dok ostatak odlazi na deponiju i koristi se kao inertan materijal za prekrivanje otpada, ≈37 % otpada se spali i ≈44 % otpada se odlaži na deponiju. Ulaz i izlazi postrojenja za kompostiranje u scenariju 3 dati su u tabeli 3.37.

Tabela 3.37 Materijalni ulazi i izlazi postrojenja za kompostiranje – scenario 3

Otpad	Ulaz, tona godišnje	Izlaz, tona godišnje		
		Spaljeno	Kompost	Rezidualni otpad
Iz procesa sakupljanja	60.710			
Iz RDF sortiranja	38.486	37.137	18.569	43.490

#### Sanitarna deponija

Na sanitarnu deponiju se odlaže ≈41 % ili 80.656 otpada od ukupne ulazne količine otpada. Od toga 2.512 tona otpada potiče iz postrojenja za sortiranje, 34.654 iz RDF postrojenja i 43.490 iz postrojenja za kompostiranje. Ulazi na sanitarnu deponiju, za scenario 3 prikazani su u tabeli 3.38.

Tabela 3.38 Materijalni ulazi procesa deponovanja – scenario 3

Frakcija	Ulazi, tona godišnje		
	Rezidualni otpad iz procesa separacije	Rezidualni otpad iz procesa kompostiranja	Rezidualni otpad iz RDF procesa
Papir	1.317	25	1.608
Staklo	497	3.076	1.445
Metal	192	117	317
Plastika	506	4.253	7.827
Tekstil		302	2.803
Organski		1.879	11.122
Ostalo		15.269	7.008
Pepeo			2.175

Frakcija	Ulazi, tona godišnje		
	Rezidualni otpad iz procesa separacije	Rezidualni otpad iz procesa kompostiranja	Rezidualni otpad iz RDF procesa
Opasan pepeo			349
Kompost		18.569	
<b>Ukupno</b>	<b>2.512</b>	<b>43.490</b>	<b>34.654</b>

### 3.6.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 3

LCI izlazi, odnosno rezultati na LCI nivou za scenario 3 dati su u tabelama 3.39-3.42.

Potrošnja/proizvodnja energije za scenario 3 data je u tabeli 3.39. Ovaj scenario obuhvata čak tri procesa u kojima se dobija korisna energija: termički tretman (energija dobijena spaljivanjem RDF goriva), odlaganje otpada na sanitarnu deponiju (sakupljanje, tretman i iskorišćenje deponijskog gasa radi dobijanja energije) i reciklaža (ušteda korišćenjem sekundarnih umesto primarnih materijala). Količina energije koja se proizvede i potroši u RDF procesu ostvaruje pozitivan energetske bilans od 389.361 GJ. Ukupna količina proizvedene energije u ovom scenariju iznosi 537.850 GJ.

Tabela 3.39 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – potrošnja/proizvodnja energije

Energent	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Potrošnja el. ener.	kWh		$6,45 \cdot 10^6$	$2,98 \cdot 10^6$	$5,06 \cdot 10^5$	$4,19 \cdot 10^4$		
Proizvod. el. ener.	kWh				$-3,79 \cdot 10^7$	$-8,95 \cdot 10^6$		
Reciklaža	GJ						$-3,57 \cdot 10^5$	
Dizel gorivo	l	$2,74 \cdot 10^6$	$5,03 \cdot 10^4$	$4,28 \cdot 10^3$	$4,97 \cdot 10^2$	$8,83 \cdot 10^4$		
Prirodni gas	m <sup>3</sup>		$1,14 \cdot 10^6$					
Ukupno	GJ	$1,38 \cdot 10^5$	$1,27 \cdot 10^5$	$3,12 \cdot 10^4$	$-3,89 \cdot 10^5$	$-8,82 \cdot 10^4$	$-3,57 \cdot 10^5$	$-5,38 \cdot 10^5$

Ukupna cena upravljanja otpadom na godišnjem nivou u scenariju 3 iznosi 20.087.344 €. Troškovi svih faza životnog ciklusa čvrstog komunalnog otpada dati su u tabeli 3.40.

Tabela 3.40 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – ukupni troškovi

Troškovi	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Rashodi	€	16.059.700	4.004.364	3.713.760	2.531.030	3.729.376		30.038.230
Prihodi			-4.688.984	-1.980.787	-2.654.953	-626.161		-9.950.886

Troškovi	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Ukupno		16.059.700	-684.620	1.732.972	-123.923	3.103.215		20.087.344
Trošak/ domaćinstvu		81	-3	9	-1	16		102
Trošak/ stanovniku		30	-1	3	-0	6		38

Kako je predstavljeno u tabeli 3.41, u scenariju 3 se ostavaruju uštede CO<sub>2</sub>. Ukupna ušteda iznosi 26.227 tona godišnje, a tome najviše doprinosi RDF tretman (1,3 tona CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> RDF-a). Prema autoru Dubini (2005) RDF postrojenja u velikoj meri štede CO<sub>2</sub>, što može da iznosi i do 1,42 tona CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> RDF-a. Koncentracije ostalih parametara u životnom ciklusu otpada u scenariju 3 su znatno niže u poređenju sa scenarijima 1 i 2.

Tabela 3.41 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – emisije u vazduh

Emisije u vazduh	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
CO <sub>2</sub>		8,27·10 <sup>6</sup>	6,18·10 <sup>6</sup>	2,66·10 <sup>6</sup>	-3,33·10 <sup>7</sup>	4,64·10 <sup>6</sup>	-1,47·10 <sup>7</sup>	-2,62·10 <sup>7</sup>
CH <sub>4</sub>		1,01·10 <sup>4</sup>	1,01·10 <sup>4</sup>	4,29·10 <sup>3</sup>		2,48·10 <sup>5</sup>	-3,26·10 <sup>4</sup>	2,40·10 <sup>5</sup>
N <sub>2</sub> O		1,99·10 <sup>-1</sup>	5,91·10 <sup>1</sup>	2,62·10 <sup>1</sup>		-7,86·10 <sup>1</sup>	-1,04·10 <sup>3</sup>	-1,03·10 <sup>3</sup>
SO <sub>x</sub>	kg	1,25·10 <sup>4</sup>	3,33·10 <sup>4</sup>	1,52·10 <sup>4</sup>	-1,91·10 <sup>5</sup>	-4,49·10 <sup>4</sup>	-6,84·10 <sup>4</sup>	-2,43·10 <sup>5</sup>
NO <sub>x</sub>		1,49·10 <sup>5</sup>	1,45·10 <sup>4</sup>	5,41·10 <sup>3</sup>	-6,51·10 <sup>4</sup>	-1,01·10 <sup>4</sup>	-4,28·10 <sup>4</sup>	5,07·10 <sup>4</sup>
NH <sub>3</sub>		2,25·10 <sup>-4</sup>	9,91·10 <sup>0</sup>	4,54·10 <sup>0</sup>		-1,35·10 <sup>1</sup>	4,60·10 <sup>2</sup>	4,61·10 <sup>2</sup>

U scenariju 3 pored sanitarnog deponovanja neopasnog otpada, zahteva se i odlaganje ostatka od RDF procesa na deponiju opasnog otpada. Parametar *rezidualne količine otpada*, kao što je već pomenuto, direktno utiče na indikator "*zauzimanje zemljišta*". Za određivanje ovog LCIA indikatora karakteristike otpada nisu od značaja, već samo zapremina otpada koji zahteva konačno odlaganje. Zapremina otpada za deponovanje iznosi 47.476 m<sup>3</sup> (tabela 3.42).

Tabela 3.42 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 3 – rezidualne količine otpada

Otpad	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Neopasan			34.643	43.490	2.175			80.307
Opasan					349			349
Usled potrš. ener.	t	16	546	250	-3.146	-748	-7.435	-10.517
Od tretmana proc. voda						163		163
Krediti reciklaže							-29.587	-29.587

Otpad	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Ukupno		16	35.189	43.740	-622	-585	-37.021	40.716
Zapremina	m <sup>3</sup>	10	37.432	40.010	-68	-320	-29.589	47.476

### 3.6.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 3

Na osnovu faktora karakterizacije izračunati su LCIA indikatori za scenario 3 i prikazani su u tabelama 3.43 – 3.46.

Tabela 3.43 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 3 – globalno zagrevanje

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god	kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god
CO <sub>2</sub>	-2,62·10 <sup>7</sup>		-2,62·10 <sup>7</sup>	-2,26·10 <sup>3</sup>	-2,62·10 <sup>7</sup>	-2,26·10 <sup>3</sup>
CH <sub>4</sub>	2,40·10 <sup>5</sup>	kg	5,99·10 <sup>6</sup>	5,17·10 <sup>2</sup>	5,99·10 <sup>6</sup>	5,17·10 <sup>2</sup>
N <sub>2</sub> O	-1,04·10 <sup>3</sup>		-3,09·10 <sup>5</sup>	-2,66·10 <sup>1</sup>	-3,09·10 <sup>5</sup>	-2,66·10 <sup>1</sup>
<b>Ukupno</b>			<b>-2,05·10<sup>7</sup></b>	<b>-1,77·10<sup>3</sup></b>	<b>-2,05·10<sup>7</sup></b>	<b>-1,77·10<sup>3</sup></b>

Tabela 3.44 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 3 – zakišeljavanje zemljišta

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg SO <sub>2</sub> -ekv	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
SO <sub>x</sub>	-2,44·10 <sup>5</sup>		-2,44·10 <sup>5</sup>	-7,72·10 <sup>2</sup>	-2,54·10 <sup>5</sup>	-1,84·10 <sup>-1</sup>
NO <sub>x</sub>	5,08·10 <sup>4</sup>	kg	2,79·10 <sup>5</sup>	8,83·10 <sup>2</sup>	2,90·10 <sup>5</sup>	2,10·10 <sup>1</sup>
NH <sub>3</sub>	4,62·10 <sup>2</sup>		6,91·10 <sup>3</sup>	2,19·10 <sup>1</sup>	7,19·10 <sup>3</sup>	5,21·10 <sup>-1</sup>
<b>Ukupno</b>			<b>4,19·10<sup>4</sup></b>	<b>1,33·10<sup>2</sup></b>	<b>4,36·10<sup>4</sup></b>	<b>3,16·10<sup>0</sup></b>

Tabela 3.45 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 3 – zauzimanje zemljišta

	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			m <sup>2</sup> <sub>ekv</sub> ·god	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
<b>Ukupno</b>	<b>2,22·10<sup>5</sup></b>	<b>m<sup>2</sup>·god</b>	<b>1,71·10<sup>5</sup></b>	<b>4,93·10<sup>1</sup></b>	<b>1,86·10<sup>5</sup></b>	<b>1,35·10<sup>1</sup></b>

Tabela 3.46 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 3

Kategorija uticaja	Rezultati indikatora na međupoziciji	Rezultati indikatora na krajnjoj poziciji	Uticaj životnog ciklusa komunalnog otpada (point)
Globalno zagrevanje	-20.547 tona CO <sub>2</sub> -ekv	-20.547 tona CO <sub>2</sub> -ekv	-1.769
Zakišeljavanje zemljišta	41 tonaSO <sub>2</sub> -ekv	43 616 PDF·m <sup>2</sup> ·god	3
Zauzimanje zemljišta	170 567 m <sup>2</sup> -ekv	186 106 PDF·m <sup>2</sup> ·god	13
<b>Ukupno</b>			<b>- 1.753</b>

Životni ciklus otpada i njegov uticaj na odabrane indikatore u datom scenariju obezbeđuje uštede kada je u pitanju indikator "globalno zagrevanje" što se odražava kroz smanjenje emisije CO<sub>2</sub> za 20.547 tona. Proizvodnja RDF goriva jeste tretman otpada kojim se smanjuju emisije gasova sa efektom staklene bašte (ISWA, 2012). "Zakišeljavanju" i "zauzimanje zemljišta" ovaj scenario doprinosi kroz emisije 41 tone SO<sub>2</sub> i površinu zemljišta od 170.567 m<sup>2</sup>. Suma normalizovanih vrednosti za scenario 3 iznosi -1.753 pt.

### 3.7 Verifikacija modela na scenariju 4

#### Sakupljanje i transport

Ovaj scenario podrazumeva kontrolisano spaljivanje neselektovanog komunalnog otpada. Ostaci koji nastaju nakon tretmana otpada odlažu se na deponije opasnog i neopasnog otpada. U tabeli 3.47 dati su materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja u scenariju 4.

Tabela 3.47 Materijalni ulazi i izlazi procesa sakupljanja – scenario 4

Frakcija	Ulaz, tona god <sup>-1</sup>	Izlaz, tona god <sup>-1</sup>
		Otpada koji se sprovodi na insineraciju
Papir	28.398	28.398
Staklo	10.772	10.772
Metal	4.701	4.701
Plastika	28.398	28.398
Tekstil	7.638	7.638
Organski	90.091	90.091
Ostalo	25.852	25.852
<b>Ukupno</b>	<b>195.850</b>	<b>195.850</b>

### Insineracija

Ulaz u proces insineracije u scenariju 4 iznosi 195.850 tona. Ovaj otpad se direktno iz procesa sakupljanja odvozi na postrojenje za insineraciju. U okviru procesa insineracije obuhvaćen je predtretman, odnosno, izdvajanje kabastog otpada. Ulazi i izlaz scenarija 4 prikazani su u tabeli 3.48

Tabela 3.48 Materijalni ulazi i izlazi procesa insineracije – scenario 4

Frakcija	Ulaz, tona godišnje	Izlaz, tona godišnje
Papir	28.398	2.385 neopasan rezidualni otpad, na deponiju 909 opasan rezidualni otpad, na deponiju 25.104 spaljeno
Staklo	10.772	9.695 neopasan rezidualni otpad, na deponiju 345 opasan rezidualni otpad, na deponiju 732 spaljeno
Metal	4.701	94 otpad nepogodan za spaljivanje, na deponiju 3.939 neopasan rezidualni otpad, na deponiju 148 opasan rezidualni otpad, na deponiju 520 spaljeno
Plastika	28.398	2.130 neopasan rezidualni otpad, na deponiju 908 opasan rezidualni otpad, na deponiju 25.360 spaljeno
Tekstil	7.638	573 neopasan rezidualni otpad, na deponiju 244 opasan rezidualni otpad, na deponiju 6.821 spaljeno
Organski	90.091	6.937 neopasan rezidualni otpad, na deponiju 2.883 opasan rezidualni otpad, na deponiju 80.271 spaljeno
Ostalo	25.852	10.858 neopasan rezidualni otpad, na deponiju 827 opasan rezidualni otpad, na deponiju 14.167 spaljeno
<b>Ukupno</b>	<b>195.850</b>	<b>94 otpad nepogodan za spaljivanje, na deponiju</b> <b>36.516 neopasan rezidualni otpad, na deponiju</b> <b>6.265 opasan rezidualni otpad, na deponiju</b> <b>152.975 spaljeno</b>

### Sanitarna deponija

Otpad koji se odlaže na deponije u scenariju 4 može da se podeli u dve vrste otpada, opasan i neopasan otpad. Komunalni čvrsti otpad sadrži brojna neorganska jedinjenja. U procesu insineracije nastaje pepeo koji sadrži ova neorganska jedinjenja, a najznačajniju grupu čine teški metali (kadmijum, olovo, cink, živa, nikel i sl.). Iz procesa insineracije nastaje otpad koji sadrži karakteristike opasnog otpada i zbog toga ga je neophodno odložiti na deponiju opasnog otpada. Na ovakvoj deponiji nije prisutno emitovanje deponijskog gasa, međutim nepovoljni uticaji na životnu sredinu održavaju se zbog generisanja i emisija procednih voda. Ulazi na sanitarnu deponiju, kao krajnje odredište otpada, za scenario 4 prikazani su u tabeli 3.49.

Tabela 3.49 Materijalni ulaz procesa deponovanja – scenario 4

Frakcija	Ulazi, tona godišnje
Ukupno	42.875

### 3.7.1 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada u scenariju 4

U narednom poglavlju predstavljeni su LCI rezultati za scenario 4 (tabele 3.50 – 3.55).

Generisanje energije u scenariju 4 ostvaruje se u procesu insineracije. Ukupni enegetski bilans je pozitivan i iznosi 984.480 energije. Energetski najzahtevniji tretman jeste termički tretman, međutim, u ovom tretmanu se ujedno i proizvodi najviše energije (118.718.710 kWh). Generisanje gasa na deponiji nije prisutno, zbog deponovanja ostataka koji nastaju nakon tretmana otpada u insineratoru.

Tabela 3.50 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 – potrošnja/proizvodnja energije

Energent	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Potrošnja el. ener.	kWh				$1,37 \cdot 10^7$	$2,14 \cdot 10^4$		$1,37 \cdot 10^7$
Proizvod. el. ener.	kWh				$-1,19 \cdot 10^8$			$-1,19 \cdot 10^8$
Reciklaža	GJ							
Dizel gorivo	l	$2,06 \cdot 10^6$			$1,40 \cdot 10^4$	$3,43 \cdot 10^4$		$2,10 \cdot 10^6$
Prirodni gas	m <sup>3</sup>				$4,50 \cdot 10^4$			$4,50 \cdot 10^4$
Ukupno	GJ	$1,03 \cdot 10^5$			$-1,09 \cdot 10^6$	$1,95 \cdot 10^3$		$-9,84 \cdot 10^5$

Troškovi svih faza životnog ciklusa čvrstog komunalnog otpada za scenario 4 dati su u sledećoj tabeli 3.51.

Tabela 3.51 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 - ukupni troškovi

Troškovi	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Rashodi		10.575.900			21.575.895	2.316.746		34.468.541
Prihodi					-8.310.310			-8.310.310
Ukupno	€	10.575.900			13.265.586	2.316.746		26.158.232
Trošak/ domaćinstvu		54			67	12		133
Trošak/ stanovniku		20			25	4		49



Prilikom insineracije neselektovanog komunalnog otpada, a pre svega frakcija koje su nastale od naftnih derivata (npr. plastika), emituju se velike količine CO<sub>2</sub>. Sagorevanje podrazumeva oksidaciju ugljenika i sumpora i generisanje CO<sub>2</sub> i SO<sub>2</sub>. Emisije gasova sa efektom staklene bašte u ovom procesu javljaju se usled potrošnje energije (ventilatori, elektrostatički taložnici, itd.) i goriva (gorivo za startovanje, transport, itd.), emisija CO<sub>2</sub> poreklom iz fosilnog ugljenika unutar primljenog otpada, pomoćnih fosilnih goriva i obnove energije (ISWA, 2012). Poslednjih godina emisije iz ovih postrojenja su se značajno smanjile. Razvijene zemlje su uz pomoć kontrole procesa i savremenih tehnologija za kontrolu zagađenja smanjile emisije iz ovih postrojenja do nivoa koji ne predstavljaju opasnost po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Prilikom razvoja scenarija 4 u radu su korišćeni parametri rada insineratora prema Američkoj agenciji za zaštitu životne sredine i modelu IWM-2. Kako je predstavljeno u tabeli 3.52 u scenariju 4 emituje se ≈122.309 tona CO<sub>2</sub>, ≈8 tona CH<sub>4</sub>, ≈340 g N<sub>2</sub>O, a emisije koje utiču na "zakišeljavanje zemljišta" ostvaruju uštede od ≈520 tona SO<sub>x</sub> i ≈68 tona NO<sub>x</sub>.

Tabela 3.52 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 – emisije u vazduh

Emisije u vazduh	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
CO <sub>2</sub>		6,20·10 <sup>6</sup>			1,16·10 <sup>8</sup>	1,22·10 <sup>5</sup>		1,22·10 <sup>8</sup>
CH <sub>4</sub>		7,55·10 <sup>3</sup>				1,57·10 <sup>2</sup>		7,70·10 <sup>3</sup>
N <sub>2</sub> O		1,49·10 <sup>-1</sup>				1,92·10 <sup>-1</sup>		3,42·10 <sup>-1</sup>
SO <sub>x</sub>	kg	9,34·10 <sup>3</sup>			-5,36·10 <sup>5</sup>	2,65·10 <sup>2</sup>		-5,27·10 <sup>5</sup>
NO <sub>x</sub>		1,12·10 <sup>5</sup>			-1,82·10 <sup>5</sup>	1,90·10 <sup>3</sup>		-6,81·10 <sup>4</sup>
NH <sub>3</sub>		1,68·10 <sup>-4</sup>				3,27·10 <sup>-2</sup>		3,29·10 <sup>-2</sup>

Rezidualne količine otpada u ovom scenariju iznose 34.151 tona ili 29.157 m<sup>3</sup> (tabela 3.53).

Tabela 3.53 Rezultati inventara životnog ciklusa otpada, scenario 4 – rezidualne količine otpada

Otpad	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Neopasan					36.610			36.610
Opasan					6.264			6.264
Usled potrš. ener.	t	16			-8.827	2		-8,810
Od tretmana proc. voda						87		87
Krediti reciklaže								

Otpad	Jed. mere	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki	Termički	Deponija	Reciklaža	Ukupno
Ukupno		16			34.047	89		34.151
Zapremina	m <sup>3</sup>	10			29.049	98		29.157

### 3.7.2 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada u scenariju 4

Za odabrane kategorije uticaja, u svojstvu LCIA indikatora, rezultati su prikazani u tabelama 3.54. – 3.57.

Tabela 3.54 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 4 – globalno zagrevanje

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god	kg CO <sub>2</sub> -ekv	stan.god
CO <sub>2</sub>	1,22·10 <sup>8</sup>		1,22·10 <sup>8</sup>	1,05·10 <sup>4</sup>	1,22·10 <sup>8</sup>	1,05·10 <sup>4</sup>
CH <sub>4</sub>	7,71·10 <sup>3</sup>	kg	1,93·10 <sup>5</sup>	1,66·10 <sup>1</sup>	1,93·10 <sup>5</sup>	1,66·10 <sup>1</sup>
N <sub>2</sub> O	3,42·10 <sup>-1</sup>		1,02·10 <sup>2</sup>	8,79·10 <sup>-3</sup>	1,02·10 <sup>2</sup>	8,79·10 <sup>-3</sup>
<b>Ukupno</b>			<b>1,23·10<sup>8</sup></b>	<b>1,06·10<sup>4</sup></b>	<b>1,23·10<sup>8</sup></b>	<b>1,06·10<sup>4</sup></b>

Tabela 3.55 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 4 – zakišeljavanje zemljišta

Emisije u vazduh	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			kg SO <sub>2</sub> -ekv	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
SO <sub>x</sub>	-5,27·10 <sup>5</sup>		-5,27·10 <sup>5</sup>	-1,67·10 <sup>3</sup>	-5,48·10 <sup>5</sup>	-3,97·10 <sup>1</sup>
NO <sub>x</sub>	-6,81·10 <sup>4</sup>	kg	-3,74·10 <sup>5</sup>	-1,19·10 <sup>3</sup>	-3,89·10 <sup>5</sup>	-2,82·10 <sup>1</sup>
NH <sub>3</sub>	3,30·10 <sup>-2</sup>		4,94·10 <sup>1</sup>	1,56·10 <sup>-3</sup>	5,14·10 <sup>-1</sup>	3,72·10 <sup>-5</sup>
<b>Ukupno</b>			<b>-9,00·10<sup>5</sup></b>	<b>-2,85·10<sup>3</sup></b>	<b>-9,37·10<sup>5</sup></b>	<b>-6,79·10<sup>1</sup></b>

Tabela 3.56 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada, scenario 4 – zauzimanje zemljišta

	LCI rezultat	Jed. mere	Uticaj na međupoziciji	Normalizacija na međupoziciji	Uticaj na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji
Jed. mere			m <sup>2</sup> <sub>ekv</sub> ·god	stan.god	PDF·m <sup>2</sup> ·god	stan.god
<b>Ukupno</b>	<b>1,36·10<sup>5</sup></b>	<b>m<sup>2</sup>·god</b>	<b>1,05·10<sup>5</sup></b>	<b>3,03·10<sup>1</sup></b>	<b>1,14·10<sup>5</sup></b>	<b>8,28·10<sup>0</sup></b>

**Tabela 3.57 Rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa komunalnog otpada, za odabrane kategorije uticaja – scenario 4**

Kategorija uticaja	Rezultati indikatora na međupoziciji	Rezultati indikatora na krajnjoj poziciji	Normalizacija na krajnjoj poziciji (Pt)
Globalno zagrevanje	122.502 tona CO <sub>2-ekv</sub>	122.502 tona CO <sub>2-ekv</sub>	10.559
Zakišeljavanje zemljišta	-900 tona SO <sub>2-ekv</sub>	-947.374 PDF·m <sup>2</sup> ·god	-67
Zauzimanje zemljišta	104.770 m <sup>2-ekv</sup>	114.295PDF·m <sup>2</sup> ·god	8
<b>Ukupno</b>			<b>10.500</b>

"Klimatske promene" u ovom scenariju privlače posebnu pažnju, jer uticaj ovakvog sistem upravljanja otpadom na "klimatske promene" iznosi 10.559 pt. Sa ovog aspekta otpad ovakvog sastava nije pogodno spaljivati.

"Kvalitet ekosistema" u scenariju 4 ugrožen je usled "zauzimanja zemljišta" u iznosu od 114.295 PDF·m<sup>2</sup>·god, dok je uticaj na "zakišeljavanje zemljišta" pozitivan, odnosno scenario 4 pozitivno utiče na "zakišeljavanje zemljišta" u iznosu od -947.374 PDF·m<sup>2</sup>·god.

#### **4. Diskusija i komparacija rezultata verifikacije**

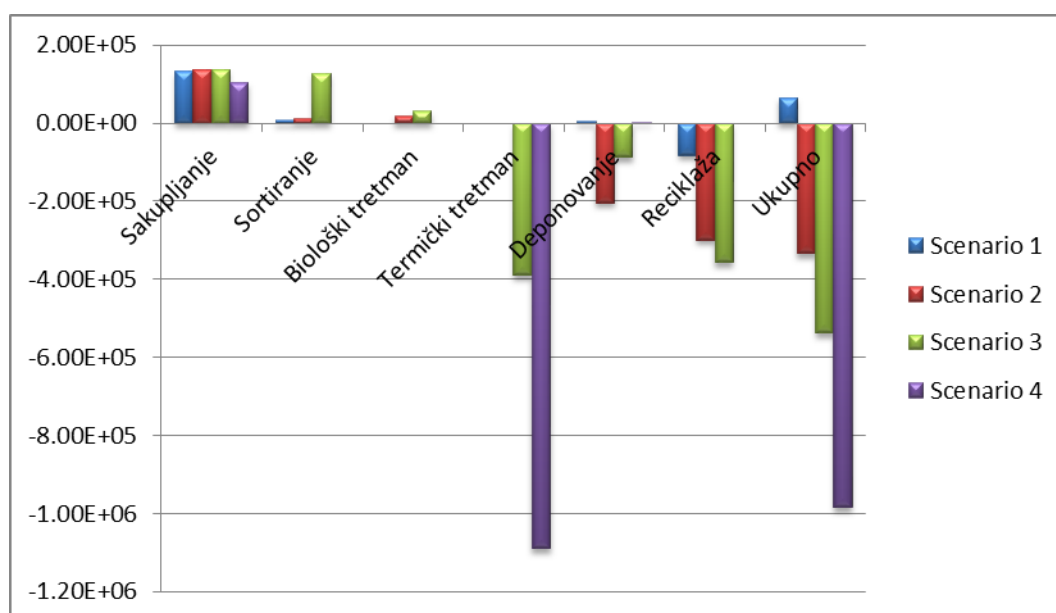
U ovom poglavlju sprovedena je komparativna analiza dobijenih rezultata na nivou LCI i LCIA indikatora za razvijene scenarije upravljanja komunalnim čvrstim otpadom.

##### **4.1 Diskusija rezultata na nivou inventara životnog ciklusa**

###### *Potrošnja/proizvodnja energije*

Na grafiku 4.1 dat je uporedni prikaz rezultata potrošnje i proizvodnje energije, po fazama životnog ciklusa otpada, u definisanim scenarijima. Na datom grafiku uočava se da scenariji 2,3,4 ostvaruju pozitivan energetske bilans. Za pozitivan energetske bilans, odnosno generisanje ili uštede energije, odgovorni su: termički tretmani, sanitarno deponovanje i reciklaža. Insineracija otpada, koji se generiše u Južno-bačkom regionu, pokazuje najbolje rezultate, odnosno čak 82 % više energije se generiše u scenariju 4 nego u scenariju 3.

Kao što se moglo i očekivati, u scenariju 1 nema uštede energije, jer je procenat reciklaže koji je zastupljen u ovom scenariju izuzetno mali.



Grafik 4.1 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz potrošnju/proizvodnju energije (GJ)

LCA analize otpada sličnog sastava pokazale su slične rezultate, što dovodi do zaključka da se insineracija kao tretman otpada izdvaja kao pogodna opcija sa aspekta proizvodnje energije. Kako bi ovi rezultati bili uporedivi i sa rezultatima sličnih studija, razmatraju se po toni otpada tretiranog u određenom procesu.

U scenariju 3, u termičkom tretmanu, odnosno u RDF procesu proizvede se 643 kWh t<sup>-1</sup> otpada. U LCA studijama ove vrednosti se kreću od 284 do 685, što zavisi od stepena sortiranja i efikasnosti sistema (*Lombardi i dr., 2005, Cherubini i dr., 2009*).

Električna energija dobijena iz deponijskog gasa u scenariju 3 iznosi 110 kWh t<sup>-1</sup> otpada, a u scenariju 2 iznosi 163 kWh t<sup>-1</sup> otpada. Količina generisanog deponijskog gasa zavisi od sastava otpada koji se odlaže na deponiju. S obzirom da se u scenariju 3 na deponiju odlaže samo otpad koji ostaje od reciklaže, kompostiranja i RDF tretmana jasno da je potencijal generisanja gasa od otpada ovakvog sastava manji nego u slučaju scenarija 2. Ove vrednosti se u publikovanim radovima kreću od 80 do 171 kWh t<sup>-1</sup> otpada (*Cherubini i dr., 2009, Wittmaier i dr., 2009, Hong i dr., 2010*).

Energija konvertovana u električnu energiju u procesu insineracije iznosi 606 kWh t<sup>-1</sup> otpada. LCA studija autora *Cherubini i dr. (2009)* sprovedena za grad Rim i sastav otpada vrlo približan sastavu otpada u novosadskom regionu, daje rezultat od 594 kWh t<sup>-1</sup> otpada pri efikasnosti sistema od 27 %. U LCA studijama i naučnim radovima publikovanim u poslednjih 10-ak godine vrednosti za količinu električne energije koja se može generisati u insineratorima za spaljivanje neselektovanog otpada kreće se od 262 do 696 kWh t<sup>-1</sup> (*Liamsanguan i dr., 2008, Willeneuve i dr., 2009, Hong i dr., 2010*).

Dong i dr. (2014) su analizirali tri scenarija upravljanja otpadom korišćenjem modela EASETECH: 1) odlaganje na deponiju bez tretmana gasa, 2) odlaganje na deponiju sa iskorišćavanjem gasa za dobijanje energije i 3) insineracija otpada za dobijanje energije. Pozitivan energetski bilans ostvaren je u druga dva scenarija. Kao obrazloženje dobijenim rezultatima naveli su da se uštede po životnu sredinu ostvaruju korišćenjem otpada za dobijanje energije, usled čega su i emisije štetnih gasova niže od emisija koje se emituju pri konvencionalnom načinu dobijanja električne energije.

Potrošnja/proizvodnja energije u svim scenarijima prikazana je u tabeli 4.1. Vrednosti su izražene u GJ.

Tabela 4.1 Potrošnja/proizvodnja energije u scenarijima upravljanja otpadom (GJ)

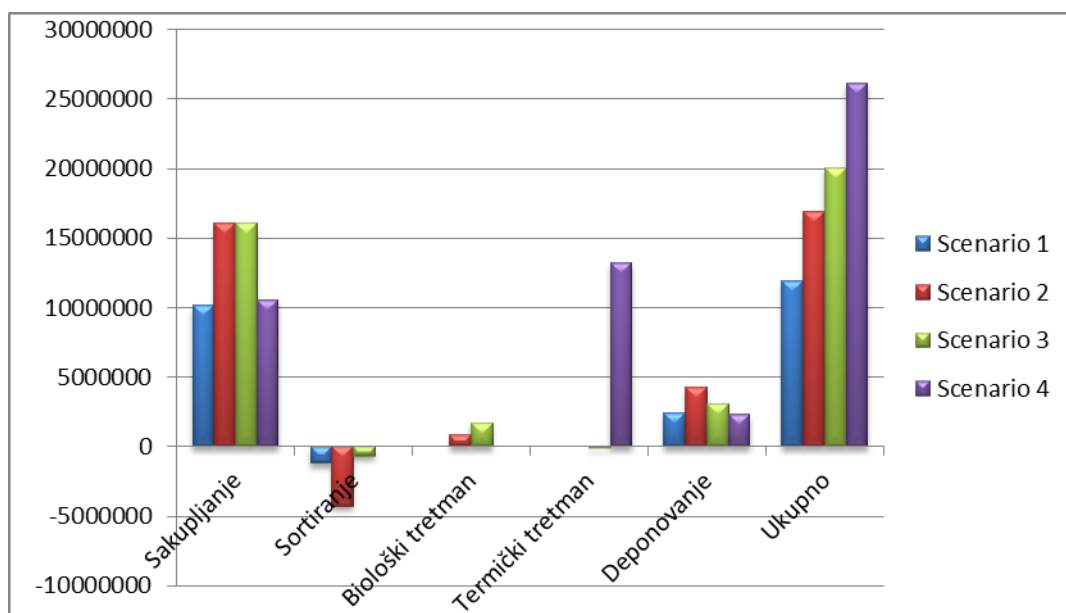
	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki tretman	Termički tretman	Deponovanje	Reciklaža	Ukupno
<b>Scenario 1</b>	132.256	7.978			6.218	-82.113	64.339
<b>Scenario 2</b>	137.767	12.867	19.043		-204.650	-298.961	-333.934
<b>Scenario 3</b>	137.767	126.802	31.180	-389.361	-88.206	-356.850	-538.668
<b>Scenario 4</b>	103.325			-1.089.751	1.946		-984.480

U procesu sakupljanja scenariji 1 i 4 ostvaruju manju potrošnju goriva jer obuhvat stanovništva organizovanim sakupljanjem nije potpun u scenariju 1, a u scenariju 4 nije obuhvaćeno sakupljanje selektovanih reciklabila, već se sprovodi sakupljanje pomešanog otpada, što podrazumeva manju potrošnju energije.

Sa aspekta potrošnje energije scenario 4 predstavlja najpovoljniju opciju po životnu sredinu. Iako se u scenariju 4 sagoreva neselaktovan otpad koji ima manju toplotnu moć u odnosu na RDF, zbog veće količine otpada koji se spaljuje veća je i ušteda energije. Takođe velik doprinos u uštedi energije imaju tretmani sanitarno deponovanje i reciklaža, odnosno iskorišćavanje energetskog potencijala deponijskog gasa i korišćenje sekundarnih sirovina.

#### Troškovi

Na grafiku 4.2 predstavljeni su ukupni troškovi upravljanja otpadom u scenarijima razvijenim za Region.



Grafik 4.2 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz troškove upravljanja otpadom (€/god.)

Na osnovu prikazanih rezultata može se jasno zaključiti da je najpovoljniji scenario upravljanja otpadom scenario 1, odnosno  $58 \text{ € t}^{-1}$ . Ukupni troškovi upravljanja otpadom rastu sa uslozljavanjem tehnologije za tretman otpada. Ovi troškovi se proračunavaju na osnovu rashoda ostvarenih u procesima sakupljanja, transporta i procesuiranja otpada, kao i prihoda ostvarenih od prodaje izdvojenih materijala, komposta i električne energije. Troškovi u LCA studijama najčešće obuhvataju operativne troškove, troškove usluga i ostvarene prihode, a vrednosti variraju u zavisnosti od lokalnih uslova (Thorneloe i dr., 2007).

Povećanje troškova u scenariju 2 u odnosu na scenario 1 iznosi 48 %, u 3. scenariju 75 %, a u 4. scenariju 130 %.

Implementacija insineracije predstavlja jednu od skupljih tehnologija za tretman otpada, a troškovi po toni tretiranog otpadom iznose  $133 \text{ € t}^{-1}$ . Bez prihoda od prodaje električne energije, koja se generiše prilikom insineracije, ovi troškovi bi bili znatno veći. Autori Stypka i Flaga (2005) analizirali su scenarije upravljanja otpadom za grad Krakov, a vrednosti troškova se u ovoj analizi kreću od 60 (deponovanje) do  $125 \text{ € t}^{-1}$  (insineracija).

U tabeli 4.2 prikazani su troškovi sistema upravljanja otpadom za sve scenarije upravljanja otpadom i izraženi su na godišnjem nivou.

Tabela 4.2 Troškovi upravljanja otpadom u scenarijima upravljanja otpadom ( $\text{€ god}^{-1}$ )

		Sakupljanje	Sortiranje	Biološki tretman	Termički tretman	Deponovanje	Ukupno
<b>Scenario 1</b>	€ god <sup>-1</sup>	10.152.864	-1.161.232			2.429.701	11.421.332
<b>Scenario 2</b>		16.059.700	-4.278.275	858.993		4.312.696	16.953.115

	Sakupljanje	Sortiranje	Biološki tretman	Termički tretman	Deponovanje	Ukupno
<b>Scenario 3</b>	16.059.700	-684.620	1.732.972	-123.923	3.103.215	20.087.344
<b>Scenario 4</b>	10.575.900			13.265.586	2.316.746	26.158.232

Postojeća praksa upravljanja otpadom odvija se na račun degradacije životne sredine, a troškovi sanacije štete nanete životnoj sredini najčešće su nemerljivi i daleko prevazilaze postojeće troškove. Mnogo je primera koji ukazuju na veoma visoke troškove remedijacije ugrožene životne sredine od prakse postupanja sa otpadom. Tako je na primer, samo na području Australije prisutno oko 100.000 kontaminiranih lokacija, a procena je da je za njihovu remedijaciju neophodno izdvojiti između 5 i 10 biliona \$ (Prokić, 2012).

### Emisije u vazduh

Komparacija scenarija kroz emisije u vazduh prikazana je na graficima 4.3 - 4.8.

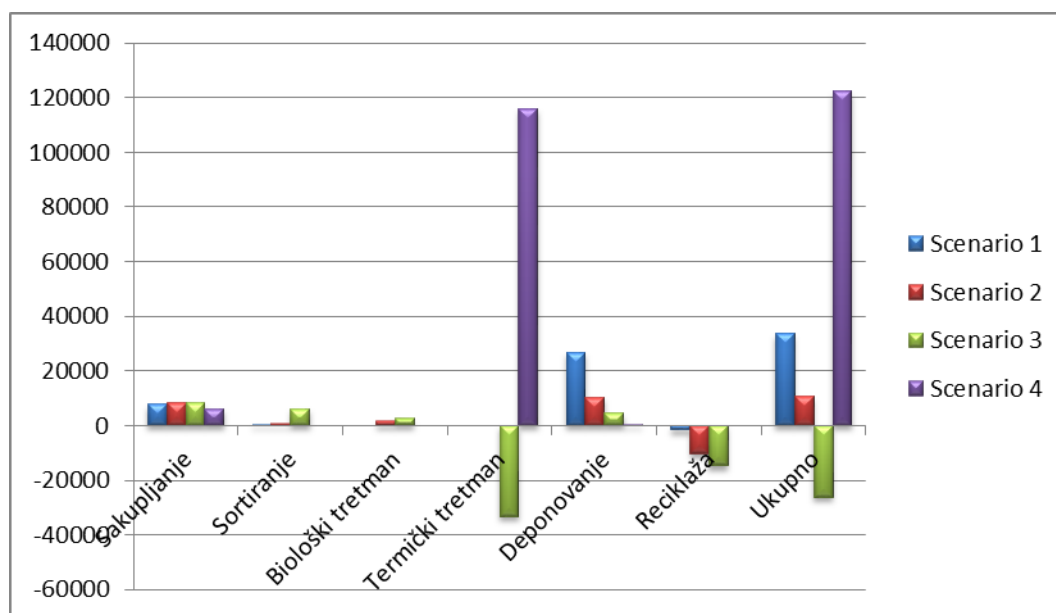
### CO<sub>2</sub>

Najveća količina CO<sub>2</sub> se javlja u životnom ciklusu otpada prikazanom u scenariju 4 i iznosi 0,62 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada. Insineracijom otpada (scenario 4), a naročito plastike, koja je u velikoj meri prisutna u komunalnom otpadu, emituje se velika količina CO<sub>2</sub>.

Postojećim sistemom upravljanja otpadom u Regionu se godišnje emituje 0,17 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada. Nepostojanje sistema za sakupljanje i tretman deponijskog gasa u scenariju 1 je glavni uzrok oslobađanja CO<sub>2</sub> u atmosferu.

Sanitarnim odlaganjem otpada, intenzivnijom implementacijom reciklaže i kompostiranjem dela biodegradabilnog otpada (scenario 2) emisije CO<sub>2</sub> se redukuju za 68 % u odnosu na scenario 1 i iznose 0,05 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada. Scenario 3 ostvaruje uštede CO<sub>2</sub> koje iznose 0,13 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada. U procesu sortiranja u scenariju 3, javljaju se emisije od 0,19 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada, u sličnim analizama i naučnim radovima se mogu naći vrednosti od 0,11 do 0,19 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> (Winkler i Bilitewski, 2007).

Kompostiranjem organskog otpada u scenariju 3 oslobađa se 0,02 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada. U literaturi se mogu pronaći podaci da se kompostiranjem oslobađa od 0,01 do 0,04 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> organskog otpada (Chen i Lin, 2008, Menikpura i dr. 2013).



Grafik 4.3 Komparacija scenarija kroz emisije CO<sub>2</sub> (t)

Primenom IWM-2 modela rezultati analize sistema upravljanja komunalnim otpadom u gradu Drezden, u radu autora *Winkler i Bilitewski (2007)*, daju vrednosti od 0,22 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada iz procesa deponovanja, a emisije koje proizilaze iz insineracije iznose 0,72 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup>. U istom radu, LCA analiza rađena u UMBERTO modelu za otpad sličnog sastava daje vrednosti od 0,17 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> za proces deponovanja, a za proces insineracije 0,86 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup>. Prema *Vodiču dobre prakse i nacionalnom inventaru GHG gasova države Nemačke (Johnke, B., 2009)*, količine CO<sub>2</sub> koje se javljaju iz procesa insineracije komunalnog čvrstog otpada kreću se od 0,70 do 1,2 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada. Ove emisije zavise od sadržaja fosilnog ugljenika u otpadu koji uglavnom proizilaze iz plastike i tekstila.

LCA analiza deponija u radu autora *Manfredi i dr., (2009)* daje vrednosti od od 0,06 do 0,15 t CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup> otpada. Procesi reciklaže imaju negativne vrednosti, odnosno ostvaruju uštede ili koristi po životnu sredinu usled primene sekundarnih sirovina, umesto eksploatacije primarnih sirovina. Reciklažom se štedi drvna masa i fosilna goriva, a samim tim emisije CO<sub>2</sub> (*UNEP, 2010*).

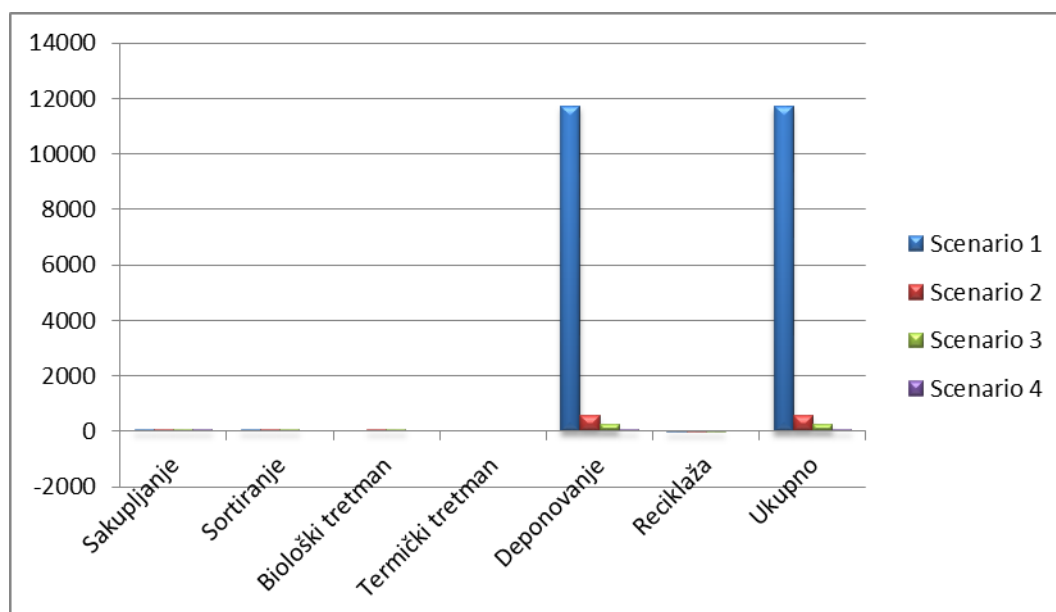
Iako je insineracija sa aspekta generisanja energije najbolje rešenje, sa aspekta emisija CO<sub>2</sub> predstavlja najnepovoljniju opciju. Insineracijom se može izbeći većina emisija štetnih gasova, izuzev CO<sub>2</sub>, što je uočljivo na dijagramima koji slede. Najbolji scenario sa aspekta CO<sub>2</sub> emisije jeste scenario 3, zbog ušteda CO<sub>2</sub> emisija usled RDF insineracije i reciklaže. Izdvajanjem i obradom sagorivih frakcija otpada (formiranjem RDF peleta) pre ulaska u proces sagorevanja postiže se smanjenje emisija CO<sub>2</sub> na izlasku iz procesa što potvrđuju i rezultati dobijeni u ovom radu. Pored toga što smanjuju emisije CO<sub>2</sub>, RDF



postrojenja doprinose i smanjenju potrošnje fosilnih goriva i predstavljaju obnovljive izvore energije.

#### CH<sub>4</sub>

Na osnovu prikazanih rezultata na grafiku 4.4 uočava se da je najveća vrednost CH<sub>4</sub> zabeležena u scenariju 1, odnosno kod nesanitarnе deponije i iznosi 0,06 t CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> otpada, dok je u ostalim scenarijima upravljanja otpadom ova vrednost znatno niža. Deponija u scenariju 1 nije opremljena sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa, te se u ovom scenariju oslobađaju velike količine CH<sub>4</sub> u atmosferu. U sastavu deponijskog gasa dominira CH<sub>4</sub> i njegov udeo se kreće od 45 do 60 %. Autor *Cherubini i dr. (2009)* analizira odlaganje komunalnog otpada na nesanitarnu deponiju u gradu Rimu i prikazuje vrednosti od 0,05 t CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> otpada, a u radu autora *Kulczycka i dr. (2015)* analizom deponije Promink u Poljskoj dobijene su vrednosti od 0,04 t CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> otpada. LCA analiza nesanitarnih deponija u radu autora *Manfredi i dr., (2009)* daje vrednosti od 0,03 do 0,04 t CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup> otpada.

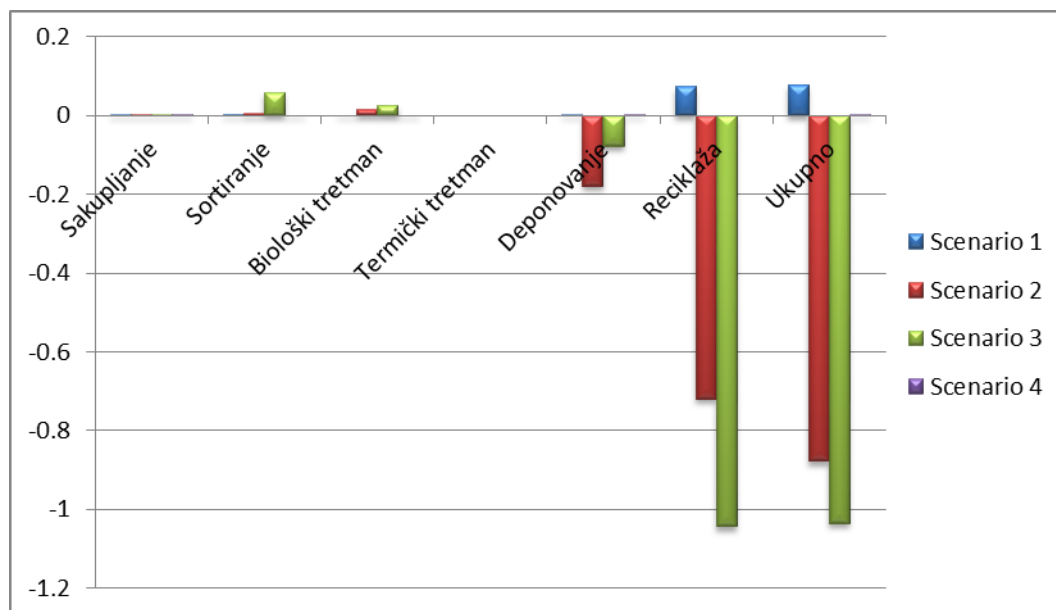


Grafik 4.4 Komparacija scenarija kroz emisije CH<sub>4</sub> (t)

Dobijeni rezultati potvrđuju prednosti reciklaže, kompostiranja, sanitarnog deponovanja i insineracije. Što je veći stepen reciklaže, kompostiranja i iskorišćenja otpada za dobijanje energije, to je potreba za odlaganjem otpada na deponije manja. Implementacijom ovih tehnologija, odnosno tretmanom otpada pre odlaganja na deponije ne samo da se smanjuje ukupna količina otpada za odlaganje, već se smanjuje i biodegradabilna frakcija otpada, čime sa značajno redukuje emisija CH<sub>4</sub> u atmosferu.

N<sub>2</sub>O

Emisije N<sub>2</sub>O nastaju u RDF sortiranju, kompostiranju i reciklaži suvih reciklabila (grafik 4.4). U RDF postrojenju za sortiranje emisije N<sub>2</sub>O se javljaju usled rada postrojenja i korišćenja fosilnih goriva i iznose 0,57 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> sortiranog otpada. U kompostiranju se emituje 0,26 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> otpada, a u IPCC vodiču se navode vrednosti od 0,24 do 0,60 g N<sub>2</sub>O t<sup>-1</sup> otpada (IPCC, 2006).



Grafik 4.5 Komparacija scenarija kroz emisije N<sub>2</sub>O (t)

Scenario 1 obuhvata reciklažu suvih reciklabila, a u ovom tretmanu u najvećoj meri zastupljena je papirna frakcija. Iako se prilikom reciklaže izbegnu mnoge emisije u vazduh, ovo nije slučaj i sa emisijama koje se generišu prilikom reciklaže papira, odnosno u procesu pulpiranja, i ove emisije u scenariju 1 iznose 5,6 g t<sup>-1</sup> recikliranih sirovina. Studija Švajcarske agencije za zaštitu životne sredine (BUWAL, 1998) navodi da proizvodni proces papira, zasnovan na primarnim sirovinama, generiše znatno niže emisije N<sub>2</sub>O od proizvodnog procesa na bazi sekundarnih sirovina. Reciklaža je zastupljena i u scenariju 2 i 3, međutim ovi scenariji obuhvataju i kompostiranje biodegradabilnog otpada čije su uštede zbog proizvodnje komposta uračunate u "kredite" reciklaže i stoga ostvaruju pozitivan uticaj, odnosno uštede kada su emisije N<sub>2</sub>O u pitanju.

U termičkom tretmanu, odnosno insineraciji, emisije N<sub>2</sub>O su skoro nezatne. Autor Svoboda i dr., (2006) navodi da je insineracija otpada veoma prihvatljiva opcija tretmana otpada sa aspekta emisija N<sub>2</sub>O. Na visokim temperaturama sagorevanja, odnosno temperaturi obrade otpada iznad 900°C, emisije N<sub>2</sub>O su veoma niske (Gutierrez i dr, 2005).

Emisija  $N_2O$  usled odlaganja otpada na nesanitarnu deponiju i aktivnosti koje su u vezi sa ovim tretmanom su veoma niske i u scenariju 1 iznose  $0,002 \text{ g } N_2O \text{ t}^{-1}$  deponovanog otpada, a sanitarnim odlaganjem ostvaruju se uštede od 0,9 (scenario 3) i 1,4  $\text{g } N_2O \text{ t}^{-1}$  deponovanog otpada (scenario 2).

Sa aspekta  $N_2O$  emisija najveći nedostatak pokazao je scenario 1, odnosno reciklaža, a najbolji rezultat ostvaren je u scenariju 3. RDF postrojenja redukuju emisije  $N_2O$  (Dubinin, 2005), što pokazuje još jednu prednost ovih postrojenja, s obzirom da je potencijal globalnog zagrevanja  $N_2O$  298 puta veći od potencijala  $CO_2$ . Analizom životnog ciklusa otpada u scenarijima 2 i 3 pokazalo se da se emisije  $N_2O$  nastale u kompostiranju, sortiranju i reciklaži potiru zbog komposta koji se dobija kao proizvod.

Na osnovu dobijenih rezultata, a u vezi sa emisijama gasova sa efektom staklene bašte, može se zaključiti da unapređenjem postojećeg sistema upravljanja otpadom može doći do značajnog smanjenja emisija koje nepovoljno utiču na globalno zagrevanje. Značajna redukcija emisija ostvaruje se u scenarijima 2 i 3, dok je scenario 4 najnepovoljniji sa aspekta emisije  $CO_2$ , što se uobičajeno navodi kao jedan od ključnih nedostataka procesa insineracije.

## $SO_x$

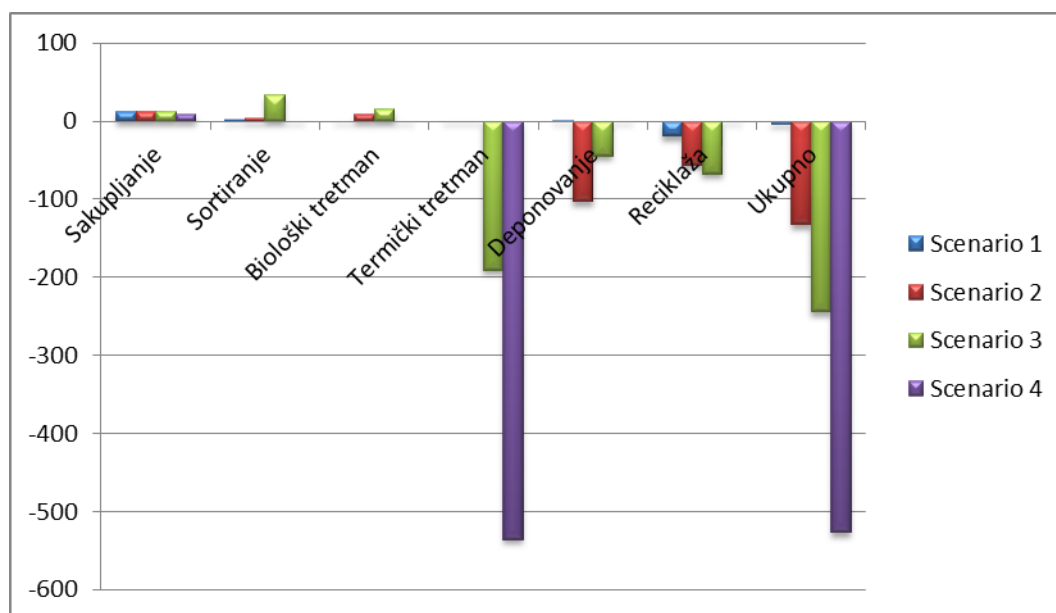
Najveća količina  $SO_x$  se emituje u procesima sakupljanja, sortiranja i procesu biološkog tretmana čvrstog komunalnog otpada (grafik 4.6), ali se one znatno smanjuju implementacijom termičkog tretmana, reciklaže i sanitarnog odlaganja.

Emisije  $SO_x$  u scenariju 3 u procesu sortiranja iznose  $0,25 \text{ kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  sortiranog otpada, a u biološkom tretmanu  $0,15 \text{ kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  otpada na ulazu u proces kompostiranja. Autori Komilis i Ham, 2004 u svom radu navode da se emisije  $SO_x$  kreću od 0,03 do 0,19  $\text{kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  kompostiranog otpada.

U termičkim tretmanima, odnosno insineraciji RDF goriva i komunalnog čvrstog otpada, ostvaruju se uštede  $SO_x$  emisija i to  $7,56 \text{ kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  otpada tretiranog u RDF insineratoru (scenario 3) i  $3,08 \text{ kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  otpada spaljenog u insineratoru (scenario 4).

Deponovanjem otpada na nesanitarnu deponiju emituje se  $0,005 \text{ kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  otpada a autor Hong i dr. (2010) navode da se nesanitarnim deponovanjem emituje od 0,01  $\text{kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  otpada.

Na sanitarnim deponijama emisije  $SO_x$  imaju negativne vrednosti i kreću se od 0,50 do 0,80  $\text{kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  deponovanog otpada. Reciklažom se takođe ostvaruju uštede od 1,9  $\text{kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  recikliranog otpada. U radu autora Kulczycka i dr. (2015) može se naći vrednost od 1,8  $\text{kg } SO_x \text{ t}^{-1}$  recikliranog otpada.



Grafik 4.6 Komparacija scenarija kroz emisije SO<sub>x</sub> (t)

Sa aspekta emitovanja SO<sub>x</sub> jedinjenja kao pogodni tretmani otpada izdvajaju se termički, reciklaža i sanitarno deponovanje, a sortiranje i biološki tretman, odnosno kompostiranje se izdvajaj kao relativno nepovoljan tretman. Procesom kompostiranja nastaju SO<sub>x</sub> gasovi i kako navode autori *Komilis i Ham, 2004* ove emisije povećavaju sa porastom kvaliteta komposta. Bez obzira što se SO<sub>x</sub> javlja u pojedinim procesima, sa aspekta celokupnog životnog ciklusa otpada u svim definisanim scenarijima ove emisije ostvaruju uštede, jer se potiru usled termičkog tretmana, sanitarnog deponovanja i reciklaže.

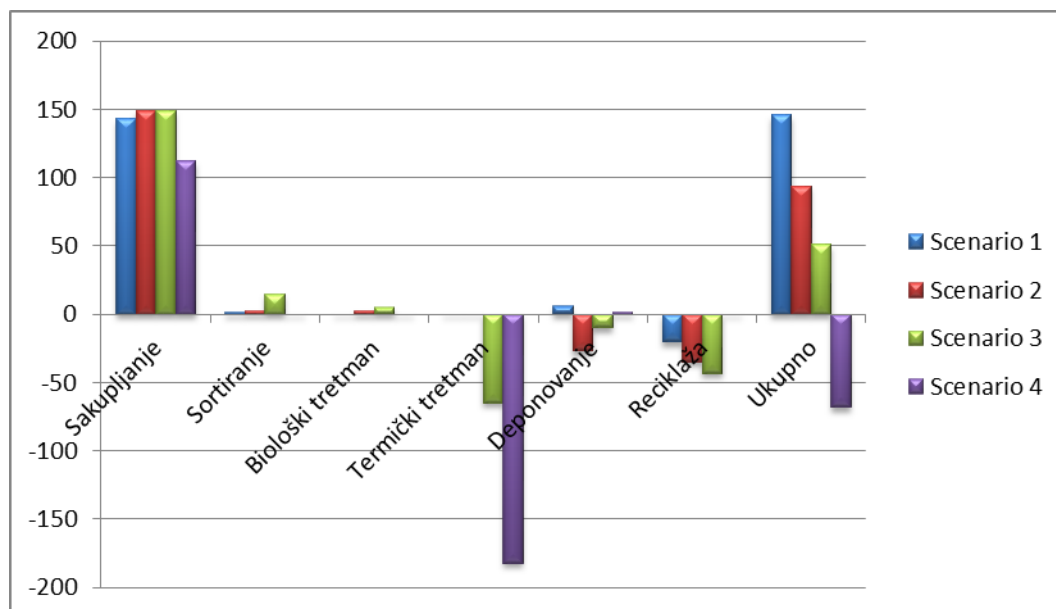
### NO<sub>x</sub>

Emisije NO<sub>x</sub> se najviše javljaju u procesu sakupljanja otpada, odnosno usled sagorevanja fosilnih goriva i iznose približno 0,75 kg NO<sub>x</sub> t<sup>-1</sup> sakupljenog otpada. Ove vrednosti se kreću 0,23 do 1,2 kg NO<sub>x</sub> t<sup>-1</sup> sakupljenog otpada, što zavisi od šeme sakupljanja ali i vrste LCA modela. IWM-2 model objedinjuje proces sakupljanja i transporta, te stoga izračunava emisije za sakupljanje i transport zajedno, dok npr. UMBERTO model daje emisije odvojeno za ova dva procesa.

U scenariju 3 NO<sub>x</sub> se oslobađa prilikom sortiranja (0,10 kg t<sup>-1</sup> sortiranog otpada) i kompostiranja (0,08 kg t<sup>-1</sup> otpada na ulazu u proces kompostiranja).

Insineracijom predstavljenoj u scenariju 4 ostvaruju se uštede od 1,04 kg NO<sub>x</sub> t<sup>-1</sup> tretiranog otpada, a u RDF insineratoru (scenario 3) 2,57 kg NO<sub>x</sub> t<sup>-1</sup> tretiranog otpada. U radu autora *Lombardi i dr. (2005)* mogu se naći podaci da se emituje 1,95 i 4,03 kg NO<sub>x</sub> t<sup>-1</sup> otpada tretiranog termičkim putem.

Emisije NO<sub>x</sub> sa deponije u ovom radu se kreću od 0,62 do 0,74, a autor *Hong i dr (2010)* navode vrednosti 0,08 kg NO<sub>x</sub> t<sup>-1</sup> otpada. U radu koji analizira region upravljanja otpadom u Italiji, emisije NO<sub>x</sub> sa deponije iznose 0,10 kg po toni otpada (*Arena i dr. 2003*).



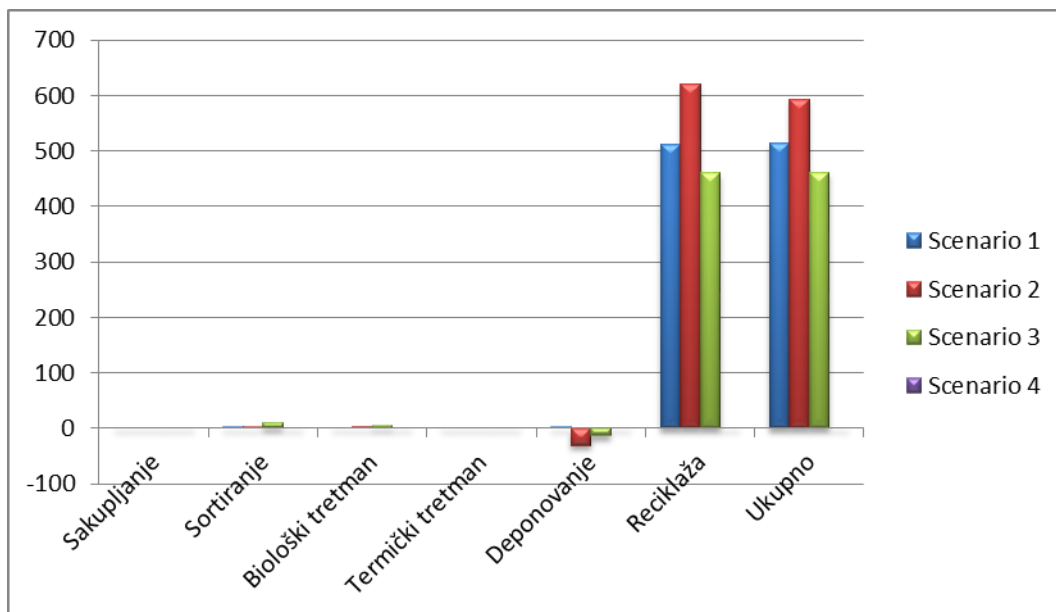
Grafik 4.7 Komparacija scenarija kroz emisije NO<sub>x</sub> (t)

Za emisije NO<sub>x</sub> najviše je odgovoran proces sakupljanja i transporta, odnosno motori sa unutrašnjim sagorevanjem. Kao predlog za prevazilaženje ovog problema neophodno je razmotriti ili unaprediti šeme sakupljanja i transporta otpada.

### NH<sub>3</sub>

Amonijak se u najvećoj meri izdvaja prilikom procesa reciklaže (grafik 4.8). Emisije NH<sub>3</sub> se jednako kao i emisije N<sub>2</sub>O u većoj meri generišu usled reciklaže papira. Ove emisije u scenariju 1 iznose 0,03 kg NH<sub>3</sub> t<sup>-1</sup> recikliranih sirovina, 0,01 kg NH<sub>3</sub> t<sup>-1</sup> recikliranih sirovina u scenariju 2, dok u scenariju 3 iznose 0,009 kg NH<sub>3</sub> t<sup>-1</sup> recikliranih sirovina.

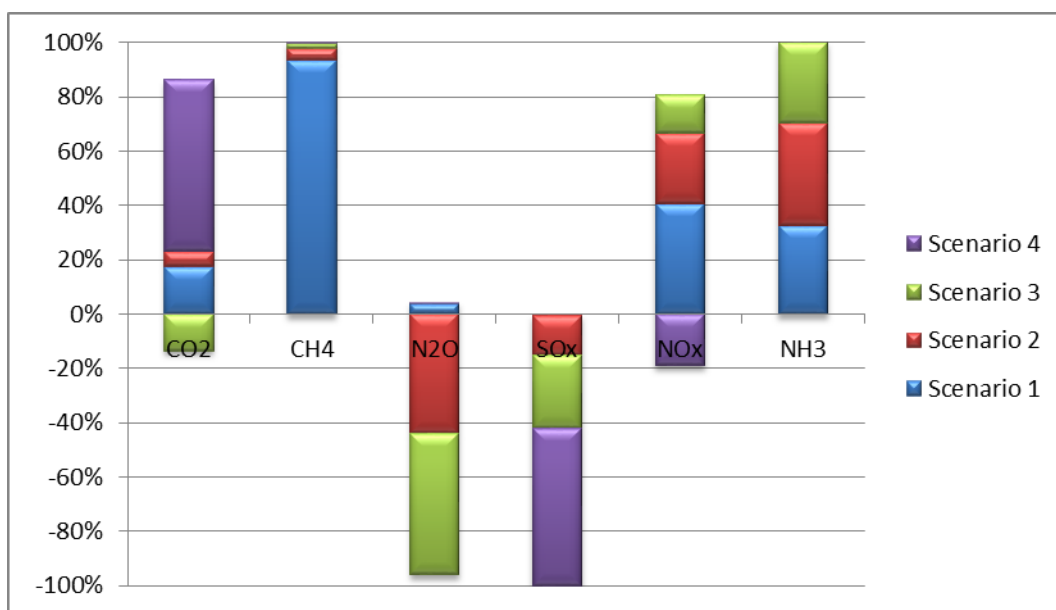
Kako bi se smanjile ove emisije neophodno je sprovesti dodatne analize, odnosno analize koje bi odredile nivo količine papira i krajnjeg kvaliteta papira koji je opravdano reciklirati.



Grafik 4.8 Komparacija scenarija kroz emisije NH<sub>3</sub> (kg)

Amonijak se takođe javlja i usled kompostiranja. Poznato je da se prilikom kompostiranja emisije amonijaka povećavaju sa porastom temperature u kompostnoj gomili (Pagans i dr, 2006). Sa aspekta emisija amonijaka scenario 4 se izdvaja kao najbolja opcija tretmana otpada, jer proces insineracije ne emituje ove štetne gasove.

Pregled emisija CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> i NH<sub>3</sub> za četiri scenarija prikazan na je grafiku 4.9. Na ovom grafiku uočava se da scenario 1 ostvaruje nepovoljan uticaj u svih šest parametara, dok scenario 3 pozitivno utiče na tri od šest posmatranih parametara.

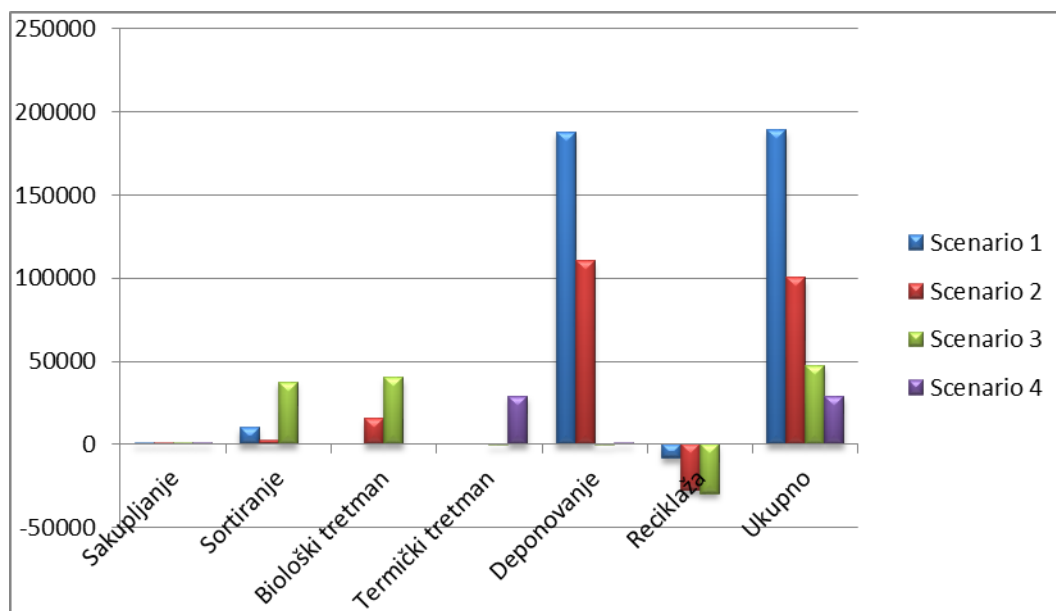


Grafik 4.9 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz emisije u vazduh

### Rezidualne količine otpada

Na grafiku 4.10 dat je prikaz poređenja rezidualnih količina otpada, odnosno otpada koji zahteva odlaganje na deponije. Ove količine prikazane su kroz zapreminu otpada i razmatrane su iz perspektive životnog ciklusa otpada. Kao što se moglo i očekivati najveće količine otpada nastaju u scenariju 1 koji opisuje postojeće stanje u oblasti upravljanja čvrstim komunalnim otpadom u Regionu. Najmanja količina otpada nastaje u scenariju 4 koji podrazumeva tretman čvrstog komunalnog otpada u insineratoru.

Na osnovu prikazanih podataka na grafiku 4.10 može se zaključiti da se implementacijom insineracije smanjuje količina otpada koja zahteva konačno odlaganje za gotovo 85 %, u odnosu na količinu koja se trenutno odlaže na deponiju. Međutim, ostatak koji nastaje iz procesa insineracije zahteva odlaganje na odlagalište opasnog otpada, a neretko i poseban tretman pre konačnog odlaganja. Ostatak koji nastaje iz procesa insineracije je heterogena mešavina šljake, metala, keramike, stakla, nesagorene organske materije i drugih nesagorivih neorganskih materija. Uglavnom se sastoji od silikata, oksida i karbonata. U većini postrojenja za sagorevanje pepeo se mehanički sakuplja, hladi i tretira, kako bi se povratili reciklabilni materijali. Ostatak se odlaže na deponiju ili alternativno može da se koristi kao zamena za određene materijale u građevinarstvu (Vujić i dr. 2012).



Grafik 4.10 Komparacija scenarija upravljanja otpadom kroz rezidualne količine čvrstog otpada ( $m^3$ )

Kada je u pitanju scenario 2 ukupne količine rezidualnog otpada iznose  $100.411 m^3$ , odnosno  $0,51 m^3 t^{-1}$  otpada i u odnosu na scenario 1 ova količina je smanjena za 46 %, a

poređenjem scenarija 3 u odnosu na scenario 1, redukcija rezidualnog otpada iznosi 75 %. U svim razvijenim scenarijima se otpad prvo tretira, a zatim se odlaže na deponiju, što značajno utiče na smanjenje rezidualne količine otpada, odnosno količinu otpada koju treba odložiti na deponiju.

Uzimajući u obzir opasnost i zahteve za bezbedno odlaganje rezidualnog otpada iz scenarija 4, scenario 3 se može smatrati najpogodnijim sa ovog aspekta.

## **4.2 Diskusija rezultata na nivou ocenjivanja uticaja životnog ciklusa**

Komparacija scenarija kroz LCIA indikatore prikazana je na narednim graficima (4.11 – 4.16). Na osnovu analize inventara i podataka o tretmanima otpada realizovano je ocenjivanje uticaja životnog ciklusa čvrstog komunalnog otpada u četiri scenarija upravljanja otpadom u Regionu. U skladu sa ciljem LCA studije, rezultati inventara životnog ciklusa povezani su sa tri kategorije uticaja i to: *globalno zagrevanje, zakišeljavanje i zauzimanje zemljišta*.

### *Globalno zagrevanje*

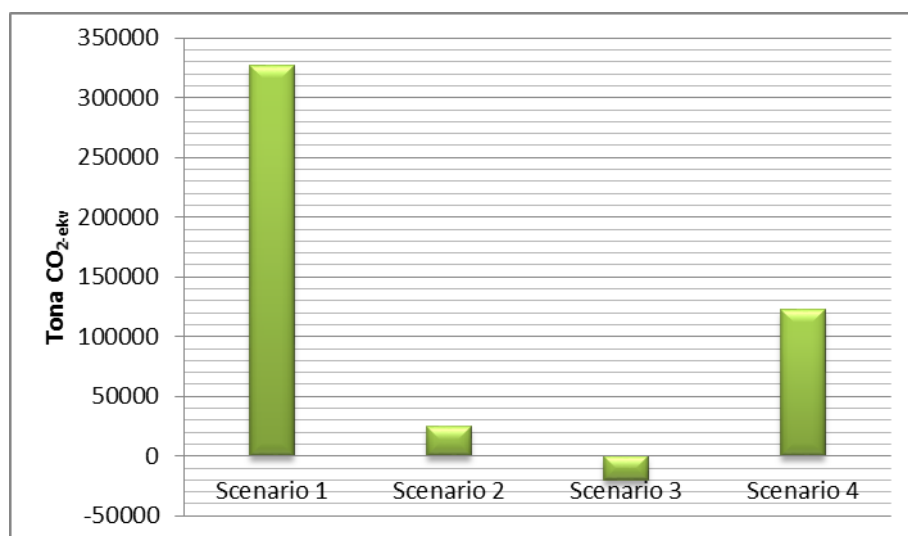
Na grafiku 4.11 i u tabeli 4.3 prikazani su rezultati uticaja životnog ciklusa otpada na međupoziciji, a u slučaju "*globalnog zagrevanja*" i na krajnjoj poziciji mehanizama životne sredine.

"*Globalno zagrevanje*" je, prema Metodologiji Impact 2002+, jedina kategorija uticaja na međupoziciji koja doprinosi kategoriji uticaja "*klimatske promene*", stoga su ove vrednosti jednake na oba nivoa.

Kako je uočljivo na grafiku 4.11, scenario 1 predstavlja najnepovoljniju opciju sa stanovišta uticaja na "*klimatske promene*". Postojećom praksom upravljanja otpadom u Regionu se godišnje emituje 326.914 tona CO<sub>2-eq</sub> ili 1,67 tona CO<sub>2-eq</sub> t<sup>-1</sup> otpada. U radu autora *Hong i dr., (2010)* koji analizira deponovanje komunalnog otpada u Kini i sprovodi komparaciju dobijenih rezultata sa rezultatima iz nekoliko naučnih radova, ova vrednost se kreće od 0,49 do 6,99. Visoke vrednosti potencijala globalnog zagrevanja javljaju se na deponijama koje nisu opremljene sistemom za sakupljanje i tretman deponijskog gasa.

Iako sa aspekta emisija CO<sub>2</sub> insineracija ostvaruje najveće koncentracije, sa aspekta CO<sub>2-ekv</sub> najveće koncentracije pokazala je nesanitarna deponija zbog emisija CH<sub>4</sub> koji ima 25 puta veći potencijal globalnog zagrevanja.





Grafik 4.11 Komparacija scenarija kroz indikator "globalno zagrevanje"

Tabela 4.3 Vrednosti indikatora "globalno zagrevanje" na krajnjim pozicijama za sve scenarije upravljanja otpadom

<b>Globalno zagrevanje</b>	Rezultati indikatora na krajnjoj poziciji (tona CO <sub>2-ekv</sub> )
Scenario 1	326.914
Scenario 2	24.827
Scenario 3	-20.547
Scenario 4	122.402

Naprednijim sistemima upravljanja otpadom, predstavljenim u scenarijima 2, 3 i 4, ovaj uticaj se može smanjiti za ≈93 % u scenariju 2, za ≈106 % u scenariju 3 i za ≈63 % u scenariju 4. Poredeći scenario 1 i 2 moguće je zaključiti da se intenzivnijom primenom reciklaže i kompostiranjem, kao i sanitarnim odlaganjem otpada, postižu značajne redukcije emisije CO<sub>2-ekv</sub> i ove emisije u scenariju 2 iznose 0,12 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada. Najbolji efekti u smislu redukcije emisije gasova sa efektom staklene bašte postižu u scenariju 3. U ovom scenariju kombinovani su tretmani otpada naspram sastava otpada i dobijeni su relativno odgovarajući rezultati, odnosno smanjenje emisije CO<sub>2-ekv</sub> od 0,10 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup>.

U procesu insineracije emisije gasova sa efektom staklene bašte su relativno visoke za šta su odgovorne frakcije otpada koje su nastale od naftnih derivata. Insineracija, predstavljena u scenariju 4, je mnogo manje prihvatljiva opcija u odnosu na tretmane otpada predstavljene u scenarijima 2 i 3, s obzirom da se, prema prikazanim rezultatima, iz procesa insineracije neselektovanog otpada emituju velike količine CO<sub>2</sub>, odnosno 0,62 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada.

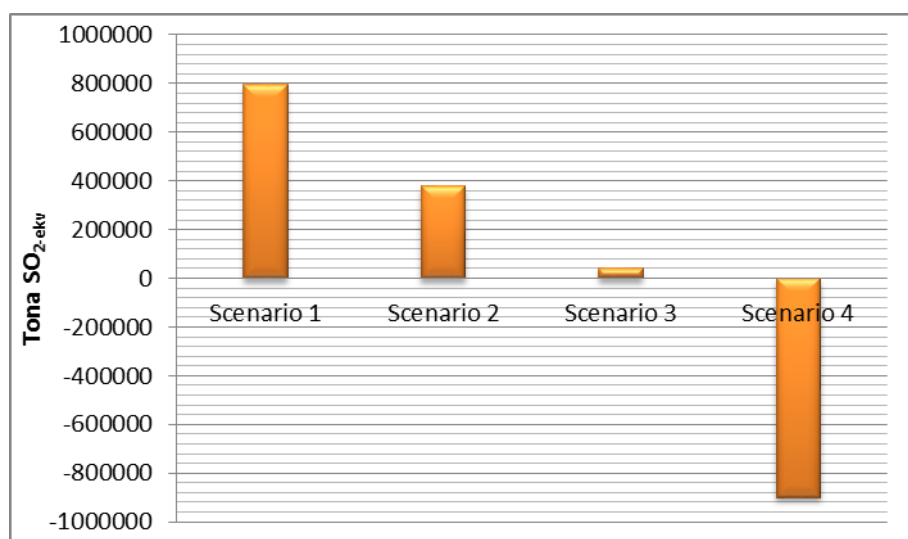
LCA analiza procesa insineracije u radu autora *Eriksson i dr. (2005)* daje rezultate od 0,33 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada, a u radu autora *Banar i dr. (2009)* se može naći vrednost od 1,51 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada, dok autori *Liamsanguan i Gheewala (2008)* daju vrednost od 0,63 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada,

t<sup>-1</sup> otpada. U ovom radu emisije iz samog procesa insineracije iznose 0,75 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada, međutim posmatrajući ovaj procese iz perspective životnog ciklusa, odnosno uzimajući u obzir uštede emisija gasova sa efektom staklene bašte zbog obnavljanja energije od 0,13 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada, ukupna vrednost iznosi 0,62 t CO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada. Sa stanovišta doprinosa klimatskim promenama scenario 4 svakako ne predstavlja prihvatljivu opciju.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da optimizacijom postojećeg sistema za upravljanje otpadom može doći do značajnog smanjenja emisija koje doprinose globalnom zagrevanju. Najveći efekat se postiže RDF tretmanom, međutim i u ostalim scenarijima evidentna je značajna redukcija emisija gasova koji utiču na globalno zagrevanje.

### Zakišeljavanje zemljišta

Na grafiku 4.12 prikazani su rezultati na međupoziciji za "zakišeljavanje zemljišta", a u tabeli 4.4 su dati rezultati indikatora na krajnjoj poziciji mehanizama životne sredine. Indikator "zakišeljavanje zemljišta" obuhvata uticaje u oblasti kvaliteta ekosistema koji su izazvani emisijama amonijaka, oksida sumpora i azota u atmosferu (Thorneloe i dr., 2007).



Grafik 4.12 Komparacija scenarija kroz indikator "zakišeljavanje zemljišta"

Sa aspekta životnog ciklusa otpada, emisije jedinjenja koje doprinose "zakišeljavanju zemljišta" u najvećoj meri javljaju se na neuređenim deponijama, 0,004 t SO<sub>2-ekv</sub> t<sup>-1</sup> otpada (scenario 1). Ova jedinjenja se takođe emituju i usled biološkog tretmana, odnosno kompostiranja otpada (scenario 1 i 2). Porast temperature i pH u kompostnoj gomili podstiče

emisije amonijaka. Proces insineracije (scenario 4) predstavljen u radu se najpovoljnije odražava na "zakišeljavanje zemljišta" i ostvaruje vrednost od  $-0,004 \text{ t SO}_{2\text{-ekv}} \text{ t}^{-1}$  otpada.

Tabela 4.4 Vrednosti indikatora "zakišeljavanje zemljišta" na krajnjim pozicijama za sve scenarije upravljanja otpadom

Zakišeljavanje zemljišta	Rezultati indikatora na krajnjoj poziciji (PDF·m <sup>2</sup> ·god)
Scenario 1	827.162
Scenario 2	395.410
Scenario 3	43.616
Scenario 4	-937.374

"Zakišeljavanje zemljišta" kao indikator razmatran je u svega nekoliko naučnih radova koji se bave pomešanim komunalnim otpadom. Ovaj indikator je uglavnom analiziran u radovima koji se bave pojedinim tokovima otpada. Autor *Hong i dr. (2010)* u svom radu analizira proces insineracije i kao rezultat dobijena je vrednost od  $-0,001 \text{ t SO}_{2\text{-ekv}} \text{ t}^{-1}$  otpada, odnosno procesom insineracije ostvaruju se benefiti po životnu sredinu, a u radu koji analizira region u Italiji emisije  $\text{SO}_{2\text{-ekv}}$  iznose  $-0,004 \text{ t t}^{-1}$  otpada (*Arena i dr 2003*).

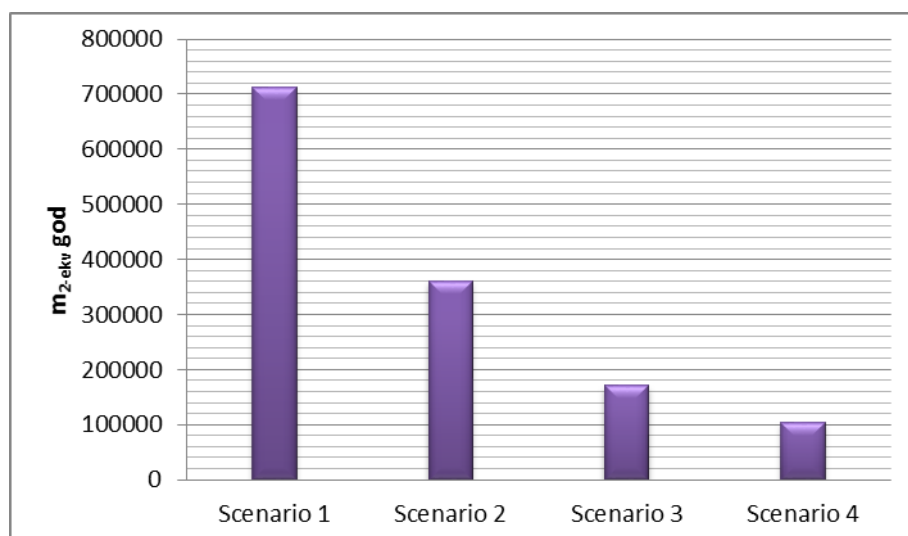
Uštede se ostvaruju i prilikom sanitarnog odlaganja otpada. U ovom radu je situacija ipak nešto drugačija, te nisu ostvarene uštede, što se može pripisati kombinacijama nekoliko različitih vidova tretmana otpada u scenarijima 2 i 3.

Scenario 1, koji opisuje postojeće stanje u upravljanju otpadom u Regionu, emituje čak 795 tona  $\text{SO}_{2\text{-ekv}}$  godišnje, a šteta naneta "kvalitetu ekosistema" odražava preko 827.162 PDF·m<sup>2</sup>·god. U alternativnim opcijama sistema upravljanja otpadom, koje su predstavljene u scenarijima 2, 3 i 4, količina emitovanog  $\text{SO}_{2\text{-ekv}}$  značajno se smanjuje i to za 47 % u scenariju 2, za 94 % u scenariju 3 i za 222 % u scenariju 4.

Generalno se može zaključiti da se sa usložnjavanjem tehnologija, predstavljenim u scenarijima 2, 3 i 4, smanjuje negativan uticaj sistema upravljanja otpadom na indikator "zakišeljavanje zemljišta". U sva tri alternativna scenarija prisutno je smanjenje "zakišeljavanje zemljišta", a najbolji efekti u redukciji emisije  $\text{SO}_{2\text{-ekv}}$  se postižu implementacijom insineracije.

#### Zauzimanje zemljišta

Na sledećem grafiku su predstavljeni rezultati ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada na međupoziciji za indikator "zauzimanje zemljišta".



Grafik 4.13 Komparacija scenarija kroz indikator "zauzimanje zemljišta"

Na osnovu predstavljenih rezultata moguće je zaključiti da se površina zemljišta koja je namanjena za tretman otpada značajno redukuje u razvijenim scenarijima u odnosu na postojeći scenario. Evidentno je da deponovanje zauzima najveće površine zemljišta i da tretmani koji su obuhvaćeni u razvijenim scenarijima zauzimaju znatno manje površine. Kompostiranje je process koji zahteva određenu površinu zemljišta, ali znatno manju nego deponovanje, a najmanju površinu zauzimaju postrojenja za sagorevanje otpada. Dakle, ovaj indikator pruža informacije o promenama namene zemljišta i predstavlja važan faktor prilikom određivanja stepena degradacije zemljišta i u tom smislu uticaja na "kvalitet ekosistema" (gubitak staništa ili predela). Degradacija zemljišnog prostora podrazumeva smanjenje ili gubitak biološke ili ekonomske produktivnosti i kompleksnosti zemljišta ("Sl. glasnik RS", br. 88/2010).

"Zauzimanje zemljišta" u scenariju 1 iznosi  $3,63 \text{ m}^2\text{-ekv t}^{-1}$  otpada, a u scenariju 4 svega  $0,53 \text{ m}^2\text{-ekv t}^{-1}$  otpada. Insineracija se izdvaja kao najbolja opcija, što je slučaj i u sličnim analizama. U LCA studiji autora *Hong i dr (2010)*, u kojoj je primenjena Impact 2002+ metoda, za sastav otpada vrlo sličan sastavu otpada u ispitivanom regionu "zauzimanje zemljišta" usled deponovanja iznosi  $4,21 \text{ m}^2\text{-ekv t}^{-1}$  otpada, a pri insineraciji  $0,76 \text{ m}^2\text{-ekv t}^{-1}$  otpada.

Sanitarnim deponovanjem, povećanjem stepena reciklaže i kompostiranjem, koje je obuhvaćeno u scenariju 2, ovo opterećenje se umanjuje za  $\approx 59\%$  u odnosu na scenarijo 1. Implementacijom RDF tretmana, koji podrazumeva scenario 3, opterećenje zemljišta se umanjuje za  $\approx 76\%$ , a implementacijom insineracije umanjuje se za  $\approx 85\%$ .

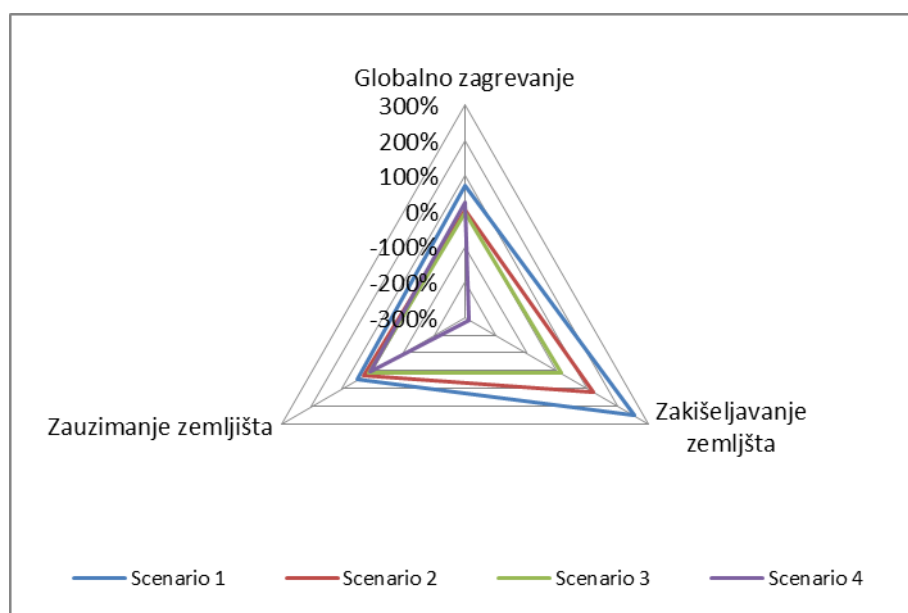
U tabeli 4.5 su dati rezultati indikatora "zauzimanje zemljišta" na krajnjoj poziciji. Ugroženost "kvaliteta ekosistema" usled zauzimanja zemljišta, odnosno, gubitak

biodiverziteta u vremenskom periodu od godinu dana se alternativnim scenarijima može umanjiti za od 2 do 6 puta.

Tabela 4.5 Vrednosti indikatora "zakišeljavanje zemljišta" na krajnjim pozicijama za sve scenarije upravljanja otpadom

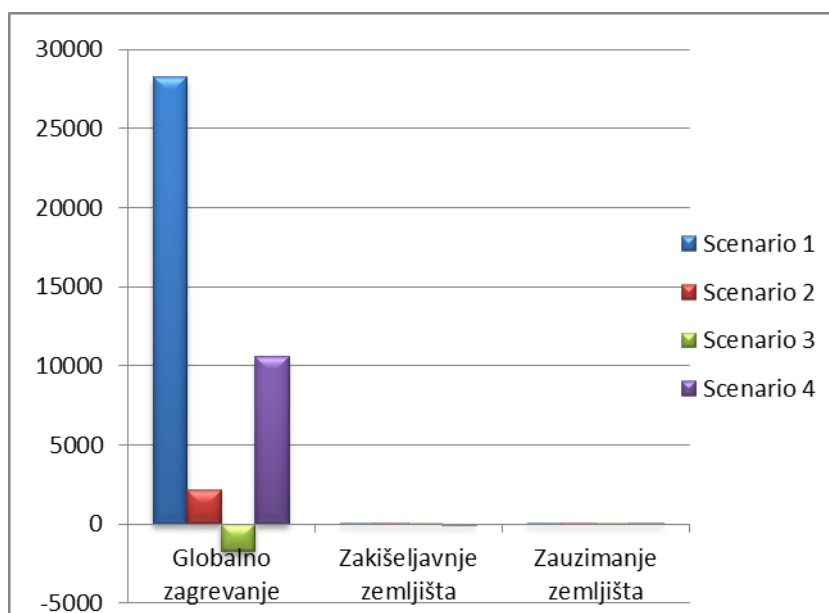
Zauzimanje zemljišta	Rezultati indikatora na krajnjoj poziciji (PDF·m <sup>2</sup> ·god)
Scenario 1	776.873
Scenario 2	393.611
Scenario 3	186.106
Scenario 4	114.295

Na grafiku 4.14 dat je uporedni prikaz rezultata ocenjivanja uticaja životnog ciklusa otpada. Komparacija četiri scenarija upravljanja otpadom sprovedena sa ciljem jasnijeg uočavanja povećanja ili smanjenja negativnog opterećenja životne sredine, nastalog uvođenjem savremenih tehnologija tretmana otpada.



Grafik 4.14 Uporedni prikaz rezultata ocenjivanja uticaja na životnu sredinu

Scenario 1 pokazuje najveće opterećenje životne sredine po svim kategorijama uticaja, odnosno LCIA indikatorima. Scenario 4 pokazao se najpogodnijim za dva indikatora koji se odnose na "kvalitet ekosistema", dok scenario 3 pokazuje najniže opterećenje kada su u pitanju "klimatske promene".

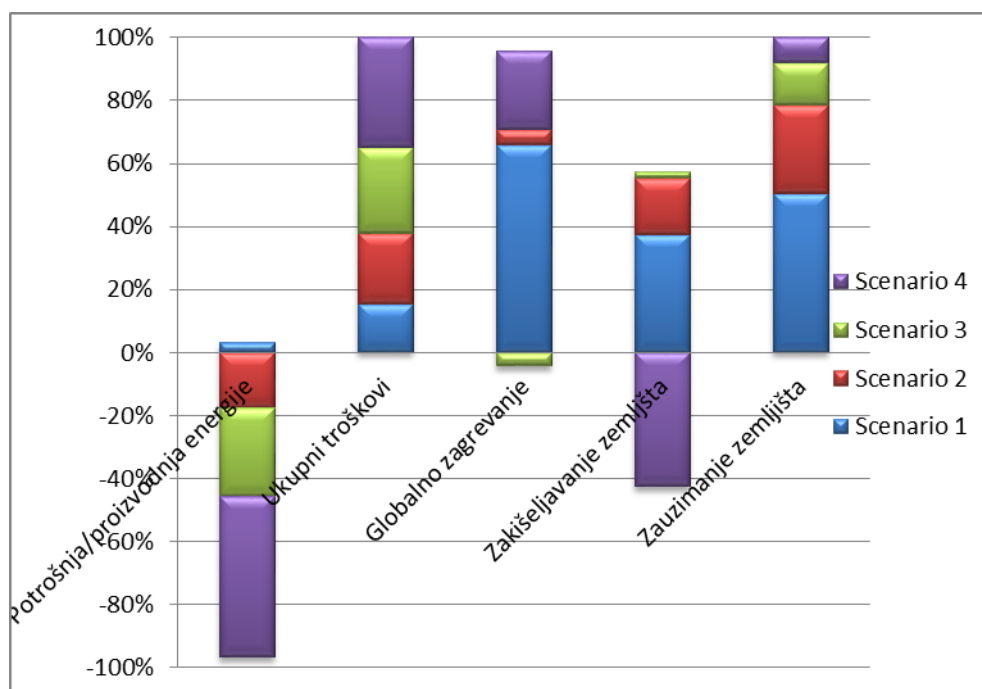


Grafik 4.15 Uporedni prikaz rezultata normalizacije za četiri scenarija upravljanja otpadom preko kategorija uticaja krajnjeg nivoa

Postupkom normalizacije utvrđeno je da indikator "globalno zagrevanje" ima znatno veći udeo u ukupnom uticaju na životnu sredinu. Rezultati normalizacije, odnosno, poređenje rezultata različitih kategorija u istim jedinicama su prikazani na grafiku 4.15.

Normalizovane vrednosti za "klimatske promene" drastično odstupaju od normalizovanih rezultata ocene uticaja na krajnjim pozicijama za indikatore "zakišeljavanje zemljišta" i "zauzimanje zemljišta". Može se reći da su uticaji na "zakišeljavanje zemljišta" i "zauzimanje zemljišta" zanemarljivi u odnosu na "globalno zagrevanje".

Na grafiku 4.16 su sumarno prikazani svi indikatori; LCI i LCIA indikatori, i udeo svakog scenarija u datom indikatoru.



Grafik 4.16 Komparacija scenarija kroz LCI i LCIA indikatore

Posmatrajući scenarije sa aspekta ušteta ili benefita, izdvajaju se dva scenarija i to scenariji 3 i 4. Scenariji 3 i 4 ostvaraju uštete u dva od pet indikatora. Uvođenjem scenarija 3 ostvaruju se uštete energije i povoljan uticaj na "globalno zagrevanje". Implementacija insineracije obezbeđuje uštedu energije i povoljan uticaj na "zakišeljavanje zemljišta".

### 4.3 Rekapitulacija

Sprovedena LCA studija pokazala je sledeće:

**Scenario 1;** trenutnom praksom upravljanja otpadom u Regionu se na postrojenju za sortiranje izdvoji 8.950 tona sekundarnih sirovina. Troškovi ovog sistema iznose 21 € stanovniku<sup>-1</sup>god<sup>-1</sup>. Na godišnjem nivou uticaj na "globalno zagrevanje" iznosi 326.914 tona CO<sub>2</sub>-ekv, uticaj na "zakišeljavanje zemljišta" iznosi 794 tona SO<sub>2</sub>-ekv, a uticaj na "zauzimanje zemljišta" 712.134 m<sup>2</sup>-ekv. Postojeći scenario ne zadovoljava ciljeve postavljene u EU direktivama, odnosno Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu (*Directive 2004/12/EC*) i Direktive o deponovanju otpada (*Council Directive 99/31/EC*). Ovaj scenarijo ima brojne nedostatke, kako sa aspekta životne sredine, tako i sa aspekta ispunjenja zakonskih obaveza.

**Scenario 2;** u okviru scenarija 2 analizirano je sortiranje suvih reciklabila (ambalažnog otpada) i to 60 % papirne i staklene frakcije, 50 % metala i 22 % plastičnog otpada. Dodatno, u postrojenju za kompostiranje procesuirano je 65 % biodegradabilnog

otpada, dok se preostali otpad odlaže na sanitarnu deponiju. Na deponiju se odlaže i 7 % ostatka nakon biološkog tretmana, 50 % komposta koji nema tržišnu vrednost, kao i ostatak nastao prilikom sortiranja suvih reciklabila koji iznosi 8 % od količina otpada na ulazu u postrojenje za sortiranje.

Ovaj scenario zadovoljava ciljeve EU Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu i Direktivi o deponovanju otpada, međutim treba napomenuti da 50% komposta ipak odlazi na deponiju čime se povećava procenat deponovanog biodegradabilnog otpada. Kako bi se zadovoljio cilj smanjenja odlaganja biodegradabilnog otpada na deponije na 35 % od ukupnog biodegradabilnog otpada potrebno je još ≈13.000 tona otpada preusmeriti sa deponije na odgovarajuće tretmane.

Scenariom 2 smanjena je količina deponovanog otpada za 47 % u odnosu na scenario 1. Ušteda energije iznosi 333.934 GJ god<sup>-1</sup>, a troškovi naknade po stanovniku iznose 32 € god<sup>-1</sup>. Ukupna količina emisija koje doprinose "globalnom zagrevanju" iznosi 24.827 tona CO<sub>2-ekv</sub> god<sup>-1</sup>, emisije koje doprinose "zakišeljavanju zemljišta" iznose 379 tona SO<sub>2-ekv</sub>, dok uticaj na "zauzimanje zemljišta" iznosi 360.810 m<sup>2-ekv</sup>.

**Scenario 3;** pored tretmana otpada koji su analizirani u scenariju 2, scenario 3 obuhvata i analizu RDF postrojenja (sortiranje + spaljivanje u RDF insineratoru). Na RDF postrojenju tretira se 103.740 tona otpada, odnosno ona količina otpada koja se u scenariju 2 usmerava direktno na deponiju. Jednako kao i u scenariju 2, u scenariju 3 su ispunjeni ciljevi Direktive o ambalaži i ambalažnom otpadu, a količine otpada koje se kompostiraju povećavaju se za 38.486 tona čime se značajno umanjuje količina biodegradabilnog otpada koji se odlaže na deponiju, što implicira da su ispunjeni i ciljevi Direktive o deponovanju otpada. Ova količina biodegradabilnog otpada je izvojena u procesu RDF sortiranja.

U okviru scenarija 3, značajno se smanjuje količina otpada koji se odlaže na deponiju i to 75 % manje u odnosu na scenario 1. Naknada po stanovniku iznosi 38 € god<sup>-1</sup>. Ovaj scenario ostvaruje pozitivan uticaj na "globalno zagrevanje" od -20.547 tona CO<sub>2-ekv</sub> god<sup>-1</sup>, "zakišeljavanje zemljišta" iznosi 41 tonu SO<sub>2-ekv</sub>, a uticaj na "zauzimanje zemljišta" iznosi 170.597 m<sup>2-ekv</sup>.

**Scenario 4;** insineracijom se količine otpada koje se odlažu na deponiju smanjuju za 85 % u odnosu na 1. scenario. Ovakav scenario zadovoljava ciljeve Direktive o deponovanju otpada i generiše najviše energije, međutim najmanje je prihvatljiv sa ekonomskog aspekta i aspekta emisija gasova sa efektom staklene bašte. Visina naknade koju stanovnik plaća na godišnjem nivou iznosi 49 € god<sup>-1</sup>, a emisije gasova sa efektom staklene bašte, odnosno gasova koji doprinose "globalnom zagrevanju" iznose 122.502 tona CO<sub>2-ekv</sub>. S druge strane uticaj ovog scenarija na "zakišeljavanje zemljišta"



ostvaruje uštede od -693 tona SO<sub>2-ekv</sub>, a uticaj na "zauzimanje zemljišta" je najmanji u poređenju sa scenarijima 1, 2, i 3.

U tabeli 4.6 izvršeno je rangiranje scenarija prema zadatim indikatorima i sprovedeno je ocenjivanje ispunjenosti zahteva navedenih EU direktiva.

Tabela 4.6 Rangiranje scenarija i ocena ispunjenosti zahteva EU direktiva

	Potrošnja /proizvod. energije	Ukupni troškovi	Globalno zagrevanje	Zakišeljavanje zemljišta	Zauzimanje zemljišta	Dir. o deponovanj u otpada	Dir. o ambalaži i ambalažnom otpadu
Scenario 1	4	1	4	4	4	Ne	Ne
Scenario 2	3	2	2	3	3	Da	Da
Scenario 3	2	3	1	2	2	Da	Da
Scenario 4	1	4	3	1	1	Da	Ne

Iako je scenario 4 rangiran kao najbolji, s obzirom da ostvaruje najbolji rezultat na tri od pet analiziranih indikatora, uvažavajući veličinu uticaja i značaj problema "klimatskih promena" i ispunjenost ciljeva EU direktiva, scenario 3 se ipak može smatrati najpogodnijim scenarijom za Region.

## 5. Zaključak

LCA je jedan od brojnih analitičkih instrumenata koji se danas primenjuju za podršku prilikom donošenja odluka u oblasti upravljanja otpadom. U cilju predviđanja opterećenja životne sredine, uspostavljanja optimalnog i održivog sistema upravljanja otpadom i sistema kojim bi se minimizirali negativni uticaji na životnu sredinu, LCA obezbeđuje paletu odgovora kroz kategorije uticaja. Analiza komunalnog otpada od trenutka nastanka, kroz sakupljanje, transport i tretman do odlaganja otpada omogućava sagledavanje uticaja kako pojedinačnih faza životnog ciklusa otpada, tako i celokupnog sistema upravljanja otpadom.

Pred donosiocima odluka na lokalnom, regionalnom i nacionalnom nivou je veoma odgovoran i složen zadatak: "Kako formirati i praktično implementirati integralni sistem upravljanja čvrstim komunalnim otpadom, prilagođen lokalnim uslovima?" Za implementaciju integralnog sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom neophodna je primena niza različitih tehnologija tretmana, koje su prilagođene specifičnostima i potrebama regiona.

U skladu sa navedenim, u disertaciji je razvijen fleksibilan model za evaluaciju sistema upravljanja komunalnim otpadom baziran na LCA metodi, sa ciljem pružanja podrške donosiocima odluka za formiranje integralnog sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom. Model je primenjen na Region za upravljanje komunalnim otpadom sa

centrom u Novom Sadu da bi se predstavile prednosti i nedostaci pojedinih sistema ili procesa upravljanja komunalnim otpadom sa aspekta uticaja na: potrošnju energetske resursa, klimatske promene, zakišeljavanje zemljišta, zauzimanje zemljišta i ukupne troškove sistema.

Za analizu inventara životnog ciklusa i uticaja životnog ciklusa pošlo se od postojećih rešenja koja su modifikovana i prilagođena u odnosu na cilj istraživanja. Definisani su moduli i procedure sprovođenja LCA analize i formirana je baza podataka o tretmanima otpada, prilagođena lokalnim uslovima.

Praktična funkcionalnost razvijenog modela potvrđena je kroz četiri scenarija upravljanja komunalnim otpadom. Scenario 1 je osnovni scenario koji opisuje trenutnu praksu upravljanja otpadom u Regionu. Baziran je na količini i sastavu sakupljenog otpada i postojećoj infrastrukturi za tretman otpada. Scenario 2, 3 i 4 su formirani tako da se predstave prednosti po životnu sredinu naprednih sistema upravljanja otpadom, a da se zadovolje zahtevi nacionalnog i zakonodavstva EU u pogledu iskorišćenja korisnih komponenti otpada i smanjenja odlaganja biodegradabilnog otpada na deponije. Prilikom razvoja scenarija upravljanja otpadom razmatrane su metode tretmana otpada: reciklaža, kompostiranje, RDF tretman otpada, insineracija i deponovanje.

Evaluacija i komparacija scenarija upravljanja otpadom sprovedena je kroz pet indikatora (tri indikatora uticaja i dva indikatora performansi), odabranih na osnovu cilja analize. Ostvareni rezultati istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pokazuju jasne razlike između postojećeg i alternativnih sistema upravljanja otpadom kada su u pitanju odabrani indikatori.

Razvijeni LCA model je fleksibilan jer omogućava korisniku unos specifičnih podataka i implementaciju različitih tretmana otpada, daje prikaz rezultata na više nivoa i verifikovan je na razvijenim scenarijima. Dobijeni rezultati se odnose na predviđanje opterećenja životne sredine i ekonomskih troškova, što dovodi do zaključka da je prva hipoteza ove disertacije potvrđena.

Druga hipoteza se odnosi na definisanje optimalnog sistema upravljanja čvrstim komunalnim otpadom u regionu Novog Sada. Ovu hipotezu je potvrđeno na bazi rezultata koji se odnose na odabrane indikatore i korisni su prilikom definisanja optimalnog i održivog sistema upravljanja komunalnim otpadom, a u vezi su sa praćenjem uticaja različitih opcija i/ili kombinacija opcija tretmana čvrstog komunalnog otpada na kvalitet životne sredine i ekonomske troškove.

Na bazi rezultata, dobijenih primenom razvijenog modela, moguće je proceniti nivo ispunjenosti ciljeva definisanih u direktivama EU, čime je praktično potvrđeno i treća postavljena hipoteza.

Očekuje se da će model omogućiti brže i efikasnije donošenje odluka korisnicima, kao i da će proširiti dosadašnja saznanja o mogućnostima primene LCA metoda na sistem upravljanja čvrstim komunalnim otpadom, posebno u Republici Srbiji. Model će pomoći planerima i donosiocima odluka na lokalnom, regionalnom i nacionalnom nivou prilikom izbora tehnologija tretmana čvrstog komunalnog otpada. Takođe, omogućiće učesnicima u postupku planiranja upravljanja čvrstim komunalnim otpadom, koji ne poseduju značajna znanja i iskustva, da razumeju i primenjuju LCA metodu.

Sprovedeno istraživanje predstavlja doprinos razvoju LCA modela iz perspektive inventarisanja životnog ciklusa, ocenjivanja uticaja životnog ciklusa i ekonomske analize. Doprinos inventarisanju životnog ciklusa ostvaren je kroz unapređenje LCI baze podataka u vezi sa tretmanom otpada. Na osnovu analize naučnih i stručnih izvora formirana je LCI baza podataka (potrošnja energije i troškovi tretmana otpada). Razvijeni model pruža mogućnost izbora metode za ocenjivanje uticaja životnog ciklusa u zavisnosti od cilja i svrhe analize. Model nije striktno vezan za određenu LCIA metodu već postoji mogućnost izbora metode (Impact2002+, ReCiPe i sl.) u zavisnosti od potreba korisnika. Ekonomske analize se najčešće izvode odvojeno od LCA analiza, međutim donosiocima odluka su ekonomske analize jednako bitne kao i analize koje se odnose na uticaj na životnu sredinu. Razvijeni model pruža mogućnost paralelne analize aspekata životne sredine i ekonomskih aspekata. Posebnost razvijenog modela ogleda se u mogućnosti analize rezultata na dva nivoa, odnosno LCI i LCIA nivou i određivanjem indikatora performansi i indikatora uticaja sistema koji mogu biti korisni u procesu donošenja odluka na svim nivoima, kako u preduzećima tako i u državnim institucijama.

Razvijeni model upravljanja otpadom obezbeđuje značajan naučni doprinos za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Mogući pravci budućih istraživanja se odnose na: proširenje granica sistema, uključivanje različitih šema sakupljanja, odnosno „odnošenje“ ili „donošenje“ otpada u reciklažna dvorišta ili na postrojenje za tretman otpada, analizu drugih tretmana otpada (npr. anaerobna digestija), kao i određivanje drugih kategorija uticaja (npr. eutrofikacija) pomoću faktora karakterizacije u okviru LCIA metoda.

LCIA metode su takođe bazirane na velikom broju pretpostavki o sudbini emitovanih materija i potencijalnim uticajima. Mnoge od ovih pretpostavki su i danas predmet diskusije u procesu unapređenja LCIA metoda. U cilju određivanja osetljivosti LCIA analize, buduća istraživanja treba usmeriti na komparaciju različitih metoda, npr. ReCiPe, Eko-indikator 99 i sl.

Ograničenja pristupa LCA, iako LCA instrument obezbeđuje energetske i materijalne bilans sistema, on nije u mogućnosti da prikaže aktuelne efekte na stanje životne sredine. Uticaji na činioce životne sredine, nastali usled emisija, zavise od vremena, mesta i samog

načina na koji se emisije oslobađaju u životnu sredinu. Radi određivanja ovih efekata potrebne su dodatne informacije, kao i drugi instrumenti procene. Stoga se LCA najčešće koristi kao komparativna analiza. Kao nedostatak razvijenog modela, ali i generalno većine LCA analiza, može se navesti nedostatak pouzdanih podataka. Buduća istraživanja neophodno je fokusirati na formiranje baze i sistematičan prikaz ne samo podataka o količinama otpada, već i podataka o potrošnji energije, resursa, finansijskih sredstava za svaki pojedinačni proces u sistemu upravljanja otpadom, kako bi se što efikasnije sprovela LCA analiza.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da je istraživanje uspešno realizovano, a da razvijeni model odgovara postavljenim istraživačkim zadacima. Iako je ova disertacija fokusirana na određene tehnologije tretmana komunalnog otpada i indikatore, izuzetnost instrumenta LCA ogleda se u mogućnosti analize i drugih vrsta i tehnologija tretmana otpada, kao i određivanje doprinosa različitim kategorijama uticaja, čime se otvara mogućnost za dalja istraživanja u ovoj oblasti. Ostvareni rezultati predstavljaju kvalitetnu osnovu za nastavak istraživanja u oblasti upravljanja otpadom, čime bi se omogućila preciznija evaluacija performansi sistema upravljanja otpadom.

## **6. Literatura**

- Achinas, S., Kapetanios, E. (2013) Efficiency Evaluation of RDF Plasma Gasification Process, *Energy and Environment Research*, 3 (1): 150-157.
- Aquino, J.,T. (1995) *Waste Age and Recycling Times: Recycling Handbook*, CRC Press, United States.
- Amor, C., Torres, S.E., Peres A., J., Maldonado, I., M., Oller, I., Malato, S. i Lucas, S., M. (2015) Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes, *Journal of Hazardous Materials*, 286, 261-268.
- Arena, U., Mastellone, M.L., Perugini (2003) The environmental performance of alternative solid waste management options: a life cycle assessment study, *Chemical Engineering Journal* 96: 207-222.
- Azevedo, L.,B., Zelm, R., Hendriks, A.,J., Bobbink, R., Huijbregts, M. (2013) Global assessment of the effects of terrestrial acidification on plant species richness, *Environmental Pollution*, 174, 10-15.
- Batinić, B. (2015) *Model za predviđanje količine ambalažnog i biorazgradivog otpada primenom neuronskih mreža*, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A. (2009) Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. *Waste Management* 29, 54-62.
- Beigl, P., Salhofer, S. (2004) Comparasion of ecological effects and cost of communal waste management systems, *Resources, Conservation and Recycling*, 41, 83-102.
- Berkhout, S., Oudenhoven, B., Rem, P. (2011) Optimizing Non-Ferrous Metal Value from MSWI Bottom Ashes, *Journal of Environmental Protection*, 2, 564-570.
- Bhander S. G., Christensen, H. T. and Hauschild Z. M. (2010) EASEWASTE – life cycle modeling capabilities for waste management technologies, *Int J Life Cycle Assess*, 15:403-416.
- Bjarnadottir, H.J., Fridriksson, G.B., Johnsen T., Sletsen H. (2002) *Guidelines for the use of LCA in the waste management sector*, Nordtest, Finland.

- Blengini, G., A., i Garbarino E (2010) Resources and waste management in Turin (Italy): the role of recycled aggregates in the sustainable supply mix, *Journal of Cleaner Production*, 19 (10-11):1021–1030.
- Bohdziewicz, J., Neczajb, E., Kwarcia, A. (2008) Landfill leachate treatment by means of anaerobic membrane bioreactor, *Desalination* 221 (1-3): 559–565.
- Boldrin, A., Christensen, T.H., Körner, I., Krogmann, U. (2011). Composting: mass balances and product quality, *Solid Waste Technology and Management* 1(2): 569-582.
- BUWAL (1998) Life Cycle Inventories for Packagings, Vol. II. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). Berne.
- Caputo, C.A., Pelagagge, M.P. (2002) RDF production plants: I Design and costs, *Applied Thermal Engineering* 22 (4): 423–437.
- Chen, T. C., Lin, C. F. (2008) Greenhouse gases emissions from waste management practices using Life Cycle Inventory model, *Journal of Hazardous Materials* 155: 23–31.
- Cherubini, F., Bargigli, S., Ulgiati, S. (2009) Life Cycle Assessment of waste management strategies: landfilling, sorting plant and incineration, *Energy*, 34: 2116-2123.
- Chester, M., E. Martin i N. Sathaye (2008). Energy, greenhouse gas, and cost reductions for municipal recycling systems, *Environmental Science & Technology*, 42(6), 2142-2149.
- Council Decision 2003/33/EC of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills, Brussels, Belgium.
- Council Directive 99/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste, Brussels, Belgium.
- Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste, Brussels, Belgium.
- Directive 2004/12/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste, Brussels, Belgium.
- Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives, Brussels, Belgium.

- Dong, T. and Lee B., K. (2009) Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea. *Waste Management* 29(5):1725-1731.
- Dong, J., Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., Ni, M. (2014). Comparison of municipal solid waste treatment technologies from a life cycle perspective in China. *Waste Management & Research*, 32(1): 13-23.
- Dubini, N (2005) Existing plants, waste-to-energy and CO<sub>2</sub> reduction: a sustainable equation, WTERT 2005 Fall Meeting at Columbia University New York - October 20-21th.
- EAS (2011). *Nacionalna strategija Republike Srbije za aproksimaciju u oblasti životne sredine*, "Službeni glasnik RS" broj 80/11.
- EC JRC (2012) Life cycle indicators for resources, products and waste, Report EUR 25520 EN, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.
- EC JRC (2014) Progress in the management of Contaminated Sites in Europe, Report EUR 26376 EN, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014
- EC WRc (2003) Refuse Derived Fuel, Current Practice And Perspectives, Report WRc Ref: CO5087-4, Swindon.
- EEA (2011). Projections of Municipal Waste Management and Greenhouse Gases, European Environment Agency, ETC/SCP working paper 4/2011, Copenhagen.
- EEA (2014). Technical report No 09/2014. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2012 and inventory report 2014, Submission to the UNFCCC Secretariat, European Environment Agency's.
- EEA (2015) SOER 2015, Waste — municipal solid waste generation and management, European Environment Agency.
- Emery, A., Davies, A., Griffiths, A., Williams K (2007) Environmental and economic modelling: A case study of municipal solid waste management scenarios in Wales, *Resources, Conservation & Recycling*, 49 (3) 244-263.
- Eriksson, O., Carlsson Reich, M., Frostell, B., Bjorklund, A., Assefa. G., Sundqvist, J.O. (2005) Municipal solid waste management from a systems perspective. *Journal Clean Production* 13, 241-252.

- ERRA (1998), European Recovery and Recycling Association, Brussels, Belgium.
- EU 2020 (2010). A strategy for smart, sustainable and inclusive growth, European Commission, Brussels, Belgium.
- EU Thematic Strategy (2005). Taking sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste, Brussels.
- Eurostat (2016a), European Commission, Eurostat, Environmental Data Centre on Waste, Key Waste streams, Municipal waste.
- Eurostat (2016b), Eurostat, the statistical office of the European Union, Municipal waste, Report, March 2016.
- FTN (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.
- FTN (2011) Regionalni plan upravljanja otpadom za Grad Novi Sad i opštine Bačka Palanka, Bački Petrovac, Beočin, Žabalj, Srbobran, Temerin i Vrbas, Srbija.
- GWMO (2015) Global Waste Management Outlook, UNEP-ISWA, Vienna, Austria.
- Guinee, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, de A., Oers, van L., Sleeswijk, A.W., Suh, S., Haes, H.A. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers.
- Gutierrez, J.F.M, Baxter, D., Hunter, Ch. and Svoboda K. (2005) Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions from waste and biomass to energy plants. *Waste Management & Research* 23 (2) 133–147.
- Hansen, T. L., Christensen, S. and Schmidt (2006) Environmental modelling of use of treated organic waste on agricultural land: a comparison of existing models for life cycle assessment of waste systems 24(2) 141-152.
- Hogg, D (2001) Costs for Municipal Waste Management in the EU Final Report to Directorate General Environment, European Commission.
- Hong, J., Li, X. and Zhaojie C. (2010) Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. *Waste Management* 30 (11) 2362–2369.



- Hoorweg, D., Bhada-Tata, P., (2012) What a waste – A Global Review of Solid Waste Management. World Bank, Washington DC, USA.
- Huitric, L. R., Kong D. (2006) Measuring landfill gas collection efficiency using surface methane concentrations, Solid Waste Management Department, Los Angeles County Sanitation Districts Whittier, California, Available from: <http://arbis.arb.ca.gov/>
- Humbert, S., Schryver, A.D., Bengoa, X., Margni, M., Jolliet, O. (2012). Impact 2002+: User Guide, Draft for version Q2.21 (version adapted by Quantis), Swiss Federal Institute of Technology Lausanne (EPFL), Switzerland.
- li, R., Yamaguchi, K., Okada, A., Itsubo, N., Inaba, A. (2008) Land Use Damage Assessment and its Application on Resource Extraction and Waste Landfill Impact Categories in LIME2, [https://www.pacific.co.jp/thesis/item/environment\\_59.pdf](https://www.pacific.co.jp/thesis/item/environment_59.pdf).
- ILCD handbook (2010) Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment, JRC, European Commission.
- INDISD (2001) Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies, UN Commission on Sustainable Development.
- IPCC (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 4: Biological Treatment of Solid Waste.
- IPCC (2007) Četvrti izveštaj o proceni promene klime Međuvladinog panela za promenu klime, WMO, UNEP.
- ISWA (2012), Otpad i klimatske promene, ISWA, Bela knjiga, Vienna, Austria.
- JKP (2014), Odlika o izmeni prodajnih cena br.15230/6 od 15.10.2014. godine, Nadzorni odbor JKP „Gradska čistoća“ Novi Sad.
- Johannes, B., Els, W. (1998) Is there a market for compost in agriculture? International Composting Conference, Melbourne, September 15 – 17.
- Johnake, B. (2009) Emissions from waste incineration, Good Practice Guidance and Uncertainty Management on National Greenhouse Gas Inventories, (IPCC/OECD/IEA).
- Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R (2003) IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology, Int J LCA 8 (6) 324 – 330.

- Jovičić, N., Petrović, D., Jaćimović, M., Jovičić, G., Gordić, D., Babić, M (2009) Tehno-ekonomska analiza postrojenja za kompostiranje organskog otpada Grada Kragujevca, Mašinski fakultet Kragujevac, Available from: <http://www.cqm.rs/2009/pdf/4/10.pdf>
- Khoo, H.H. (2009) Life cycle impact assessment of various waste conversion technologies. *Waste Management* 29 (6), 1892-1900.
- Kirkeby, J. (2005) Modelling of life cycle assessment of solid waste management systems and technologies, PhD thesis, Institute of Environment & Resources, Technical University of Denmark, Denmark.
- Kirkeby, J., Birgisdottir, H., Hansen T. L., and Christensen, H. T. (2006) Environmental assessment of solid waste systems and technologies: EASEWASTE. *Waste Management & Research* 24: 16-26.
- Kiš, F. i Bošković, G. (2013) Ocenjivanje uticaja životnog ciklusa biodizela ReCiPe metodom, *Hem. Ind.*, 67(4): 601-613.
- Klang, A. B., Vikman, P. A. i Brattebo, H. (2008) Sustainable management of combustible household waste - Expanding the integrated evaluation model, *Resources Conservation & Recycling*, 52(8-9), 1101-1111.
- Kohaupt, U., W. (2009) Innovative Sorting: An Essential For Economic Improvements In Waste Handling, [www.waste-management-world.com/articles/print/volume-10/issue-4](http://www.waste-management-world.com/articles/print/volume-10/issue-4)
- Komilis, D., Ham, R. (2004) Life-Cycle Inventory of Municipal Solid Waste and Yard Waste Windrow Composting in the United States, *Journal of Environmental Engineering*, 130(11): 1390-1400.
- Koneczny, K., Dragusanu, V., Bersani, R., Pennington, W.D. (2007). Environmental Assessment of municipal Waste Management Scenarios, Part I, Data collection and preliminary assessments for life cycle thinking pilot studies, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg.
- Kosmicki, B. (1997) Transfer station process model, Available from: [https://mswdst.rti.org/docs/Transfer\\_Station\\_Model\\_OCR.pdf](https://mswdst.rti.org/docs/Transfer_Station_Model_OCR.pdf)
- Kulczycka, J., Lelek, L., Lewandowska, A., Zarebska, J. (2015) Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Management – Comparison of Results Using Different LCA Models, *Pol. J. Environ. Stud.*, 24 (1): 125-140.

- Lam, Ch., H., K., Barford, J., P., McKay, G (2010) Utilization of Incineration Waste Ash Residues in Portland Cement Clinker, *Chemical Engineering Transactions* 21, 757-762.
- Larsen, A.W., Vrgoc, M., Christensen, T.H., Lieberknecht, P. (2009) Diesel consumption in waste collection and transport and its environmental significance. *Waste Management and Research*, 27(7): 652-659.
- Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., Hauschild, M., Z., Christensen, T. H. (2014a) Review of LCA studies of solid waste management systems—Part I: Lessons learned and perspectives. *Waste management*, 34(3): 573-588.
- Laurent, A., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T. H., Hauschild, M., Z. (2014b) Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II Methodological guidance for a better practice. *Waste management*, 34(3): 589-606.
- Liamsanguan, Ch., Gheewala, H. S. (2008) LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems. *Journal of Environmental Management*, 87: 132-138.
- Lombardi L., Carnevale E. (2005) LCA approach for comparing different possibilities of energy production from waste: landfill gas recovery and waste-to-energy”, *Proceedings of LCM2005 International Conference, Barcelona, September 5-7*, 2: 202-207.
- Mahmoudkhani, R., Valizadeh B., Khastoo, H. (2014) Greenhouse Gases Life Cycle Assessment (GHGLCA) as a decision support tool for municipal solid waste management in Iran, *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12(71):1-7.
- Manfredi, S., Goralczyk, M. (2013) Life cycle indicators for monitoring the environmental performance of European waste management, *Resources, Conservation and Recycling*, 81: 8-16.
- Manfredi, S., Tonini, D., Christenson, T., H. (2009) Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions, *Waste Management & Research*, 27: 825-836.

- McDougall, F.R., White, P.R., Franke, M., Hindle, P. (2008) Integrated solid waste management: a life cycle inventory, second edition, Blackwell Publishing, Oxford, United Kingdom.
- Merrild, H. (2009) Indicators for waste management: How representative is global warming as an indicator for environmental performance of waste management, PhD Thesis, DTU Environment Department of Environmental Engineering Technical University of Denmark.
- Mihajlović, V. (2015) Model upravljanja otpadom zasnovan na principima smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ekonomske održivosti, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Millar, N., Doll, J. E., Robertson, G. P. (2014) Management of nitrogen fertilizer to reduce nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions from field crops, Climate Change and Agriculture Fact Sheet Series-MSU Extension Bulletin E3152.
- Mohareb, A. K., Warith M. A., Diaz R. (2008) Modelling greenhouse gas emissions for municipal solid waste management strategies in Ottawa, Ontario, Canada, Resources, Conservation & Recycling, 52(11): 1241-1251.
- Moller, K. (2016) Compost and Digestates from Urban Organic Waste, University of Hohenheim, <https://improve-p.uni-hohenheim.de>
- Muys, B. and Quijano, J., G. (2002) A new method for Land Use Impact Assessment in LCA based on the ecosystem exergy concept, internal report, <http://www.biw.kuleuven.be>
- Nguyen, T.T.T., Wilson, B.G. (2010) Fuel consumption estimation for kerbside municipal solid waste (MSW) collection activities. Waste Management & Research, 28(4): 289-297.
- NPAA (2014). *National Programme for the Adoption of the eu Acquis*, European Integration Office, July 2014.
- NSW (2006) Recycled Organics Unit, The University of New South Wales, Life Cycle Inventory and Life Cycle Assessment for Windrow Composting Systems, Department of Environment and Conservation NSW, Sydney. <http://www.epa.nsw.gov.au/>
- Oliveira, M. C., and Magrini, A. (2017) Life Cycle Assessment of Lubricant Oil Plastic Containers in Brazil, Sustainability 9, 576-592.

- Pagans, E., Barrena, R., Font, X., Sanchez, A. (2006) Ammonia emissions from the composting of different organic waste. Dependency on process temperature, *Chemosphere* 62(9):1534-1543.
- Panagos, P., Liedekerke, M., V., Yigini, Y., Montanarella, L. (2013) *Journal of Environmental and Public Health*, Article ID 158764, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/158764>.
- Popis stanovništva (2011) Popis stanovništva, domaćinstava i stanova u Republici Srbiji 2011. Prvi rezultati, Republički zavod za statistiku, Beograd.
- Pressley, P.N., Levis, J.W., Damgaard, A., Barlaz, M.A., DeCarolis, J.F. (2015) Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment, *Waste Management* 35: 307-317.
- Prokić, D. (2012) Razvoj metodologije za sanaciju zagađenih područja, Doktorska disertacija, Univerzitet Educons, Fakultet zaštite životne sredine, Sremska Kamenica.
- Prokić, D. (2015) Analiza kapaciteta za upravljanje otpadom u Gradu Somboru: Tehnički izveštaj za otpad, Gradska uprava Grada Sombora.
- Rapaić, S. (2009) Tržište energenata u Evropskoj uniji i interesi Srbije, *MP* 4, Bibliid 0025-8555, 61(2009), Vol. LXI, br. 4, str. 515-535. <http://www.doiserbia.nb.rs/>
- Renkow, M., Rubin, A.R. (1998) Dose municipal solid waste composting make economic sense? *Journal of Environmental Management*, 53(4): 339-347.
- Renoua, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P (2008) Landfill leachate treatment: Review and opportunity, *Journal of Hazardous Materials* 150 (3): 468–493.
- Rotter, V., S., Kost, T., Winkler, J., Bilitewski, B (2004) Material flow analysis of RDF-production processes, *Waste Management* 24: 1005-1021.
- "Sl. glasnik RS", br. 144/2014 Uredba o utvrđivanju plana smanjenja ambalažnog otpada za period od 2015. do 2019. godine.
- "Sl. glasnik RS", br. 29/10 Strategija upravljanja otpadom za period 2010- 2019. godine.
- "Sl. glasnik RS", br. 33/12. Nacionalna strategija održivog korišćenja prirodnih resursa i dobara.
- "Sl. glasnik RS", br. 36/2009, 88/2010 i 14/2016, Zakon o upravljanju otpadom.
- "Sl. glasnik RS", br. 36/2009, Zakon o ambalaži i ambalažnom otpadu.

- "Sl. glasnik RS", br. 80/2011. Nacionalna strategija Republike Srbije za aproksimaciju u oblasti životne sredine.
- "Sl. glasnik RS", br. 88/2010 Uredba o programu sistemskog praćenja kvaliteta zemljišta, sa indikatorima za ocenu rizika od degradacije zemljišta i metodologiji za izradu remedijacionih programa.
- "Sl. glasnik RS", br. 92/2010 Uredba o odlaganju otpada na deponije.
- "Sl. glasnik RS" br. 57/11, 80/11 - ispravka, 93/12 i 124/12"Strategija razvoja energetike Republike Srbije do 2025. godine sa projekcijama do 2030. godine.
- Savić, D. (2008) Doprinos regionalnom planiranju upravljanja čvrstim komunalnim otpadom za region Sombor, Apatin, Kula, Odžaci i Bač, Magistarski rad, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Savić, D., (2009) Evropske ekološke vrednosti za dobrobit građana Srbije, sa posebnim osvrtom na praksu postupanja sa otpadom, Evropski standardi u Srbiji, Zbornik radova, Centar za demokratiju, Beograd.
- SEPA (2015a) Izveštaj o stanju zemljišta u Republici Srbiji za 2013. godinu, Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd.
- SEPA (2015b) Izveštaj o stanju životne sredine u Republici Srbiji za 2014. godinu, Ministarstvo poljoprivrede i zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd.
- SRPS ISO 14040 (2008), Upravljanje zaštitom životne sredine, Ocenjivanje životnog ciklusa Principi i okvir. Institut za standardizaciju Srbije, Beograd, Srbija.
- SRPS ISO 14044 (2008), Upravljanje zaštitom životne sredine, Ocenjivanje životnog ciklusa, Zahtevi i uputstva za primenu. Institut za standardizaciju Srbije, Beograd, Srbija.
- Stanisavljević, N., Brunner, P. H.; Combination of material flow analysis and substance flow analysis: A powerful approach for decision support in waste management. *Waste Management & Research* 32 (8): 733–744.
- Stanisavljević, N., Ubavin, D., Batinić, B., Fellner, J., Vujić, G. (2012) Methane emissions from landfills in Serbia and potential mitigation strategies: a case study, *Waste Management & Research*, 30(10): 1095–1103.

- Stanisavljević, N. (2012) Modelovanje sistema za upravljanje otpadom primenom analize tokova materijala, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Stevanovic Carapina, H., Stepanov, J., Savic, D. Mihajlov, A. (2011). Emisija toksičnih komponenti kao faktor izbora najbolje opcije za upravljanje otpadom primenom koncepta ocenjivanje životnog ciklusa, Hemijska industrija, Vol.65 (2), str. 205-209.
- Stevanovic Carapina, H. (2013) *MFA and LCA as tools in waste management*, Proceedings International Conference 2013 Sustainable landfills and waste management, Novi Sad Serbia, 3-13.
- Stevanović Čarapina, H. (2011) Zagađenje vazduha i urbano stanovništvo – metodološki pristup uspostavljanju uzročno-posledičnih veza, Doktorska disertacija, Univerzitet Educons, Fakultet zaštite životne sredine, Sremska Kamenica.
- Stypka, T. and Flaga, A. (2005) Application of the integrated waste management model (iwm-1) into the decision process [Electronic version], Institute of Heat Engineering and Air Protection, Cracow University of Technology.
- Svoboda, K., Baxter, D., Martinec, J (2006) Nitrous Oxide Emissions from Waste Incineration, Chem. Pap., 60(1) 78-90.
- Villeneuve, J., P. Michel, D. Fournet, C. Lafon, Y. Menard, P. Wavrer and D.Guyonnet, (2009). Process-based analysis of waste management systems: A case study. Waste Management, 29(1): 2-11.
- Vještica, S. (2014) Model upravljanja uticajima procesa proizvodnje podnih obloga na životnu sredinu primenom metode ocenjivanja životnog ciklusa (LCA), Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Vujić G, Ubavin D, Stanisavljević N, Batinić B. (2012) Upravljanje otpadom u zemljama u razvoju, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- White, P.R., Franke, M., Hindle, P. (1999) Integrated solid waste management: a life cycle inventory, Aspen Publishers, Gaithersburg.
- Winkler, J. and Bilitewski, B. (2007) Comparative evaluation of life cycle assessment models for solid waste management. Waste Management 27 (8): 1021-1031.

- Wittmaier, M., Langer, S., Sawilla, B. (2009) Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in development of waste utilization system – Applied examples for a region in Northern Germany. *Waste Management* 29: 1732-1738.
- Worldwatch (2012) Worldwatch Institute, *Global Municipal Solid Waste Continues to Grow*, Washington, DC.
- Thorneloe, S.,A., Weitz, K., Jambeck, J.(2007) Application of the US decision support tool for materials and waste management. *Waste Management* 27, 1006-1020.
- Toffoletto, L., Redon, E., Aoustin, E. (2007), LCA as a Decision Making Tool in household waste management: an Industrial Perspective, <http://www.lcm2007.org/paper/142.pdf>
- USEPA (2006), United States Environmental Protection Agency, *Solid waste management and greenhouse gases - A life-cycle assessment of emission and sinks*, 3rd Edition, Washington (USA).
- 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.
- Zhang, X., i Huang, G (2014), Municipal solid waste management planning considering greenhouse gas emission trading under fuzzy environment, *Journal of Environmental Management* 135: 11-18.