

UNIVERZITET EDUCONS
Fakultet zaštite životne sredine
Sremska Kamenica

MODELOVANJE I OPTIMIZACIJA
UPRAVLJANJA KOMUNALNIM OTPADOM
PRIMJENOM ANALIZE TOKOVA
MATERIJALA I OCJENOM ŽIVOTNOG
CIKLUSA
Doktorska disertacija

Mentor:
Prof. dr Hristina Stevanović Čarapina

Kandidat:
Dragana Nešković Markić

Sremska Kamenica, 2016.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl, mag, dr): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Dragana Nešković Markić
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	Doc. dr Hristina Stevanović Čarapina
Naslov rada: NR	Modelovanje i optimizacija upravljanja komunalnim otpadom primjenom analize tokova materijala i ocjenom životnog ciklusa
Jezik publikacije: JP	srpski
Jezik izvoda/apstrakta: JI	srpski /engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	Autonomna Pokrajina Vojvodina
Godina: GO	2016
Izdavač: IZ	autorski reprint
Mesto i adresa: MA	Vojvode Putnika 85,21208 Sremska Kamenica
Fizički opis rada: FO	(broj poglavlja, stranica, slika, grafikona, referenci, priloga) 9/164/7/94/207/0
Naučna oblast: NO	
Naučna disciplina: ND	
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Upravljanje otpadom, ocjena životnog ciklusa, analiza tokova materijala, analiza tokova supstanci, uticaj na životnu sredinu, uticaj na ljudsko zdravlje
UDK	

Modelovanje i optimizacija upravljanja komunalnim otpadom primjenom analize tokova materijala i ocjenom životnog ciklusa

Čuva se u: ČU	Biblioteka Fakulteta zaštite životne sredine, Univerzitet Educons
Važna napomena: VN	
Izvod/Apstrakt IZ	Osnovni ciljevi upravljanja otpadom su očuvanje životne sredine, zdravlja ljudi i prirodnih resursa. U okviru disertacije, korišćenjem analize materijalnih tokova, analize tokova supstanci i ocjenom životnog ciklusa, analiziran je uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi modelovanih scenarija upravljanja komunalnim otpadom u banjalučkoj regiji. Modelovani scenariji upravljanja komunalnim otpadom su razvijeni u skladu sa zakonodavstvom Evropske unije i Republike Srpske kao i strateškim dokumentima koji tretiraju oblast upravljanja komunalnim otpadom. Kombinacija analize materijalnih tokova odnosno analiza tokova supstanci sa ocjenom životnog ciklusa se može koristiti kao efikasan alat za donošenje odluka za razvoj i unapređenje upravljanja otpadom. Na osnovu dobijenih rezultata neophodno sprovesti poboljšanja u upravljanju otpadom u banjalučkoj regiji kao što je: sanacija postojeće deponije, uvođenje razdvajanje otpada na mjestu nastanka, reciklaža izdvojenih korisnih komponenti otpada, prerada organskog otpada u kompost, te iskorišćavanje otpada za dobijanje energije.
Datum prihvatanja od strane NN veća: DP	
Datum odbrane: DO	
Članovi komisije (ime i prezime, titula, zvanje, naziv institucije, status): KO	Predsednik: dr Mira Pucarević, redovni profesor Član: dr Nataša Žugić Drakulić, vanredni profesor Član: dr Dunja Prokić, docent Član: dr Predrag Ilić, vanredni profesor Član (mentor): dr Hristina Stevanović Čarapina, docent

KEY DOCUMENT INFORMATION

Number *consecutive: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code (BA/BSc, MA/MSc, PhD): CC	PhD Thesis
Author: AU	Dragana Neskovic Markic
Mentor (title, name, post): MN	Hristina Stevanovic Carapina, PhD
Document title: TI	Modeling and optimization of municipal solid waste management by using material flow analysis and life cycle assessment
Language of main text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	English/Serbian
Country of publication: CP	Serbia
Locality of publication: LP	Vojvodina
Year of publication: PY	2016
Publisher: PU	Author
Place of publication: PP	Sremska Kamenica
Physical description: PD	(Chapters, pages, pictures, graphs, references, appendixes), 9/164/7/94/207/0
Scientific field: SF	
Scientific discipline: SD	
Subject, Key words SKW	Solid waste management, life cycle assessment, material/substance flow analysis, impact on environmental, impact on human health
UC (universal class. code)	
Holding data: HD	Library of the University Educons – Sremska Kamenica

Note: N	
Abstract: AB	The main objectives of waste management are environmental preservation, the safeguarding of human health and natural resources conservation. This thesis incorporates a number of analyses: an analysis of material flows, a substance flows analysis and life cycle assessment, as well as an analysis of the environmental and human health impact of waste management: this analysis used a number of Banja Luka region-specific modelled scenarios of municipal waste management. These modelled scenarios were developed in accordance with both European Union and Republic of Srpska legislation, as well as relevant municipal waste management strategic documents. The combination of material and substance flows analyses and life cycle assessment is an effective tool in the decision making process for the development and improvement of waste management. Based on the results of the analyses, it is considered that improvements need to be made in terms of waste management in the Banja Luka region, such as: the rehabilitation of existing landfill, the implementation of waste separation at its source, the recycling of isolated valuable components, the processing of organic waste into compost and the utilisation of waste to generate energy.
Accepted by Sc. Board on: AS	
Defended/Viva voce Ph D exam. on: DE	
PhD Examination Panel: DB	Chairperson: dr Mira Pucarevic, professor Member: dr Natasa Zugic Drakulic, professor Member: dr Dunja Prokic, professor Member: dr Predrag Ilic, professor Member (Mentor): dr Hristina Stevanovic Carapina, professor

APSTRAKT

Osnovni zahtjevi integralnog upravljanja komunalnim otpadom su očuvanje zdravlja ljudi i zdrave životne sredine, kao i očuvanje prirodnih resursa. Komunalni otpad svakako iz razloga konstantnog porasta njegovih količina ali i promjenljivog sastava i karakteristika, zahtijeva posebna rješenja u okviru savremenih tokova upravljanja otpadom.

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je uspostavljanje metodologije za modelovanje održivog upravljanja komunalnim otpadom u određenom regionu, uz verifikaciju rezultata na primjeru banjalučke regije (RS/BiH). Istraživanje je bazirano na utvrđivanju karakteristika trenutnog stanja i poređenje sa različitim modelima sistema za upravljanje otpadom kroz inovativnu primjenu kombinacije analitičkih alata MFA/SFA (analize tokova materijala *eng. Material Flow Analysis*/analize tokova supstanci *eng. Substance Flow Analysis*) i LCA (ocjena životnog ciklusa *eng. Life Cycle Assessment*). Modelovanje upravljanja otpadom svakako podrazumijeva implementaciju tehničkih zahtjeva koji su postavljeni kroz domaće zakonodavstvo i zakonodavstva Evropske unije, kao i postavljenim prioritetima kroz strateška dokumenata koja uređuju upravljanje otpadom. Razvijeni modeli upravljanja otpadom se zasnivaju na primjeni hijerarhije upravljanja otpadom u kombinaciji sa sagledavanjem cjelokupnog životnog ciklusa otpada.

Primjenom MFA/SFA, odnosno analizom tokova otpada i analizom tokova supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb), ostvaren je potpuni uvid o tokovima, transformacijama i finalnim dispozicijama otpada i supstanci u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom. Komparacijom LCA rezultata za modelovane scenarije analizirala se procjena uticaja na životnu sredinu razvijenih modela upravljanja otpadom, i predviđanje opterećenja u životnu sredinu i uticaj na zdravlje ljudi.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da se upravljanje otpadom u budućnosti mora poboljšati kroz uvođenje sagledavanja cjelokupnog životnog ciklusa otpada uz upotrebu različitih analitičkih alata, a sve u cilju smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ljudsko zdravlje.

ABSTRACT

The basic requirements of integrated municipal waste management include the safeguarding of human health and a healthy environment, as well as natural resources conservation. Municipal waste requires distinct solutions to the modern waste management trends of waste whose quantity is constantly increasing as well as varying in terms of its composition and properties.

The research topic aims to establish a methodology for the modelling of sustainable municipal waste management in a given region; verification of the methodology is to occur via the Banja Luka region (RS/BiH) results. The research is based on a determination of the characteristics of the current situation and a comparison with different models of waste management systems through the innovative use of a combination of analytical tools MFA/SFA (Material Flow Analysis/ Substance Flow Analysis) and LCA (Life Cycle Assessment).

Waste management modelling implies the implementation of technical requirements that have been set by both domestic and European Union legislation, as well as priorities identified in strategic documents that regulate waste management. The developed waste management system models are based on the waste management hierarchy and a review of the entire waste cycle.

The application of the MFA/SFA tool, that is a waste analysis and an analysis of substances (C, N, Cd, Hg, Pb), has resulted in a complete overview of the trends, transformations and final dispositions of waste and substances in analysed waste management scenarios. A comparison of the LCA results for modelled scenarios, the environmental impact assessment of the developed waste management model and the anticipated load and impact on the environment and human health has been conducted. Based on these results, it can be concluded that waste management must be improved through a considered introduction of the entire waste life cycle using a variety of analytical tools, with the aim of reducing the negative impact on the environment and human health.

ZAHVALNOST

*Veliku zahvalnost dugujem svojoj mentorici profesorici
dr Hristini Stevanović Čarapini na svim sugestijama,
savjetima, podršci i pomoći tokom izrade ove disertacije.*

*Veliko hvala profesorici dr Nataši Žugić Drakulić na
svim sugestijama tokom izrade ove disertacije.*

*Mr Draženku Bjelicu se zahvaljujem na izuzetnoj
saradnji i pomoći u dijelu koji se odnosi na modelovanje
u EASETECH softveru.*

SADRŽAJ

APSTRAKT	5
LISTA SKRAĆENICA	11
1. UVOD	13
2. CILJ ISTRAŽIVANJA	15
3. PREGLED LITERATURE	18
3.1. Upravljanje otpadom.....	18
3.2. Upravljanje komunalnim otpadom	19
3.2.1. Deponija	20
3.2.2. Kompostiranje	21
3.2.3. Postrojenje za separaciju i reciklaža otpada	22
3.2.4. Spalionica	23
3.3. Održivo upravljanje otpadom	25
3.3.1. Karakteristike otpada.....	25
3.3.1.1. Ugljenik (C).....	26
3.3.1.2. Azot (N).....	26
3.3.1.3. Kadmijum (Cd)	27
3.3.1.4. Živa (Hg).....	27
3.3.1.5. Olovo (Pb).....	28
3.3.2. Krajnja odredišta supstanci.....	28
3.4. Metode za modelovanje upravljanja otpadom	30
3.5. Zakonska regulativa iz oblasti upravljanja otpadom	33
4. RADNA HIPOTEZA	35
5. MATERIJALI I METODE	36
5.1. Metode	36
5.1.1. MFA/SFA	36
5.1.1.1. Metodologija MFA/SFA	37
5.1.1.2. Primjena MFA/SFA	39
5.1.2. LCA	40
5.1.2.1. Metodologija LCA	41
5.1.2.2. Primjena LCA	43
5.1.3. Kombinacija MFA/SFA i LCA	44

5.1.3.1.	Primjena MFA/SFA I LCA	44
5.2.	Materijali.....	45
5.2.1.	Karakteristike banjalučke regije	45
5.2.2.	Upravljanje komunalnim otpadom u banjalučkoj regiji	46
5.3.	Definisanje i razvoj modela i scenarija upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji.....	49
5.3.1.	Razvoj i definisanje modela upravljanja komunalnim otpadom primjenom MFA/SFA i LCA.....	49
5.3.1.1.	Definisanje granica sistema (prostorna i vremenska)	50
5.3.1.2.	Definisanje funkcionalne jedinice.....	50
5.3.1.3.	Definisanje procesa tretmana otpada.....	50
5.3.1.4.	Definisanje materijala i supstanci	55
5.3.1.5.	Izbor kategorija uticaja.....	56
5.3.2.	Modelovanje scenarija za upravljanje otpadom u banjalučkoj regiji	58
5.3.2.1.	Scenario A - Status Quo	59
5.3.2.2.	Scenario B	60
5.3.2.3.	Scenario C	62
5.3.2.4.	Scenario D	62
6.	REZULTATI ISTRAŽIVANJA	64
6.1.	Rezultati MFA/SFA	64
6.1.1.	Scenario A - Status Quo	64
6.1.2.	Scenario B	68
6.1.2.1.	Scenario B1	68
6.1.2.2.	Scenario B2	73
6.1.2.3.	Scenario B3	78
6.1.3.	Scenario C	84
6.1.4.	Scenario D	88
6.1.4.1.	Scenario D1	88
6.1.4.2.	Scenario D2	93
6.1.4.3.	Scenario D3	97
6.2.	Rezultati LCA	102
6.2.1.	LCIA za standardne kategorije uticaja	103
6.2.2.	LCIA za kategorije uticaja na ljudsko zdravlje	104

7. DISKUSIJA.....	105
7.1. Analiza toka otpada	105
7.2. Analiza toka ugljenika	106
7.3. Analiza toka azota.....	108
7.4. Analiza toka kadmijuma	110
7.5. Analiza toka žive	112
7.6. Analiza toka olova	114
7.7. Kategorije uticaja na životnu sredinu	116
7.7.1. Globalno zagrijavanje (GW)	116
7.7.2. Acidifikacija (AC)	118
7.7.3. Ekotoksičnost u vodi (hronična) (ETwc).....	120
7.7.4. Eutrofikacija (AE)	122
7.7.5. Formiranje fotohemijskog ozona (POF).....	123
7.7.6. Ekotoksičnost (ECT)	125
7.7.7. Obogaćivanje hranljivim materijama (NE)	126
7.8. Kategorije uticaja na ljudsko zdravlje	128
7.8.1. Toksičnost na čovjeka putem vazduha (HTa)	128
7.8.2. Toksičnost na čovjeka putem zemljišta (HTs)	129
7.8.3. Toksičnost na čovjeka putem vode (HTw).....	131
7.8.4. Toksičnost na čovjeka – karcinogena (HuT-C).....	132
7.8.5. Toksičnost na čovjeka – nekarcinogena (HuT NC).....	133
8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA.....	135
9. LITERATURA.....	139
LISTA TABELA	159
LISTA GRAFIKA	160
LISTA SLIKA	164

LISTA SKRAĆENICA

- AC (*eng. Acidification*) – acidifikacija
- AE (*eng. Aquatic Eutrophication*) – eutrofikacija
- CBA (*eng. Cost Benefit Analysis*) – analiza troškova i koristi
- CTUe (*eng. Comparative Toxic Unit for ecosystem*) – jedinica za kategoriju ET
- CTUh (*eng. Comparative Toxic Unit for human*) – jedinica za kategoriju uticaja HuT-C, HuT NC
- EASETECH (skraćenica od Environmental Assessment System for Environmental TECHNOlogies) – softver za izradu ocjene životnog ciklusa
- ECT (*eng. Ecotoxicity*) – ekotoksičnost
- EU – Evropska unija
- ETwc (*eng. Ecotoxicity Water, chronic*) – ekotoksičnost u vodi (hronična)
- GW (*eng. Global Warming*) – globalno zagrijavanje
- HuT-C (*eng. Human Toxicity, cancer effect*) – toksičnost na čovjeka-karcinogena
- HuT NC (*eng. Human Toxicity, no cancer effect*) – toksičnost na čovjeka-nekarcinogena
- HTa (*eng. Human Toxicity via air*) – toksičnost na čovjeka putem vazduha
- HTs (*eng. Human Toxicity via soil*) – toksičnost na čovjeka putem zemljišta
- HTw (*eng. Human Toxicity via water*) – toksičnost na čovjeka putem vode
- IPCC (*eng. Intergovernmental Panel on Climate Change*) – Međuvladin panel za klimatske promjene
- ISO (*eng. International Organization for Standardization*) – Internacionalna organizacija za standardizaciju
- LCA (*eng. Life Cycle assessment*) – ocjena životnog ciklusa
- LCI (*eng. Life Cycle Inventory*) – analiza inventara životnog ciklusa
- LCIA (*eng. Life Cycle Impact Assessment*) – ocjena uticaja životnog ciklusa na životnu sredinu
- MFA (*eng. Material Flow Analysis*) – analiza materijalnih tokova
- MRF (*eng. Material Recovery Facility*) – sortiranje materijala sa obnovljivim karakteristikama
- NE (*eng. Nutrient Enrichment*) – obogaćivanje hranljivim materijama
- NMVOC (*eng. Non-methane Volatile Organic Compounds*) – nemetanska isparljiva organska jedinjenja

ÖNORM (*njem. Österreichisches Normungsinstitut*) – austrijski institut za standarde

PAHs – policiklični aromatski ugljovodonici

PCBs – polihlorovani bifenili

PCDD/F – polihlorovani dibenzo-p-dioksini i dibenzo furani

PET – polietilentereftalat

PM10 (*eng. Particulate Matter*) – čestice prečnika 10 µm

POF (*eng. Photo-chemical Ozone Formation*) – formiranje fotohemijskog ozona

POP (*eng. Persistent Organic Pollutants*) – stabilni organski polutanti

PVC – polivinil hlorid

RS – Republika Srpska

SFA (*eng. Substance Flow Analysis*) – analiza tokova supstanci

STAN (skraćena od subSTance flow Analysis) – softver za analizu tokova materijala/supstanci

WtE (*eng. Waste to Energy*) – iskorišćavanje otpada za dobijanje energije

VOC (*eng. Volatile Organic Compounds*) – isparljiva organska jedinjenja

1. UVOD

Otpad je proizvod svakodnevnih ljudskih aktivnosti, a suočeni smo sa velikim količinama otpada svakodnevno. U Svijetu se godišnje generiše oko 17 milijardi tona komunalnog otpada, a pretpostavke su da će do 2050. godine iznositi oko 27 milijardi tona (Laurent i dr., 2014a). Najzastupljeniju opciju tretmana komunalnog otpada, na globalnom nivou i dalje predstavlja deponovanje (Hoornweg i Bhada-Tata, 2012), iako se prema strateškim dokumentima, kao što je okvirna direktiva EU o otpadu (Directive 2008/98/EC), ova opcija tretmana otpada smatra najmanje poželjnom.

Neadekvatnim načinom tretmana otpada posljedice su višestruke: zagađenje životne sredine i ugrožavanje zdravlja ljudi, gubitak korisnih komponenti iz otpada, odnosno eksploatacija i potrošnja prirodnih resursa. U 21. vijeku održivo upravljanje komunalnim otpadom će postati neophodno u svim fazama, počevši od planiranja do izgradnje, rukovanja, reciklaže i krajnjeg razlaganja. Spektar novih i postojećih tehnologija za tretman otpada i strategije upravljanja otpadom zahtijevaju održavanje kvaliteta životne sredine u ovom trenutku, ali i ispunjavanja održivosti u budućnosti.

Količina komunalnog otpada u Bosni i Hercegovini (BiH) u 2013. godini je iznosila oko 737 000 t, a svega 8 600 t (1.16%) ambalažnog otpada je reciklirano (Federalni zavod za statistiku, 2014; Republički zavod za statistiku Republike Srpske, 2014). Odlaganje otpada na deponije još uvijek je jedini način tretmana komunalnog otpada u BiH, i prema godišnjim izvještajima za 2014. godinu Federalnog zavoda za statistiku i Republičkog zavod za statistiku Republike Srpske, na prostoru BiH ima 90 deponija. Od toga samo 5 deponija su sanitarne a preostalih 85 deponija su divlje neuređene deponije. Kao razlog za takvu lošu situaciju u sektoru upravljanja komunalnim otpadom je nepostojanje strateških investicionih planova u ovaj sektor, ograničenost instrumenata za promociju reciklaže i prevencije stvaranja otpada, te nedostatak kapaciteta u sektoru upravljanja opasnim i industrijskim otpadom (European Commission, 2014). Osim toga, rat i teška ekonomska situacija imali su za posljedicu ozbiljno pogoršanje stanja u oblasti upravljanja otpadom, što je rezultiralo postepenim narastanjem negativnih efekata po javno zdravlje. Ovi učinci su se akumulirali preko direktne izloženosti radnika koji rukuju otpadom, naselja u blizini deponija, neadekvatno odloženog otpada

koji je izvor zaraznih bolesti, kontaminaciju voda (bilo da se one koriste za navodnjavanje ili napajanje stoke) (Topić i dr., 2013).

Odlaganje otpada na deponije u Evropi je još prisutno u zemljama u razvoju (među kojima su i neke članice EU) kao što su Rumunija, Kipar, Grčka, Malta i Turska (Ozbay, 2015). U razvijenim evropskim zemljama kao što su Njemačka, Austrija, Belgija, Danska, Holandija i Švedska samo se oko 1-3% komunalnog otpada odlaže na deponije, a vodeće tehnologije obrade ovog otpada su spaljivanje, kompostiranje i reciklaža. U Švedskoj i Danskoj se 52% komunalnog otpada tretira u spalionicama a u Njemačkoj se 46% otpada reciklira (Eurostat, 2015).

Integralno upravljanje otpadom treba da ispuni određene prioritete u skladu sa hijerarhijom otpada kao što su zahtjev za reciklažom otpada, da se poveća korišćenje obnovljive energije, da se traže više društveno prihvatljive opcije, i da se očuva biodiverzitet i prirodni ekosistemi istovremeno. Postići takve ciljeve moguće je samo ako se svi tehnički i netehnički aspekti sistema upravljanja čvrstim otpadom analiziraju kao cjelina, jer su međusobno povezani, i razvoj u jednoj oblasti često utiče na praksu ili aktivnosti u drugoj oblasti (Pires i dr., 2011).

Različiti analitički alati i metode se koriste kao pomoć prilikom donošenja odluka u sistemima upravljanja otpadom. Analitičke metode koje se koriste u sistemu upravljanja otpadom se mogu klasifikovati u dvije grupe: inženjerski modeli i modeli procjene sistema. Kadafa i dr. (2014) i Pires i dr. (2011) su u svom istraživanju dali pregled modela u upravljanju otpadom. U inženjerske modele spadaju analize troškova i koristi (CBA), modeli predviđanja (FM), optimizacioni modeli (OM), itd. U modele procjene sistema su između ostalog svrstane analiza tokova materijala/analiza tokova supstanci (MFA/SFA) i ocjena životnog ciklusa (LCA), koje će biti korišćene u ovom radu.

Imajući u vidu različite opcije tretmana otpada, pred donosioce odluka postavlja se pitanje izbora prave alternative za upravljanje otpadom, koja će biti optimalna i održiva za primjenu na određenom lokalitetu i u određenom društvu. Odgovore na ova pitanja treba, uz ekonomske i tehničke parametre, potražiti uz razmatranje emisija zagađujućih materija koje određene tehnologije proizvode, kao i smanjenje potrošnje prirodnih resursa.

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je uspostavljanje inovativnog metodološkog pristupa za održivo upravljanje komunalnim otpadom u određenom regionu, uz verifikaciju rezultata na primjeru banjalučke regije (RS/BiH). Istraživanje je bazirano na utvrđivanju karakteristika trenutnog stanja i poređenje sa različitim modelima tehnoloških sistema za upravljanje otpadom kroz primjenu metoda:

- analize materijalnih tokova (*eng. material flow analysis* – MFA)/analize tokova supstanci (*eng. substance flow analysis* – SFA) i
- ocjene životnog ciklusa (*eng. life cycle assessment* – LCA) sa aspekta zaštite ljudskog zdravlja i životne sredine.

U radu će biti primjenjeni softver STAN (skraćénica od subSTance flow Analysis) koji je razvijen na Bečkom Univerzitetu za tehnologiju za potrebe modelovanja MFA/SFA. Softver EASETECH (skraćénica od Environmental Assessment System for Environmental TECHnologies) koji je razvijen na Tehničkom Univerzitetu u Danskoj će se koristiti u drugoj fazi, odnosno za izradu LCA.

Modelovanje naprednih tehnologija upravljanja otpadom podrazumijeva implementaciju tehničkih zahtjeva koji su postavljeni kroz domaće zakonodavstvo i zakonodavstvo Evropske unije, kao i postavljenim prioritetima kroz strateška dokumenta koja uređuju upravljanje otpadom.

MFA/SFA metoda uzima u obzir sagledavanje „metabolizma“ sistema upravljanja otpadom, odnosno praćenje tokova materijala (otpada) i supstanci unutar modela za upravljanje otpadom, odnosno sagledava sve ulaze i izlaze u sistem, te njihovu evaluaciju i komparaciju. MFA je metod koji se koristi i pogodan je za osnivanje inventara za LCA (Stevanović-Čarapina i dr., 2014). LCA se koristi u svrhu upoređivanja uticaja na životnu sredinu raznih opcija tretmana otpada i pomoću nje se mogu identifikovati najvažnije oblasti u sistemu u kojima je moguće sprovesti poboljšanje (Stevanović-Čarapina i dr., 2013b). Odabrane kategorije uticaja koje će se koristiti u izradi LCA su definisane kroz IPCC (*eng. Intergovernmental Panel on Climate Change* - Međuvladin panel za klimatske promjene), EDIP (*eng. Environmental Design of Industrial Products*), ReCiPe (skraćénica od inicijala instituta koji su razvili

ovaj model: RIVM and Radboud University, CML i PRé Consultants) i USEtox (model razvijen od strane United Nations Environment Programme (UNEP)/Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)), svrstane su u dvije kategorije: na životnu sredinu i na čovjeka. Za potrebe ovog istraživanja kroz evaluaciju i poređenje različitih scenarija upravljanja otpadom, razmatrat će se uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi sljedećih kategorija uticaja: globalno zagrijavanje, ekotoksičnost, formiranje fotohemijskog ozona, eutrofikacija, ekotoksičnost u vodi (hronična), acidifikacija, obogaćivanje hranjivim materijama, toksičnost na čovjeka putem vode, toksičnost na čovjeka putem vazduha, toksičnost na čovjeka putem zemljišta, toksičnost na čovjeka-karcinogena i toksičnost na čovjeka-nekarcinogena.

Cilj ovog rada je razvoj modela upravljanja komunalnim otpadom, kao pomoć i podrška prilikom donošenja odluka za razvoj i unapređenje postojećeg sistema upravljanja otpadom kroz:

- analizu tokova materijala (otpada) i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u predloženim modelima (tehnologijama) upravljanja komunalnim otpadom. Ugljenik može biti i indikator potencijala resursa (energije, biomase) ili negativnog uticaja na životnu sredinu (efekat staklene bašte, stabilna i toksična organska jedinjenja) (Mastellone i dr., 2009). Kao i ugljenik i azot predstavlja važan element za biosferu, ali može izazvati negativne uticaje u životnoj sredini kao što je eutrofikacija, acidifikacija, globalno zagrijavanje i formiranje fotohemijskog ozona. Kadmijum, olovo i živa su indikatori toksičnih metala, jer ne predstavljaju važne elemente za biosferu i ljude.
- procjenu uticaja na životnu sredinu razvijenih modela upravljanja otpadom, i predviđanje opterećenja u životnu sredinu i uticaj na zdravlje ljudi,
- evaluacija i komparacija predloženih modela tretmana komunalnog otpada i izbor optimalnog modela,
- modelovanje upravljanja otpadom na održiv način, te izbor odgovarajuće tehnologije tretmana komunalnog otpada u banjalučkoj regiji, sa ciljem rješavanja trenutnog neadekvatnog načina upravljanja otpadom,
- analizom tokova supstanci možemo odgovoriti na definisane ciljeve upravljanja otpadom, te ponašanje tih supstanci prilikom tretmana i odlaganja otpada. Poznavanje tokova supstanci u sistemu upravljanja otpadom je važno jer se može

identifikovati da li određena supstanca predstavlja opasnost, odnosno zagađenje u životnu sredinu ili ukoliko je sadržana u određenim materijalima, predstavlja resurs.

3. PREGLED LITERATURE

3.1. Upravljanje otpadom

Rast globalne ekonomije i broja stanovnika na Zemlji uslovalo je potrošnju abiotičkih i biotičkih resursa, odnosno pritisak na raspoloživost resursa. Povećanje količine materijala u ljudskoj upotrebi za dva reda veličine, za posljedicu je imalo povećanje opasnih supstanci za pet redova veličine u izlaznim tokovima i zalihama. Ove izlazne supstance su opteretile životnu sredinu koja je ograničenog kapaciteta, jer su za mnogo elemenata antropogeni tokovi veći od prirodnih. Broj hemijskih elemenata koji se koristio u informatičko-tehnološkim proizvodima se povećao sa 11 u 1980. godini na 15 elementa u 1990. godini, a u 2000. godini korišćeno je 60 elemenata. Broj komponenata koje se koriste u građevinarstvu u malteru posljednjih 50 godina povećao se sa 4 na 13 (Baccini i Brunner, 2012). Svi proizvodi neminovno nakon određenog vremena gube upotrebnu vrijednost i postaju otpad.

Hijerarhija upravljanja otpadom je strategija koja rangira opcije upravljanja u skladu sa svojim ekološkim prednostima, i u skladu je sa okvirnom direktivom o otpadu (Directive 2008/98/EC). Ova strategija propisuje sljedeće operacije za upravljanje otpadom: prevencija, ponovna upotreba, reciklaža, kao i druge operacije iskorišćavanja (npr. iskorišćavanje za dobijanje energije) i kao posljednje sredstvo, bezbjedno i ekološki zdravo odlaganje (slika 3.1).



Slika 3.1. Hijerarhija upravljanja otpadom

Često se hijerarhija upravljanja otpadom sagledava kroz tzv. „3R“ koje obuhvata sljedeće aktivnosti: smanjivanje količine otpada (Reduce), ponovna upotreba, kao što je npr. ponovno punjenje staklenih boca (Reuse) i recikliranje nastalog otpada npr. sakupljanje aluminijumskih limenki za reprocessiranje i ponovnu upotrebu (Recycle).

Upravljanje otpadom treba sagledati u okviru održivog razvoja. Globalne akcije o održivom razvoju pretočene su u Agendu 21 na konferenciji Ujedinjenih nacija 1992. godine u Rio de Ženeiru u Brazilu. Sa ciljem održivog upravljanja otpadom, Agenda 21, poglavlje 21 obrađuje zdravo, po životnu sredinu, upravljanje čvrstim otpadom kroz četiri područja:

- minimiziranje otpada ili smanjivanje količina otpada namjenjenog za finalno odlaganje u dogovorenom vremenskom roku, te podsticanje separacije radi lakše reciklaže i ponovne upotrebe otpada,
- maksimalizacija po životnu sredinu, bezbjedne ponovne upotrebe i reciklaže otpada – jačanje i proširenje nacionalnih sistema za ponovnu upotrebu i reciklažu otpada, kreiranjem modela ponovne upotrebe otpada i programa reciklaže otpada,
- unapređenje po životnu sredinu bezbjednog tretmana i odlaganja otpada – ustanovljenim vremenskim terminima i ciljevima zasnovanim na ekološkom kapacitetu životne sredine, te obezbjeđenje nadzora zagađenja,
- proširivanjem službi za tretman otpada obezbjeđivanjem tehničkih, finansijskih i ljudskih resursa. Unapređenje sistema za sakupljanje otpada, kako u gradskim, tako i u ruralnim područjima.

3.2. Upravljanje komunalnim otpadom

Miješani komunalni otpad je otpad iz domaćinstva, kao i komercijalni otpad koji je po svom sastavu isti ili sličan kao i otpad iz domaćinstva (Directiva 1999/31/EC). Upravljanje otpadom se sastoji iz nekoliko osnovnih procesa: nastajanje, sakupljanje, transport, reciklaža, tretman i finalo odlaganje otpada. Svaki od ovih procesa utiče na životnu sredinu i ljudsko zdravlje. Stoga je neophodno sagledati svaki proces, kroz integralno upravljanje otpadom od njegovog nastanka, minimizacije, preko sakupljanja, transporta, reciklaže, tretmana i odlaganja.

U skladu sa postavljenim ciljem i predmetom, kao i osnovnom hipotezom istraživanja, u nastavku će biti riječi o procesima tretmana otpada koji će biti osnova za modelovanje i razvoj scenarija upravljanja otpadom.

3.2.1. Deponija

Deponovanje komunalnog otpada je najjednostavniji i najjeftiniji način tretmana otpada (Hossain i dr., 2014), a osnovni cilj deponovanja je dugoročno održivo odlaganje otpada sa ciljem zaštite životne sredine i ljudskog zdravlja.

Neuređena deponija je deponija kod koje nema degazacijskih bunara odnosno evakuacije deponijskih gasova i tretmana istih, procjedne deponijske vode se ispuštaju bez prethodnog prečišćavanja, a otpad se odlaže direktno na zemljište bez prvobitne hidroizolacije dna deponije (Abeliotis, 2011). Ovakve deponije su prisutne u zemljama u razvoju i izvor su zagađenja životne sredine putem emisije zagađujućih materija u površinske i podzemne vode, vazduh i zemljište.

Sanitarna deponija je objekat u kojem se čvrsti otpad odlaže na način kojim se ograničava negativan uticaj na životnu sredinu. Ove deponije su složeni građevinski objekti i sadrže kompleksne sisteme povezanih komponenti i podsistema koji djeluju zajedno na način kojim se omogućava razgradnja i stabilizacija deponovanog otpada tokom vremena (Zaman, 2010). Sanitarne deponije su uglavnom pogodne za sve klimatske oblasti, i generatori su visoko toksičnih procjednih voda i značajne količine deponijskog gasa (Xing i dr., 2013). Emisija procjednih deponijskih voda i gasa sa deponije može uzrokovati zagađenje životne sredine.

Procjedne deponijske vode su visoko zagađene otpadne vode koje sadrže rastvorene organske materije, neorganske materije kao što su NH_3 , Ca, Mg, Na, K, SO_4^{2-} , Fe, Cl^- , i teški metali (Cd, Cr, Cu, Pb, Ni) te ksenobiotičke organske materije (Hossain i dr., 2014; Niloufer i dr., 2013). Procjedne vode sadrže toksične i karcinogene materije kao što su PAHs, ftalati, hlorovana alifatična i aromatična jedinjenja, koje mogu biti štetne i za zdravlje ljudi i za životnu sredinu (Alslaibi i dr., 2013). Ako se procjedne vode ispuštaju u površinske vode ili se procjeđuju u zemljište i podzemne vode mogu imati negativan efekat na ljudsko zdravlje i životnu sredinu (Narayana, 2009; Pablos i dr., 2011; Pearce i dr., 2011). Količina procjednih deponijskih voda zavisi od mnogo faktora, a najvažniji su količina padavina, sadržaj vlage u otpadu i isparavanje vode. Johannessen (1999) je napisao smjernice za proračun količine procjednih voda.

Deponijski gas predstavlja smjesu CH_4 (oko 50%), CO_2 (45%), N_2 (5%), O_2 i ostalih jedinjenja (Themelis i Ulloa, 2007), te ga je neophodno planski sakupljati i tretirati da bi se spriječio negativan efekat na životnu sredinu i ljudsko zdravlje. U naučnoj i stručnoj

literaturi postoji veliki broj istraživanja o procesima razgradnje otpada u tijelu deponije (Bozkurt i dr., 2000; Erses i dr., 2008; White i dr., 2004), o sastavu i toksičnosti procjednih voda (Kjeldsen i dr., 2002; Kulikowska i Klimiuk, 2008; Ziyang i dr., 2009) te generisanju, količini i sastavu deponijskog gasa (Amini i dr., 2012; Jha i dr., 2008; Themelis i Ulloa, 2007).

3.2.2. Kompostiranje

U Evropskim zemljama do 2011. godine je izgrađeno oko 2 000 postrojenja za kompostiranje organskog otpada (Boldrin i dr., 2011c). Kompostiranje se definiše kao brzo, djelimično razlaganje vlažne čvrste organske materije prvenstveno otpada iz kuhinje, iz bašte, parkova i otpada sa zelenih površina uz pomoć mikroorganizama (Boldrin i dr., 2011a). Krajnji produkti kompostiranja su CO₂, H₂O, N₂O, minerali i stabilizovana organska materija koja ne utiče štetno na životnu sredinu. S obzirom na zahtjeve direktive o deponijama (Directive 1999/31/EC) i zabranu odlaganja biorazgradljivog otpada na deponije, kompostiranje je dobilo na značaju kao jedna od opcija tretmana ovog otpada. Detaljnije o samom procesu kompostiranja, odnosno o procesima razgradnje organske materije, detaljnije su obradili Goyal i dr. (2005), Pagans i dr. (2006), Stentiford i de Bertoldi (2011).

Kompostiranjem se dobija visoko kvalitetan kompost koji može da se koristi kao dodatak zemljištu, za uzgoj biljaka u rasadnicima ili na napuštenom zemljištu. Kompost obogaćuje zemljište nutrijentima N, P i K (Bruun i dr., 2006) i koristi se kao zamjena za vještačka đubriva u poljoprivredi. Da bi se koristio u poljoprivredi kompost mora da sadrži malu koncentraciju teških metala, a što se postiže odvojenim sakupljanjem organskog otpada od ostalih vrsta otpada u domaćinstvu (Hargreaves i dr., 2008; Veeken i Hamelers, 2002). U Evropi su zemlje kao što su Njemačka, Holandija i Austrija regulisali sadržaj teških metala u kompostu u zavisnosti od primjene (poljoprivreda, remedijacija, organska poljoprivreda), a na nivou EU njihov sadržaj je uređen uredbom (Council Regulation 2092/91/EEC). Naime, teški metali iz komposta mogu migrirati u vode ili se akumulirati u biljkama, dok azotna jedinjenja mogu uzrokovati eutrofikaciju.

Procesom kompostiranja nastaju gasovi i otpadne vode koje mogu prouzrokovati probleme u životnoj sredini. Gasovi koji se oslobađaju procesom kompostiranja su: CH₄ (2-47%), CO₂ (0-50%), N₂O (1-12%) (Boldrin i dr., 2011b) i utiču na efekat staklene

bašte. Anaerobnim procesima razlaganja otpada nastaje CH_4 i N_2O , koji ima 25, odnosno 298 puta veći potencijal globalnog zagrijavanja od CO_2 (Roberts, i dr., 2009). Lou i Nair (2009) su poredili emisiju gasova se efektom staklene bašte sa deponije i prilikom kompostiranja, i došli su do zaključka da je daleko veća emisija ovih gasova sa deponije. Otpadne vode nastaju jer i sam otpad sadrži određeni procenat vode, vode koja nastaje procesima razgradnje organskog otpada, kao i padavine koje se procjeđuju kroz otpad kod otvorenih postrojenja za kompostiranje. Ove otpadne vode su daleko manje opterećene organskim i neorganskim materijama, te teškim metalima poredeći ih sa procjednim vodama sa deponije (Boldrin i dr., 2011b).

3.2.3. Postrojenje za separaciju i reciklaža otpada

U Evropi, rani pokušaji 70-tih godina prošlog vijeka iskorišćavanja korisnih komponenti (reciklabilne materije, alternativna goriva i kompost) iz miješanog komunalnog otpada fizičkom preradom, zasnivali su se na iskorišćavanju znanja iz prerade mineralnih i poljoprivrednih proizvoda. Uprkos nastojanjima da se razvije ova tehnologija, kvalitet izlaznih proizvoda u praksi se pokazao kao nezadovoljavajući kao i širenje štetnih materija u životnu sredinu kao što su teški metali iz komposta (Cimpan i dr., 2015). Podsticanje odvajanja otpada na mjestu nastanka i odvojeno prikupljanje otpada, snažno se odrazilo na stvaranje Evropskog zakonodavstva koje tretira oblast otpada (Tojo i Fischer, 2011).

Postrojenje za separaciju otpada (*eng. Material Recovery Facility – MRF*) i reciklaža istog obuhvata:

- izdvajanje materijala iz otpada,
- sortiranje prema vrsti,
- transport i krajnje procesuiranje da bi se obezbijedile sirovine za krajnje korisnike.

U zavisnosti da li se otpad razdvaja na mjestu nastanka ili se razdvaja u postrojenjima, različit je i stepen izdvajanja korisnih komponenti iz otpada (tabela 3.1). Iz ove tabele se može jasno uočiti da je daleko veći stepen izdvajanja ako imamo odvojeno sakupljeni ambalažni otpad u jednoj posudi, dok je daleko manji stepen izdvajanja ako se sav komunalni otpad sakuplja u jednoj posudi, a potom razdvaja u MRF postrojenju.

Tabela 3.1. Stepen sortiranja otpada u zavisnosti od načina sakupljanja otpada (Christensen i Bilitewski, 2011; Pressley i dr., 2015)

Vrsta otpada	Stepen razdvajanja u MRF	
	Miješani otpad	Odvojeno sakupljeni ambalažni otpad
Papir i karton	39	99
Aluminijum	87	97
Željezo	88	98
Plastika	83	98
PET	83	98
Staklo	69	95
Folija	77	90
Ostatak	76	10

3.2.4. Spalionica

Spaljivanje otpada se definiše kao kontrolisano sagorijevanje otpada na visokim temperaturama (od 800 do 1450⁰C). Spalionice su veoma moćne tehnologije tretmana otpada i mogu upravljati velikim količinama različitih vrsta i frakcija komunalnog otpada. Jedan od glavnih pokretača u vezi sa sprovođenjem spaljivanja otpada na međunarodnom nivou je minimiziranje sagorljivog (i biološki razgradljivog) otpada koji se preusmjerava sa deponija, i kao najvažnija je korist od iskorištavanja energije koja je sadržana u otpadu (Astrup i dr., 2009).

Spaljivanjem otpada nastaju otpadni gasovi, pepeo, šljaka i oslobađa se energija. Otpadni gasovi i pepeo mogu predstavljati problem, odnosno opterećenje za životnu sredinu i zdravlje ljudi ukoliko se ne tretiraju na odgovarajući način, a oslobođena energija u spalionici se koristi za dobijanje toplotne ili električne energije (tabela 3.2).

Otpadni gasovi sadrže CO₂, SO₂, NO_x, vodenu paru, a u slučaju nepotpunog sagorijevanja nastaju CO, PAHs, PCBs, polihlorovani dibenzo-p-dioksini i dibenzo furani (PCDD/F). PCBs i PCDD/F su slabo biorazgradljivi i mogu se akumulirati u hrani i mnogi od njih su toksični, odnosno karcinogeni (Giusti, 2009). Spaljivanjem otpada oko 80% otpada se transformiše u otpadne gasove (Vehlow i Dalager, 2011). Zavisno od primjenjene tehnologije tretmana otpadnih gasova mogu se koristiti CaO, CaCO₃, Ca(OH)₂, NaOH za neutralizaciju kiselih komponenti, aktivni ugljenik za otklanjanje Hg i dioksina, a za redukciju NO_x se koristi amonijak (Astrup i dr., 2009; Fruergaard i Astrup, 2011; Vehlow i Dalager, 2011).

Osnovne komponente u šljaci su oksidi Si, Ca, Al, Fe i Mg, te Na, K, sulfati i sulfidi te teški metali (Hjelmar i dr., 2011). Metali Fe i Al iz šljake se mogu izdvojiti i reciklirati. Leteći pepeo u Danskom gradu Arhusu koristi se za punjenje rudnika, dok se šljaka koristi za izgradnju saobraćajnica. Šljaka iz spalionice u Milanu se dijelom odlaže na deponiju, a drugim dijelom koristi za izgradnju saobraćajnica (Turconi i dr., 2011).

Reimann (2012) je u svojoj studiji obradio 314 spalionica u Evropi. Ova studija je istakla veliku različitost između sjevera Evrope (Danska, Švedska, Njemačka, Nizozemska) i južno-evropskih zemalja (Italije, Španije i djelom Francuske) sa aspekta ostvarenog otiska na životnu sredinu prilikom spaljivanja otpada. Kao argument ovim različitostima je navedeno sljedeće: specifična lokalna zakonska regulativa, specifični klimatski uslovi, te druge razlike koje se odnose na tehnologiju i način rada, koji može u većoj mjeri biti rezultat lokalnih običaja i tradicija.

Tabela 3.2. Pregled insineracionih tehnologija, uključujući vrste otpada koje se mogu tretirati i tipične vrijednosti iskorišćavanja otpada za dobijanje energije (Astrup i dr., 2009)

Otpad	Spalionica	
	Pokretna rešetka	Fluidizovan sloj
Papir	da	da
Tekstil	da	da
Plastika	da	da
Staklo	da	da
Metal	da	u nekim slučajevima
Organski	da	u nekim slučajevima
Ostali	da	u nekim slučajevima
Otpad iz domaćinstva	da	u nekim slučajevima
Komercijalni otpad	da	u nekim slučajevima
Industrijski otpad	da	u nekim slučajevima
Energetsko iskorišćenje (%)	15-30	15-30
Toplotno iskorišćenje (%)	60-85	60-85

Netretirani miješani komunalni otpad se najčešće spaljuje u insineratorima sa pokretnom rešetkom, gdje se otpad uz pomoć rešetke transportuje kroz peć. Dok se prethodno tretirani otpad ili otpad iz specifičnih industrija, spaljuje u spalionicama sa fluidiziranim slojem. Otpad se u ovim spalionicama dozira u sloj inertnog materijala (najčešće pijesak) gdje se dovodi u fluidizovano stanje pomoću zagrijanog vazduha. U tabeli 3.2 su predstavljene spalionice sa rešetkom i fluidizovanim sloju, frakcije otpada koje se mogu tretirati, kao i stepen iskorišćenja otpada za dobijanje energije. Spalionica

sa pokretnom rešetkom može tretirati miješani komunalni otpad za razliku od spalionica sa fluidiziranim slojem.

3.3. Održivo upravljanje otpadom

Na godišnjem nivou milioni tona materijala se eksploatišu iz Zemljine kore ili se pak stvaraju sintetički materijali, pri čemu se ovi materijali transformišu u robu široke potrošnje. Ovi proizvodi se odbacuju nakon upotrebe poslije nekoliko godina ili desetina godina (Kral i dr., 2014). Svi proizvodi i materijali sadrže sirovine i energiju. Ako se odbacuju, mi praktično bacamo vrijedne prirodne resurse.

Održivim načinom upravljanja otpadom, koje je ustvari bazirano na hijerarhiji upravljanja otpadom, postizemo (Unnisa i Rav, 2012):

- očuvanje vrijednih prirodnih resursa,
- prevencija emisije gasova sa efektom staklene bašte,
- očuvanje javnog zdravlja i prirodnih ekosistema.

Održivo upravljanje otpadom podrazumijeva upravljanje otpadom koje neće ostavljati probleme našim potomcima.

Da bi se mogle sagledati mogućnosti iskorišćavanja otpada neophodno je poznavati sastav otpada, a sa aspekta smanjivanja negativnog uticaja na životnu sredinu neophodno je definisati krajnja odredišta neželjenih i opasnih materija koje su sadržane u otpadu.

3.3.1. Karakteristike otpada

Karakterizacija čvrstog otpada je obično težak zadatak zbog heterogenosti otpada, kao i prostorne i vremenske varijacije. Dobijeni podaci o sastavu otpada imaju određenu prihvatljivu nesigurnost. Podaci o otpadu pored toga što su prostorno ograničeni, često je ograničeno i samo predstavljanje dobijenih podataka (Lagerkvist i dr., 2011). Karakterizacija otpada je glavni preduslov za razvoj i projektovanje sistema upravljanja otpadom.

Poznavanje hemijskog sastava otpada je veoma važno, jer nam omogućava da sagledamo mogućnosti iskorišćavanja otpada i primjenu različitih tehnologija tretmana otpada. U svjetskoj literaturi postoji jako mnogo radova i studija u kojima su predstavljeni podaci o elementarnom sastavu komunalnog otpada i pojedinačnih frakcija otpada kao što su papir, plastika, staklo, metal i organski otpad (tabela 3.3).

Tabela 3.3. Elementarni sastav komunalnog otpada uključujući i frakcije otpada (mg/kg) (Belevi i Baccini, (1989); Brunner i dr., (2001); Fehringer i dr., (1997); Finnveden i dr., (2005); Kost, (2001); Lagerkvist i dr., (2011); Morfi i dr., (2005); Riber i dr., (2009))

	C	N	Cd	Hg	Pb
Komunalni otpad	290000	4000	11	1.80	400
Papir	440000	1000	0.40	0.10	40
Plastika	850000	6000	40	0.45	350
Staklo	0	0	0.13	0.10	77
Metal	0	0	1.4	0.38	582
Organski otpad	477000	7600	0.095	0.02	1.0

3.3.1.1. Ugljenik (C)

Ugljenik je esencijalni element u biosferi, te po masenom udjelu drugi najrasprostranjeniji element nakon kiseonika u živim organizmima. Sva živa tkiva su sastavljena iz organskih jedinjenja ugljenika. Međutim, geološki gledano on se ne ubraja u najrasprostranjenije elemente. Ugljenik je zastupljen u zemljinoj kori u količini od 0,087% (Binder, 1999). Ugljenik se u prirodi najčešće može naći u obliku neorganskih karbonatnih stijena. Poznata jedinjenja ugljenika su fosilna goriva ugalj, nafta i zemni gas. Ugljenik se nalazi u atmosferi u obliku CO₂.

Ugljenik je pokazatelj potencijala resursa, kao što su energija i biomasa, ali i rizik i štetnost za životnu sredinu, kao što su gasovi staklene bašte, te stabilna i toksična organska jedinjenja. Različite studije su pokazale da se optimizacijom upravljanja komunalnim otpadom može smanjiti emisija gasova sa efektom staklene bašte (Mastellone i dr., 2009).

3.3.1.2. Azot (N)

Povećanje broja stanovnika i ubrzana ljudska aktivnost su imali za posljedicu povećanje toka azota u životnoj sredini tokom posljednjih sto godina (Sokka i dr., 2004). Azotna jedinjenja putem emisija u vodu, vazduh ili zemljište mogu da stvore mnogobrojne probleme u životnoj sredini kao što su eutrofikacija, acidifikacija, klimatske promjene, ili kao katalizator za formiranje troposferskog ozona (Fehringer i dr., 2004).

Studija u Finskoj koja je obradila tok azota u vremenskom periodu 1952-1999 je došla do zaključka da se sa povećanjem količine stvorenog otpada povećavala i količina azota u otpadu (Sokka i dr., 2004). Najveća količina azota je završila na deponiji, ali se

sa uvođenjem reciklaže ta količina smanjila. Ova studija ističe da se procesima spaljivanja otpada stvaraju azotni oksidi koji utiču na acidifikaciju, a mogu imati i negativne efekte na ljudsko zdravlje i biosferu.

Zakonodavstvo EU je uredilo i ograničilo emisiju azotnih jedinjenja kroz:

- nitratnu direktivu (Directive 91/676/EEC) kojom se definiše smanjivanje zagađenja površinskih i podzemnih voda nitratima sa poljoprivrednih površina,
- direktivu o deponijama (Directive 1999/31/EC) kojom se otpad prije deponovanja mora tretirati, zbog smanjivanja količine azota koja se disperguje putem procjednih voda.

3.3.1.3. Kadmijum (Cd)

Kadmijum je toksični teški metal i korišten je naročito kao aditiv u plastici, u baterijama, bojama i u premazima. Trenutno je upotreba kadmijuma pod nadzorom zbog njegove toksičnosti, dok je još velika njegova upotreba u baterijama. Stoga je najveća koncentracija kadmijuma u plastičnom otpadu, miješanom komunalnom otpadu i otpadu iz starih automobila i sječenih automobila.

Baccini i Brunner (2012) ističu da od svih tokova kadmijuma na nivou Švajcarske u 1990. godini, 50% kadmijuma je završilo u komunalnom otpadu. Pošto je komunalni otpad važan nosilac kadmijuma, tretman komunalnog otpada mora da se usredsredi da se ovaj teški metal izoluje u inertnu i dugoročno nepokretljivu formu.

Prilikom deponovanja kadmijum se mobilizuje uz pomoć organskih kiselina i procjeđuje u podzemne vode. U najvećem procentu prisutan je u sagorljivoj frakciji otpada kao što je plastika, za razliku od olova koji je prisutan u nesagorivoj frakciji kao što su baterije (Korzun i Heck, 1990). Prilikom spaljivanja otpada, kadmijum ima tendenciju isparavanja i odlazi putem letećeg pepela (Brunner i Rechberger, 2004). Stoga je neophodno tretirati leteći pepeo, čime bi se imobilizovao kadmijum i smanjio rizik onečišćenja životne sredine i ugrožavanja ljudskog zdravlja (Mastellone i dr., 2009).

3.3.1.4. Živa (Hg)

U prirodi žive ima dvadesetak puta više nego kadmijuma. Živine pare su vrlo otrovne. Lako se resorbuju čak i preko nepokrivenih dijelova kože. Imaju hronični kumulativni efekat. U redukcionim uslovima grade organometalna i jako toksična živina

jedinjenja (Baccini i Brunner, 2012). Minamata konvencija koja je usvojena u oktobru 2013. godine na diplomatskoj konferenciji u Japanu (Minamata konvencija, 2013), ima za cilj globalni ugovor da zaštiti zdravlje ljudi i životnu sredinu od štetnih uticaja žive, te postepeno ukinu mnoge od sadašnjih načina upotrebe žive.

Nakon upotrebe, proizvodi koji sadrže živu, kao što su termometri, fluorescentne svjetiljke i baterije, završavaju kao otpad. U SAD tokom 1995. godine procijenjeno je da je u otpadu završilo 16.9 t žive iz termometara, 15.7 t žive iz sijalica i 7 t iz baterija (US EPA, 2002). U Meksiku je tokom 1998. godine proizvedeno oko 932.000 fluorescentnih sijalica, koje sadrže živine pare, a skoro 41 t žive je iskorišćeno za njihovu proizvodnju (De la Rosa i dr., 2006). U Švajcarskoj skoro 50% ukupnog toka žive na nivou države završi u komunalnom otpadu (Baccini i Brunner, 2012).

3.3.1.5. Olovo (Pb)

Olovo i njegova jedinjenja su otrovni ako se unesu u organizam zbog svog kumulativnog efekta.

Deponije predstavljaju najznačajnije zalihe olova. Čak i ako se dno deponije izgradi od nepropustljivih materijala može se očekivati da će dno deponije nakon dužeg vremenskog perioda (>100 godina) postati propustljivo (Brunner i Rechberger, 2004). Putem procjednih voda olovo može dospjeti u površinske i podzemne vode. Najveći tokovi, zalihe i akumulacije olova su povezane sa starim, drobljenim automobilima, kao i deponovanim automobilskim ostacima. Olovo je bilo a još uvijek se koristi kao aditiv benzinu (Baccini i Brunner, 2012).

Između 1980. i 1990. godine, potrošnja olova u visokim i srednje razvijenim zemljama se samo neznatno povećala, dok je za isti period u zemljama sa niskim prihodima povećan sa 315 000 tona na 844 000 tona godišnje (WHO, 2010).

3.3.2. Krajnja odredišta supstanci

U sistemu upravljanja otpadom, potrebno je definisanje krajnjih odredišta za stalno ili barem dugoročno odlaganje neželjenih i opasnih materija koje se ne recikliraju, sa nadom da se ove materija neće ponovo naći u otpadu, te izbjegavanje njihovih negativnih uticaja na životnu sredinu (Brunner i Tjell, 2012).

Ciljani procesi se definišu kao mjesto gdje se supstance koncentrišu kao rezultat procesa ili tretmana, a odredište je mjesto gdje te supstance ostaju duže vremena

(stotinama ili hiljadama godina). Ako je koncentracija neke supstance veća od prirodnih koncentracija, skladištenjem ili usmjeravanjem ove supstance u određeni medijum postižu se negativni efekti. Fehringner i Brunner (1997) i Fehringner i dr. (1997) su definisali tri vrste odredišta:

- odgovarjuće odredište,
- uslovno-odgovarajuće odredište i
- neodgovarajuće odredište.

Odgovarajuće odredište za otpad se definiše kao postrojenje ili proces koji osigurava da se ulaz skladišti ili odvoji bezbjedno, kao i da su izlazi u životnu sredinu dovoljno spori koji ne mogu naškoditi kapacitetu životne sredine kao što su jezera, more, podzemne vode, zemljište, sedimenti ili atmosfera (Brunner i Tjell, 2012). Odgovarajuće odredište je odredište gdje se supstanca zadržava duži vremenski period (>10 000 godina), ili se potpuno uništava. Klasičan primjer za neorganske supstance su hloridi čije je finalno odredište okean ili atmosfera za argon. Za organske supstance su prihvatljivi procesi koji transformišu komponente u odgovarajuća odredišta, npr. termička obrada polietilena ili spaljivanje organskog otpada za dobijanje energije (Brunner, 2015). U tabeli 3.4 su prikazane klase navedenih odredišta za izabrane supstance (C, N, Cd, Hg, Pb), koje će se koristiti prilikom modelovanja procesa u poglavlju 5.

Tabela 3.4. Klase pogodnosti odgovarajućih odredišta za izabrane supstance (C, N, Cd, Hg, Pb) za vremenski period od 100 godina (Andersen i dr., 2011; Fehringner i Brunner, 1997; Fehringner i dr., 1997)

	Atmosfera	Hidrosfera	Ponovna upotreba	Deponija komunalnog otpada	Deponija pepela i šljake
C	odgovarajuće	neodgovarajuće	odgovarajuće	neodgovarajuće	neodgovarajuće
N	uslovno - odgovarajuće	neodgovarajuće	odgovarajuće	neodgovarajuće	neodgovarajuće
Cd	neodgovarajuće	neodgovarajuće	neodgovarajuće	uslovno-odgovarajuće	odgovarajuće
Hg	neodgovarajuće	neodgovarajuće	neodgovarajuće	uslovno-odgovarajuće	odgovarajuće
Pb	neodgovarajuće	neodgovarajuće	neodgovarajuće	uslovno-odgovarajuće	odgovarajuće

Iz prethodne tabele se može zaključiti:

- atmosfera se definiše kao finalno odredište ugljenika, samo u formi CO₂ koji je dobijen mineralizacijom, odnosno sagorijevanjem otpada, kao zamjena za istu

količinu energije koja bi se dobila iz fosilnih goriva (Mastellone i dr., 2009). Emisije u vazduh molekularnog azota predstavljaju odgovarajuće odredište ove supstance, ali ne i NO_x.

- hidrosfera je neodgovarajuće odredište za izabrane supstance (C, N, Cd, Hg, Pb). Emisija nitrata u hidrosferu predstavlja neodgovarajuće odredište.
- azot i ugljenik su poželjni elementi u recikliranim ili novim proizvodima, ali teški metali nikako nisu poželjni u novim proizvodima.
- deponija komunalnog otpada i deponija pepela i šljake predstavljaju uslovna odredišta i odgovarajuća odredišta za teške metale (Cd, Hg, Pb), jer imaju nizak dugoročni rizik negativnog uticaja na životnu sredinu.

3.4. Metode za modelovanje upravljanja otpadom

U 21. vijeku sagledavanje održivog upravljanja komunalnim otpadom je postalo neophodno u svim fazama, počevši od planiranja do izgradnje, rukovanja i krajnjeg razlaganja. Složenost sistema upravljanja otpadom i mogućnost valorizacije otpada u svijetu je u porastu. Raste povezanost između odlaganja, aktivnosti recikliranja i proizvodni procesi koji za rezultat imaju složene mreže i kombinacije tretmana otpada. Na primjer, umesto da bude deponovan, miješani komunalni otpad se može koristiti ili kao izvor sekundarnog materijala ili kao izvor energije. Spektar novih i postojećih tehnologija za tretman otpada i strategije upravljanja zahtijevaju održavanja kvaliteta životne sredine u ovom trenutku, ali i ispunjavanja održivosti u budućnosti. Industrije upravljanja otpadom i vladine agencije treba da ispune potrebe upravljanja otpadom sa najvećim zelenim potencijalom, da recikliraju materijale u tokovima otpada, da se poveća isporuka obnovljive energije, da traže više društveno prihvatljive opcije, i da se očuva biodiverzitet i prirodni ekosistem istovremeno.

Postići takve ciljeve moguće je samo ako se svi tehnički i ne-tehnički aspekti sistema upravljanja čvrstim otpadom analiziraju kao cjelina, jer su međusobno povezani jedni sa drugima, i razvoj u jednoj oblasti često utiče na praksu ili aktivnosti u drugoj oblasti (Pires i dr., 2011).

U prošlosti, analitički alati su se bazirali na detekciji i karakterizaciji stanja životne sredine uz pomoć mjerenja i monitoringa. Od novih alata očekuje se mnogo više, odnosno uspostavljanje veza između stanja životne sredine i dinamičke promjene, zatim rane najave zagađenja, predikcije zagađenja, kao i uspostavljanje veza između

zagađenja i drugih aspekata kao što su npr. zdravlje stanovništva ili ekonomski razvoj određene teritorije ili opštine (Stevanović-Čarapina i dr., 2014).

Procjena upravljanja čvrstim otpadom zahtijeva primjenu različitih tehnika analize sistema što omogućava donosiocima odluka da se upoznaju sa ukupnom složenosti sistema. Tehnike analize sistema se mogu klasifikovati u dvije grupe: inženjerski modeli i modeli procjene sistema. Kadafa i dr. (2014) i Pires i dr. (2011) su u svom istraživanju dali pregled modela u upravljanju otadom, kao i broj studija koji je urađen na teritoriji Evropske unije (tabela 3.5 i 3.6). Osnovni zadaci modela sistema za upravljanje otpadom su da optimizuju upravljanje otpadom, redukuju negativne uticaje na životnu sredinu, te smanje troškove upravljanja otpadom u cilju prihvatanja odabranog sistema upravljanja otpadom od strane javnosti i građana. Primjena modela zavisi od predmeta istraživanja, npr. da li se radi o materijalu ili supstanci, te vrsti uticaja koja se istražuje.

Tabela 3.5. Inženjerski alati za procjenu sistema upravljanja otpadom (Kadafa i dr., 2014; Pires i dr., 2011)

Model	Doprinosi modela u upravljanju komunalnim otpadom	Broj studija
Analiza troškova i koristi (<i>eng. Cost Benefit Analysis - CBA</i>)	Predstavlja metod koji se koristi za procjenu ukupnih troškova i prihoda planiranog projekta.	12
Model predviđanja (<i>eng. Forecasting Models - FM</i>)	Karakterise tokove otpada (kvantitativno i kvalitativno); izrađuje informacioni sistem da bi se akumulirale informacije tokom vremena. Služi za predviđanje stvaranja količina otpada.	10
Model stimulacije (<i>eng. Stimulation Models - SM</i>)	Ulazi u trag dužine kontinuiranih ili diskretnih događaja na osnovu odnosa uzročno-posljedičnih koji opisuju operacije u složenom sistemu i pomažu da se istraži dinamičko ponašanje sistema. Modeli: SWIM, GIGO, AWAST.	7
Optimizacioni model (<i>eng. Optimization Models - OM</i>)	Da se postigne najbolje rješenje između brojnih alternativa, s obzirom na jedan ili nekoliko ciljeva, ovi modeli rješavaju sljedeća pitanja: (1) planiranje jedinične mreže, (2) dinamički investicioni period, (3) veličina i mjesto postrojenja (4) upravljanje infrastrukturom npr. deponijom. Model: WRAP.	7
Integrirani sistem modelovanja (<i>eng. Integrated Modelling Systems - IMS</i>)	Poboljšava sinergetske veze između različitih modela, nadovezivanjem svoje ukupne funkcionalnosti. IMS obezbeđuje: (1) dinamičke informacije o nastanku otpada, (2) optimalni obrasci proširenja kapaciteta deponije tokom vremena. Model: ORWARE	12

Modelovanje i optimizacija upravljanja komunalnim otpadom primjenom analize tokova materijala i ocjenom životnog ciklusa

Tabela 3.6. Modeli procjene sistema upravljanja otpadom (Kadafa i dr., 2014; Pires i dr., 2011)

Model	Doprinosi modela u upravljanju komunalnim otpadom	Broj studija
Procjena rizika (<i>eng. Risk Assessment - RA</i>)	Putem statističke obrade, kvantifikuju se rizici u životnu sredinu i ljudsko zdravlje. Pomaže u vrednovanju sistema upravljanja otpadom.	13
Procjena uticaja na životnu sredinu (<i>eng. Environmental Impact Assessment - EIA</i>)	Odnosi se na procjenu uticaja na životnu sredinu planiranih postrojenja. U evropskim zemljama, procjena uticaja na životnu sredinu je obavezna za spalionice i deponije kroz implementaciju EU direktive o procjeni efekata određenih javnih i privatnih projekata na životnu sredinu (Directive 85/337/EEC, Directive 97/11/EC)	2
Strateška procjena uticaja na životnu sredinu (<i>eng. Strategic Environmental Assessment - SEA</i>)	Sastoji se od procjene uticaja strateškog djelovanja kao politike, plana ili programa. Primjenljivost je naglašena u EU Direktivi o procjeni uticaja određenih planova i programa na životnu sredinu (Directive 2001/42/EC), koja je zadužena za promociju i izradu SAE kod upravljanja komunalnim otpadom.	12
Analiza životnog ciklusa (<i>eng. Life Cycle Assessment - LCA</i>)	LCA predstavlja alat za donošenje odluka o izradi ili kvalitetu određenog proizvoda uz identifikaciju njegovog uticaja na životnu sredinu. To je proces analize materijala, energije i otpada koje produkuje proizvod, kroz cjelokupan životni ciklus od nastanka tj. počevši od resursa i eksploatacije materijala pa do konačnog odlaganja. Modeli za razvoj upravljanja komunalnim otpadom: IWM, EASETECH WASTED	72
Analiza materijalnih tokova (<i>eng. Material Flow Analysis - MFA</i>)	Sistematska procjena tokova i zaliha materijala u okviru sistema koji je definisan u prostoru i vremenu. MFA softveri: STAN, GaBi, Umberto, FLUX, SFINX	10
Menadžment informacijski sistem (<i>eng. Management Information System - MIS</i>), Ekspertski sistemi (<i>eng. Expert System - ES</i>), Sistemi podrške prilikom donošenja odluka (<i>eng. Decision Support System - DSS</i>)	Sadrži različite metode koje se primjenjuju kod razmjene ili upravljanja informacijama a koje služe donosiocima odluka.	26
Razvoj scenarija (<i>eng. Scenario Development - SD</i>)	Stvara hipotetički slijed događaja izgrađenih za potrebe usmjeravanja pažnje na uzročne procese i odlučivanje. Npr. predviđanje sastava otpada u budućnosti u zavisnosti od razvijenog modela životnog stila.	2
Socioekonomska procjena (<i>eng. Socioeconomic Assessment - SoEA</i>)	Sastoji se od računarske prakse koja se odnosi na integrisane tržišno orjentisane i/ili političke zahtjeve koji regulišu upravljanje otpadom. Ovaj model omogućava uključivanje korisnika u regulisanju naknada za odlaganje otpada.	12
Procjena održivosti (<i>eng. Sustainable Assessment - SA</i>)	Odnosi se na integraciju različitih metodologija na takav način da se dobije analiza, procjena ili plan da se pristupi sa nekoliko aspekata u kojima je održivost naglašena npr. procjena održivog upravljanja čvrstim otpadom sa različitih aspekata.	12

3.5. Zakonska regulativa iz oblasti upravljanja otpadom

Osnovni zadatak zakonske regulative koja definiše oblast upravljanja otpadom je zaštita ljudskog zdravlja i životne sredine, kroz otklanjanje materijala iz materijalnih ciklusa koji se ne mogu procesuirati bez štetnosti (Scharff, 2012).

Posljednjih dvadeset godina na nivou Evropske unije je usvojeno nekoliko direktiva koje uređuju upravljanje otpadom koje su u skladu sa hijerarhijom upravljanja otpadom.

Prema okvirnoj direktivi o otpadu (Directive 2008/98/EC) ustanovljen je okvir za upravljanje otpadom u Evropskoj uniji u skladu sa hijerarhijom upravljanja otpadom, poštovanjem principa „zagađivač plaća“, te da troškove deponovanja mora da snosi vlasnik ili proizvođač otpada, sa ciljem očuvanja zdravlja ljudi i zdrave životne sredine. U ovoj direktivi prevencija je najbolji izbor, nakon čega slijedi ponovno korišćenje, recikliranje i kao posljednja mogućnost, deponovanje otpada.

Direktiva o deponijama otpada (Directive 1999/31/EC) definiše tehničke zahtjeve za izgradnju deponije, te zabranjuje se zajedničko odlaganje inertnog, opasnog i komunalnog otpada. Ovom direktivom se zahtijeva da se sav otpad prije deponovanja mora tretirati. Članice EU su dužne da smanje količinu biorazgradljivog otpada koju deponuju na 35% od ukupnog iznosa biorazgradljivog otpada proizvedenog u 1995. godini do 2016. godine, odnosno za neke zemlje do 2020. godine. Uredbom o odlaganju otpada na deponije u Republici Srpskoj („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 36/15) se bliže definišu uslovi i kriterijumi za određivanje lokacije deponije, projektovanje, izgradnju i rad deponije, te vrste otpada koje se mogu odlagati, procedure rada i zatvaranja deponije. Ova Uredba ne ograničava deponovanje i redukovanje biorazgradljivog otpada na deponije, a samo u Zakonu o upravljanju otpadom u Republici Srpskoj („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 111/13) stoji da se biorazgradljivi otpad može obraditi kompostiranjem ili anaerobnom digestijom, sa ciljem smanjivanja količina biorazgradljivog otpada na deponiju, odnosno smanjenja emisije gasova staklene bašte.

Direktiva evropskog parlamenta o ambalaži i ambalažnom otpadu (Directive 94/62/EC) donesena je kako bi se spriječio ili smanjio uticaj ambalaže i ambalažnog otpada na životnu sredinu. Prema ovoj direktivi do kraja 2008. godine članice EU moraju reciklirati najmanje 55% ambalažnog otpada. Udio reciklaže za materijale sadržane u ambalažnom otpadu treba da iznosi: 60% staklo, 60% papir i karton, 50%

metal, 22.5% plastika. Direktivom o smanjenju potrošnje laganih plastičnih kesa (Directive 2015/720) proširuje se i nadograđuje upravljanje ambalažnim otpadom na plastične kese namjenjene za nošenje. Najvažnije su mjere o redukovanju količine ovih kesa po osobi u toku godine. Do 2019. godine ograničava se količina kesa na 90 po osobi godišnje, a do 2025. godine samo 40 kesa po osobi. Prema Uredbi o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 36/15) i Pravilnikom o smanjenju ambalažnog otpada („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 46/12) u Republici Srpskoj opšti ciljevi su da se u 2015. godini 25%, odnosno u 2016. godini 35% ambalaže i ambalažnog otpada iskoristi ili reciklira.

Osnovni razlog za stupanje na snagu direktive o spaljivanju otpada (Directive 2000/76/EC) je sprečavanje ili smanjivanje zagađenja životne sredine koje može biti kao posljedica spaljivanja otpada. Ovom direktivom se propisuje primjena propisanih uslova koji se odnose na projektovanje i funkcionisanje spalionica, i kao najvažnije definisanje vrijednosti emisija u vodu i vazduh (prašine, NO_x, SO₂, HCl, HF, teških metala, te dioksina i furana). Direktiva o spaljivanju otpada propisuje uslove rada postrojenja za spaljivanje otpada, uređuje uslove za rad i mjere za regulisanje emisija u vazduh, zemljište i vode, te rizik po ljudsko zdravlje iz postrojenja za spaljivanje otpada.

Vezano za kontrolu toksičnih materija, ističe se važnost direktiva o ograničenju korišćenja određenih toksičnih supstanci u elektronskoj i elektroničkoj opremi (Directive 2002/95/EC), direktiva o otpadnim baterijama i akumulatorima (Directive 2006/66/EC) (Saner i dr., 2011). Direktiva o baterijama i akumulatorima (Directive 2006/66/EC) je nastala kao posljedica napora koji EU ulaže da se smanji zagađenje teškim metalima koji se koriste u proizvodnji baterija i akumulatora.

Tematska strategija prevencije i reciklaže otpada iz 2005. godine izrađena je sa ciljem smanjenja uticaja otpada na životnu sredinu i zdravlje stanovništva (European Commission, 2011b). Cilj ove strategije je sprečavanje nastanka otpada i korišćenje otpada kao resursa i uspostavljanje tržišta sekundarnih sirovina. Kroz Tematsku strategiju za otpad naglašena je potreba za uvođenje novog analitičkog alata za donošenje odluka u politici upravljanja otpadom kao što je LCA.

4. RADNA HIPOTEZA

Imajući u vidu specifičnost teme koja se obrađuje, a u skladu sa definisanim predmetom i ciljevima istraživanja, pri istraživanju se polazi od nekoliko ključnih pretpostavki, odnosno hipoteza u okviru doktorske disertacije.

Opšte hipoteze:

- odlaganje komunalnog otpada na neuređenu deponiju, nije u skladu sa tehničkim normativima, niti sa zakonodavstvom Republike Srpske kao i Evropske unije,
- odlaganje otpada na neuređenu deponiju ima negativan uticaj na životnu sredinu i ljudsko zdravlje,
- primjenom MFA/SFA i LCA moguće je modelovati različite scenarije upravljanja komunalnim otpadom, i donijeti odluka o izboru optimalnog održivog rješenja koje je u skladu sa održivim razvojem regiona.

Posebne hipoteze:

- komunalnim otpadom je moguće upravljati na način kojim bi se otpad koristio kao vrijedan resurs za dobijanje novih proizvoda, kao i za dobijanje toplotne i električne energije.
- moguće je postavljanje modela za poboljšanje upravljanja komunalnim otpadom kroz izdvajanje korisnih komponenti otpada (metal, staklo, plastika i papir) i njihova reciklaža, prerada organskog otpada u visokovrijedan kompost koji se može koristiti u poljoprivredne svrhe, te iskorišćavanje otpada za dobijanje energije,
- predloženi modeli doprinose unapređenju dosadašnjeg načina upravljanja otpadom u cilju smanjenja negativnog uticaja na životnu sredinu i ljudsko zdravlje, i urađeni su u skladu sa zakonodavstvom i strateškim dokumentima iz oblasti otpada.

5. MATERIJALI I METODE

5.1. Metode

5.1.1. MFA/SFA

Analiza materijalnih tokova (*eng. Material Flow Analysis - MFA*) je metod koji se koristi za opisivanje, istraživanje i evaluaciju metabolizma antropogenog i geogenog sistema. To je tipičan analitički alat koji se zasniva na materijalnom bilansu (Steubing i dr., 2010). Osnovna karakteristika MFA je da se materijali ponašaju u skladu sa zakonom o održanju mase, odnosno sve što uđe u sistem mora i da izađe iz sistema. Drugim riječima materija ne može nestati, jedino se može transformisati i napustiti sistem u vidu emisija ili drugih nusproizvoda.

MFA je sistematska procjena tokova i zaliha materijala u okviru sistema koji je definisan u prostoru i vremenu (Brunner, 2004). Povezuje izvore, puteve i prelazne ili završne dispozicije materijala. MFA se može sprovoditi na dva nivoa, nivu supstanci i nivu dobara. Ukoliko se radi na nivou supstanci onda govorimo o analizi tokova supstanci (*eng. Substance Flow Analysis - SFA*), a MFA uređuje nivo dobara, odnosno materijala. Posljednu deceniju MFA je privukla veliku pažnju i uključena je u zvaničnim statističkim izvještajima u EU (Eurostat, 2009). Osnovni cilj MFA je da se poboljša razumijevanje analiziranog sistema, koji je preduslov bolje kontrole i upravljanja tim sistemom (Steubing i dr., 2010).

Prve osnovne principe MFA očuvanja materije, tj. da je ulaz jednak izlazu, su postulirali grčki filozofi prije 2000 godina. Jedan od prvih izvještaja o analizi tokova materijala datira još iz XVII vijeka. Venecijanski ljekar Santorio Santorio (1561-1636) je istraživao metabolizam čovjeka, odnosno prvi je razvio novu metodu balans sistema prije 400 godina. Francuski hemičar Antoine Lavoisier (1743-1794), 200 godina nakon Santoria dokazao je da se ukupna masa materije ne mijenja hemijskim procesima (Baccini i Brunner, 2012; Brunner i Rechberger, 2004).

U XX vijeku MFA koncept se implementirao u raznim oblastima i vremenskim periodima. Tridesetih godina prošlog vijeka Wassily Leontief (1906-1999) je primjenio

„input-output“ metod između različitih sektora u ekonomiji. Zbog njegovog razvoja „input-output“ metoda, 1973. godine je dobio Nobelovu nagradu iz oblasti ekonomskih nauka.

5.1.1.1. Metodologija MFA/SFA

Brunner i Rechberger (2004) su predstavili termine koji su definisani metodologijom MFA: supstanca, proizvod, materijal, proces, tokovi i fluksevi, zalihe, transfer koeficijenti, sistem i granice sistema.

Supstanca se definiše kao materijal od koga se sastoje dobra ili proizvodi. Mogu biti atomi (C, Pb) ili jedinjenja (CO₂, H₂O). Proizvodi se definišu kao supstance ili mješavine supstanci (drvo, otpad, automobil).

Proces označava transport, transformaciju, skladištenje ili promjenu vrijednosti supstance ili proizvoda. Proces može biti aktivnost (spaljivanje), postrojenje (spalionica, deponija, kompostana), usluga (sakupljanje otpada) ili medijum životne sredine (atmosfera, hidrosfera, zemljište) (Fehringer i dr., 2004). Procesi su povezani tokovima (masa u jedinici vremena) ili fluksevima (masa u jedinici vremena kroz jediničnu površinu). Tokovi ili fluksevi materijala koji ulaze u proces nazivaju se ulazni tokovi, dok oni koji izlaze iz procesa se nazivaju izlaznim.

Zbog zakona o održanju materije, rezultati MFA mogu da se kontrolišu jednostavnim materijalnim bilansom, pri čemu se porede svi inputi, zalihe i rezultati procesa (Stevanović-Čarapina i dr., 2014). Ravnoteža između proizvoda i/ili supstanci kroz proces uzimajući u obzir ulaze i izlaze prikazana je u sljedećoj formuli:

$$\sum_{n=1}^i \text{ulazi } i = \sum_{n=1}^j \text{izlazi } j + \Delta \text{zalihe}$$

gdje je zaliha definisana kao akumulacija ili degradacija materijala u procesu.

Za mnoge procese linearni transfer koeficijenti mogu da se koriste za opisivanje udjela supstance u procesu. Transfer koeficijent ($k_{i,j}$) daje procenat ukupnog protoka supstance i , koja se transformiše u specifičan izlazni proizvod j je dat u jednačini (Brunner i Rechberger, 2004):

$$K_{i,j} = \frac{\text{proizvod},j}{\sum_{n=1}^i \text{ulazi},i}$$

gdje je:

$K_{i,j}$ – transfer koeficijent,

i – broj ulaznih tokova,

j – broj izlaznih tokova.

Ako zaliha ostaje konstantna onda je $\sum_{n=1}^j K_{i,j} = 1$.

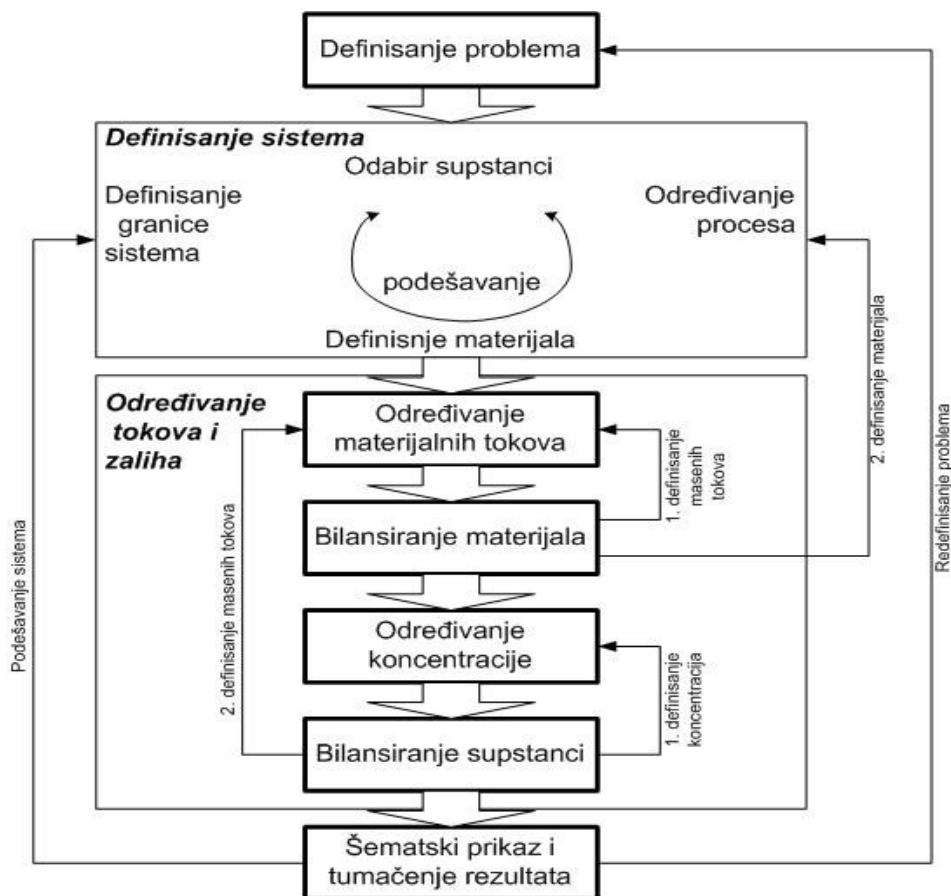
Granice sistema imaju važnu ulogu u dizajniranju MFA, jer procesi unutar sistema moraju biti balansirani, i moraju biti definisani u prostoru i vremenu.

MFA je atraktivan metod za pomoć kod donošenja odluka kod upravljanja resursima, otpadom, kao i kod upravljanja životnom sredinom (Brunner i Rechberger, 2004). Allesch i Brunner (2015) u svom preglednom radu koji je obuhvatio 83 studije iz oblasti upravljanja otpadom, preporučuju korišćenje MFA/SFA kao alata prilikom donošenja odluka kod upravljanja otpadom. Poznavanje tokova supstanci u sistemu upravljanja otpadom omogućava nam da sagledamo da li neka od analiziranih supstanci predstavlja resurs ako je sadržana u određenim materijalima, ili pak opterećenje u životnu sredinu.

Termin i metodologija MFA, namjenjena za primjenu u upravljanju otpadom, je od 2005.godine standardizovana austrijskim standardom ÖNORM S 2096. Da bi se ispunili zahtjevi iz ovog standarda razvijen je softver STAN (skraćénica od subSTance flow Analysis) na Bečkom Univerzitetu za tehnologiju (Cencic i Rechberger, 2008).

Primjena MFA metodologije u izradi MFA studije sastoji se od sljedećih koraka (Brunner i Rechberger, 2004; Stevanović-Čarapina i dr., 2014) (slika 5.1):

- definisanje predmeta i cilja studije,
- određivanje granica sistema u vremenu i prostoru,
- definisanje materijala i supstanci (npr. potrošnja vode, zahtjevi za energijom, potrošnja resursa, ili kvantitativno mjerenje potencijalnih toksičnih supstanci, kao što je akumulacija određenog teškog metala u životnoj sredini, evaluacija potencijalnih tokova ugljenika u atmosferu nastalog kao proizvod ljudskih aktivnosti),
- bilansiranje ulaza, izlaza i zaliha kroz procese,
- šematski prikaz i tumačenje rezultata.



Slika 5.1. Procedure u izradi MFA studije (Brunner i Rechberger, 2004)

Detaljniji postupak izrade MFA/SFA studije su obradili Brunner i Rechberger (2004) i Fehring i dr. (2004) u MFA priručniku.

5.1.1.2. Primjena MFA/SFA

MFA se može primjenjivati na različitim nivoima. Može se primjenjivati na internacionalnom, nacionalnom, regionalnom, na nivou zajednica, na nivou preduzeća, kao i na antropogenim sistemima.

Veliki broj istraživanja za SFA je analiziran za veliki broj supstanci, za različita geografska područja i vremenska ograničenja. Analizu toka fosfora u Švajcarskoj su istraživali Brunner i dr. (1994), te Li i dr. (2010) i Yuan i dr. (2011) u Kini. Metabolizam grada Pariza i njegovog regiona je istraživao Barles (2009).

MFA studija o identifikovanju i kvantifikovanju tokova i zaliha plastike u Srbiji za period 2000-2020, pokazala je da će se sa trendom povećanja upotrebe plastike, povećati zalihe plastike u deponijama, pošto se oko 99% plastičnog otpada odlaže na deponije (Vujić i dr., 2010).

SFA je korišćen kao alat kod određivanja tokova azota i fosfora u komunalnom otpadu u Finskoj (Sokka i dr., 2004). Jacob i dr. (2014) su korišćenjem MFA kao alata kvantifikovali tokove i akumulaciju otpadnih guma na Tajlandu, dok su Masood i dr. (2014) analizirali trenutni način upravljanja komunalnim otpadom u gradu Lahore (Pakistan) primjenom MFA. SFA je korišćen i kod planiranja upravljanja otpadom (Arena i Di Gregorio, 2014; Mastellone i dr., 2009). Arena i Di Gregorio (2014) ističu da se sa povećanjem stepena razdvajanja otpada u domaćinstvima smanjuje i količina otpada iz procesa reciklaže, te da se smanjuje količina toksičnih supstanci u reciklažnom procesu. Mastellone i dr. (2009) su kvantifikovanjem tokova otpada i supstanci (C i Cd) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom, preporučili da se u budućnosti moraju kombinovati različite tehnologije tretmana otpada.

Arena i Di Gregorio (2013) su koristili MFA i SFA kod definisanja i poređenja ključnih elemenata u komunalnom otpadu (C, Cl, S, Al, Cu) prilikom iskorišćavanja otpada za dobijanje energije (*eng. Waste to Energy - WtE*). Döberl i dr. (2002) su kombinaciju MFA i CBA koristili kao podršku u evaluaciji nacionalne politike upravljanja otpadom u Austriji. Rezultati ovog istraživanja su pokazali da je termički tretman superiorniji u odnosu na mehaničko-biološki tretman otpada ako se uzmu u obzir dugoročni efekti.

U regionu je do sada urađeno par studija upravljanja komunalnim otpadom primjenom MFA/SFA. U Hrvatskoj su Stanic-Maruna i Fellner (2012) analizirali prošlo, trenutno i upravljanje komunalnim otpadom u budućnosti u skladu sa EU Direktivom o deponijama (Directive 1999/31/EC) primjenom MFA. U Srbiji, na primjeru Grada Novog Sada, Stanisavljevic i Brunner (2014), su primjenom MFA/SFA modelovali optimalni način upravljanja komunalnim otpadom. Stanisavljevic i dr. (2015) su koristili MFA kao alat za pomoć prilikom donošenja odluka u upravljanju otpadom u malim opštinama.

5.1.2. LCA

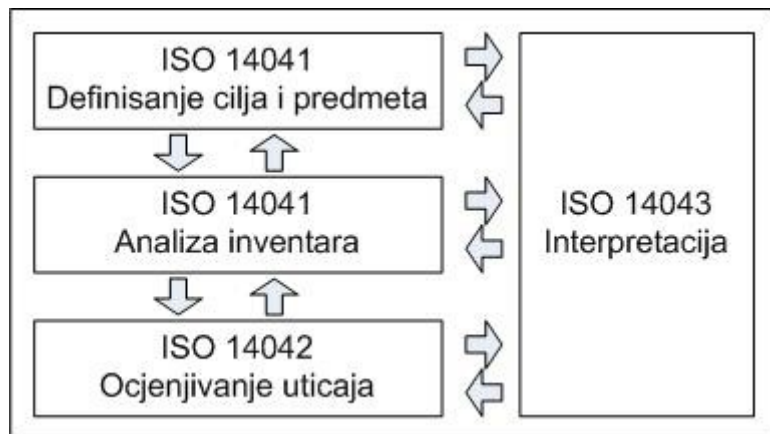
Krajem šezdesetih godina prošlog vijeka javlja se potreba za odgovornijim upravljanjem industrijskim procesima, jer je jačala svijest o tome da su resursi ograničeni kao i sve veći pritisak zagađenja životne sredine. Stoga se pristupilo izradi alata koji bi se bavio procjenom ekološkog uticaja proizvoda na životnu sredinu – ocjena životnog ciklusa (*eng. Life Cycle Assessment - LCA*). LCA predstavlja alat za

donošenje odluka o izradi ili kvalitetu određenog proizvoda uz identifikaciju njegovog uticaja na životnu sredinu, imajući u vidu cjelokupan životni ciklus proizvoda, odnosno to je proces analize materijala, energije, emisija i otpada koje „produkuje“ proizvod, kroz cjelokupan životni ciklus od nastanka, tj. počevši od resursa i eksploatacije materijala pa do konačnog odlaganja (Stevanović Čarapina i dr., 2011b). Analiza životnog ciklusa se pokazala kao koristan alat u sektoru upravljanja otpadom.

5.1.2.1. Metodologija LCA

Društvo za ekološku toksikologiju i hemiju (SETAC) je bila prva organizacija koja je inicirala harmonizaciju LCA metodologije, koja je kasnije grupisana u ISO standardima. ISO standard (ISO 14040, 2006) i priručnik ILCD (European Commission, 2011a) detaljnije uređuju implementaciju LCA. ISO 14040 (2006) definiše četiri koraka u LCA studiji (slika 5.2):

- definisanje cilja i predmeta,
- analiza inventara životnog ciklusa (faza prikupljanja podataka),
- ocjenjivanje uticaja životnog ciklusa na životnu sredinu,
- interpretacija rezultata životnog ciklusa.



Slika 5.2. Okvir LCA u skladu sa ISO 14040 (2006)

Definisanje cilja i predmeta – u ovoj fazi se pored cilja i predmeta, postavljaju granice sistema (prostorne i vremenske) i definiše funkcionalna jedinica. Definisanje funkcionalne jedinice je važna osnova za normalizaciju ulaznih i izlaznih podataka u cilju poređenja rezultata LCA studije. Laurent i dr. (2014b) su identifikovali četiri vrste funkcionalnih jedinica u LCA studijama upravljanja otpadom: (1) unitarna funkcionalna jedinica ili jedinična mjera npr. 1 t otpada (Dong i dr., 2014; Manfredi i Christensen, 2009), (2) funkcionalna jedinica bazirana na količini stvorenog otpada, npr. količina

stvorenog otpada u nekom regionu u specifičnom vremenskom periodu (Fernández-Nava i dr., 2014; Rigamonti i dr., 2013) (3) funkcionalna jedinica zasnovana na ulazu, npr. tačno definisana količina otpada koja ulazi u postrojenje i (4) funkcionalna jedinica zasnovana na izlazu npr. definisana kao količina otpada koji je nusproizvod.

Analiza inventara životnog ciklusa (eng. *Life cycle inventory* - LCI) – odnosi se na prikupljanje, proračun i analizu ulaza i izlaza sistema proizvoda. U ovoj fazi se određuju svi materijalni i energetske ulazi i izlazi kroz cjelokupan životni ciklus proizvoda ili usluge. U LCA studijama podaci se najviše koriste iz literaturnih izvora ili na osnovu baza podataka kao što su Ecoinvent, EASEWASTE, SimaPro, Gabi itd (Laurent i dr., 2014b).

Ocjenjivanje uticaja životnog ciklusa na životnu sredinu (eng. *Life cycle impact assessment* - LCIA) – podrazumjeva klasifikovanje ulaznih i izlaznih podataka LCI u specifične kategorije, te svrstavanje ulaza i izlaza za svaku kategoriju na osnovu indikatora. Izbor kategorija uticaja se sprovodi na osnovu postavljenog cilja i predmeta, a za svaku kategoriju uticaja postoje odgovarajući indikatori. Postoji više metoda LCIA kao što su: EDIP, ReCiPe, USEtox, IPCC, itd. Kategorije uticaja su podjeljene u dvije grupe: standardne kategorije uticaja i kategorije uticaja na ljudsko zdravlje. U standardne kategorije uticaja su svrstane sljedeće kategorije: potencijal globalnog zagrijavanja, acidifikacija, eutrofikacija, obogaćivanje hranljivim materijama, ekotoksičnost i formiranje fotohemijskog ozona. U kategorije uticaja na ljudsko zdravlje su svrstane sljedeće kategorije: toksičnost na čovjeka (putem vode, vazduha i zemljišta), toksičnost na čovjeka karcinogena i nekarcinogena

Tako je na primjer globalno zagrijavanje j kategorija uticaja, a indikaor je zbirna vrijednost oslobođenih gasova sa efektom staklene bašte koji su izraženi preko CO₂ ekvivalenta. Međuvladin panel o klimatskim promjenama (IPCC) definisao je model na osnovu kojeg se izračuvava potencijal globalnog zagrijavanja preko ekvivalentnog CO₂. Gasovi CO₂, CH₄ i N₂O su gasovi koji doprinose globalnom zagrijavanju, ali u različitom odnosu 1 CO₂ = 25 CH₄ = 298 N₂O (Tian i dr., 2011).

Intrepretacija rezultata životnog ciklusa – je postupak za identifikovanje, provjeru, kvalifikovanje i ocjenjivanje informacija dobijenih na osnovu rezultata LCI i LCIA. Rezultati i njihova interpretacija moraju biti u skladu sa definisanim ciljem i predmetom.

Iako je metodologija LCA razvijena i harmonizovana ISO standardom (ISO, 2006), metodologija još je upotpunjena smjernicama (Guinée i dr., 2002) i brojnomo literaturom (McDougall i dr., 2008; Stevanović-Čarapina i dr., 2011a; Wenzel i dr., 1997). Sveobuhvatni djelokrug LCA je neophodan, kako bi se izbjeglo pomjeranje problema, na primjer, iz jedne faze životnog ciklusa u drugi, iz jednog regiona u drugi, ili iz jednog problema životne sredine u drugi (Finnveden i dr., 2009).

Za potrebe analize i modelovanja upravljanja otpadom primjenom LCA, razvijeni su različiti softveri: SimaPro, EASEWASTE, GaBi, ORWARE, IWM, DST, WISARD, i dr. (Laurent i dr., 2014b).

5.1.2.2. Primjena LCA

LCA je našla primjenu u različitim oblastima kao što je: poljoprivreda (Goglio i dr., 2015; Keyes i dr., 2015), upravljanje vodama (Ahmadi i Tiruta-Barna, 2015; Barjoveanu i dr., 2014; Wu i dr., 2015), građevinarstvo (Huang i dr., 2015; Pang i dr., 2015; Russell-Smith i Lepech, 2015), prehrambena industrija (Cerutti i dr., 2013; Tyszler i dr., 2014), automobilska industrija (Nanaki i Koroneos, 2013; Schmidt i dr., 2004), elektronska oprema (Deng i dr., 2011; Elduque i dr., 2014).

U naučnoj literaturi postoji veliki broj studija upravljanja otpadom primjenom LCA na nacionalnom nivou (Eisted i Christensen, 2013; Falzon i dr., 2013; Finnveden i dr., 2005), nivou regija (Antonopoulos i dr., 2013; Liamsangan i Gheewala, 2008; Miliūtė i Staniskis, 2009; Starostina i dr., 2014), te na lokalnom nivou (Koroneos i Nanaki, 2012; Luoranen i dr., 2009; Tulokhonova i Ulanova, 2013).

LCA se u proteklih 20-ak godina implementirala u tretmanu različitih vrsta otpada kao što je: tretman organskog otpada (Andersen i dr., 2012; Hansen i dr., 2006a; Hansen i dr., 2006b; Kong i dr., 2012), baštenskog otpada (Boldrin i dr. 2011a), otpada od hrane (Bernstad i la Cour Jansen, 2012; Zhao i Deng, 2014), papirnog otpada (Merrild i dr., 2008;), elektronskog otpada (Hong i dr., 2015; Song i dr., 2013), medicinskog otpada (Soares i dr., 2013; Zhao i dr., 2009).

Na prostoru Balkana je urađeno više LCA studija upravljanja otpadom. Stevanović-Čarapina i dr. (2011b) su primenom LCA softvera IWM-2 analizirali emisiju toksičnih komponenti u vodu i vazduh poređenjem dva scenarija konačnog odlaganja otpada za grad Sombor (Srbija). Bjelić i dr. (2015) su poredili uticaj na životnu sredinu različitih scenarija odlaganja otpada za banjalučku regiju RS/BiH primjenom LCA softvera

EASETECH. Razvijeni su scenariji koji odražavaju trenutno stanje odlaganja otpada, i alternativni scenariji odlaganja otpada na deponiju koji ispunjavaju zahtjeve EU direktive o deponijama (Directive 1999/31/EC). Dobijeni rezultati jasno ukazuju kako će se saniranjem deponije kroz povećanje stepena sakupljanja i tretmana procjednih voda, kao i sakupljanja i tretmana deponijskog gasa pozitivno odraziti na karakteristike životne sredine i ljudskog zdravlja. Zuin i dr. (2009) su primjenili LCA na otpad koji se generiše u luci Kopar (Slovenija) da bi identifikovali i kvantifikovali uticaj na životnu sredinu, naročito karcinogenih supstanci, kao što su dioksini te teški metali.

5.1.3. Kombinacija MFA/SFA i LCA

LCA može da se koristi za procjenu da li neka tehnička rješenja dovode do problema u životnoj sredini, i predstavlja dopunu MFA koji identifikuje probleme koji su zasnovani na zakonu održanja mase (Huang i dr., 2012). Bouman i dr. (2000) predlažu kombinaciju SFA i LCA, gdje prethodi SFA da bi analizirala problem, a potom slijedi LCA za evaluaciju na različite uticaje. LCA i SFA se kao alat koriste u studijama procjene učinka proizvodnih procesa na životnu sredinu, industrijskog sektora i nacionalne ekonomije (Antikainen i dr., 2005).

Stevanovic-Carapina i dr. (2013a) navode prednosti korišćenja kombinacije MFA i LCA kao što su:

- moguće je saznati šta se dešava na svakom geografskom nivou, regionalnom i nacionalnom,
- MFA omogućava analizu interakcije kroz regionalne granice,
- moguće je razvijati procese koji se dešavaju unutar nacionalnih granica,
- LCA može procjeniti rezultate dobijene kroz MFA.

5.1.3.1. Primjena MFA/SFA i LCA

Huang i dr. (2012) su primjenili MFA i LCA za procjenu održivog razvoja, gdje je suština održivog razvoja da se pruži socijalni i ekonomski razvoj bez ugrožavanja kvaliteta životne sredine. U ovom slučaju kombinacijom MFA i LCA se postižu daleko bolji rezultati u dizajniranju očuvanja resursa, postizanje daleko preciznijih MFA/SFA rezultata kao što su proračuni antropogenih zaliha i predstavljanje indikatora raspodjele opterećenja životne sredine. Tukker i dr. (1997) su kombinacijom MFA i LCA analizirali tok PVC (polivinil hlorida) u Švedskoj, a Venkatesh i dr. (2009) su

primjenom istih alata analizirali uticaj na životnu sredinu kanalizacionih cijevi počevši od proizvodnje, ugradnje, održavanja i konačnog zbrinjavanja. Andersen i dr. (2011) su primjenili LCI i MFA/SFA na primjeru kompostiranja organskog otpada u domaćinstvima analizirajući sastav i kvalitet komposta te tokove ugljenika, azota i teških metala. Prilikom poređenja šest vrsta kompostiranja organskog otpada, nisu identifikovana veća opterećenja u životnu sredinu, izuzev gasova sa efektom staklene bašte. Kao preporuka za minimizaciju ovih emisija u životnu sredinu predlaže se smanjenje učestalosti miješanja materijala u kompostani. Antikainen i dr. (2005) su predstavili mogućnosti korišćenja LCA i MFA u donošenju odluka u vezi sa održivim korišćenjem obnovljivih izvora prirodnih resursa.

Hischier i dr. (2005) su primjenili MFA i LCA u slučaju povrata i reciklaže elektronskog i elektroničkog otpada u Švajcarskoj. U ovoj studiji se došlo do zaključka da je nemoguće reciklirati ovu vrstu otpada bez ikakvih posljedica u životnu sredinu, i da su daleko bolje koristi u životnu sredinu ako se električni i elektronski otpad reciklira, a ne spaljuje. Kiddee i dr. (2013) su analizirali potencijalne uticaje toksičnih supstanci u elektronskom otpadu na životnu sredinu i zdravlje ljudi, primjenom MFA i LCA. U svom radu navode da je više od 1000 toksičnih supstanci povezano sa elektronskim otpadom kao što su: teški metali (Ba, Be, Cd, Cr, Pb, Hg, Ag,...), stabilne organske materije (POPs) (PCBs, PAHs, PBDD/Fs, PCDD/Fs) i PVC. Wäger i dr. (2011) su korišćenjem MFA i LCA analizirali uticaj na životnu sredinu sakupljanja i sistema iskorišćavanja električnog i elektronskog otpada u Švajcarskoj. Poredili su sakupljanje, iskorišćavanje, spaljivanje i odlaganje ove vrste otpada. Najveći negativan uticaj na životnu sredinu je u slučaju deponovanja, sa preporukom da se plastični dio otpada mora više reciklirati a manje spaljivati.

U literaturi je jako malo radova i studija u kojima je korišćena kombinacija MFA/SFA i LCA kao alata za donošenje odluka u sistemu upravljanja komunalnim

5.2. Materijali

5.2.1. Karakteristike banjalučke regije

Banjalučku regiju sačinjavaju grad Banja Luka i opštine Gradiška, Srbac, Laktaši, Prnjavor, Čelinac, Kotor Varoš i Kneževo (slika 5.3). Banjalučka regija prema popisu iz 2013. godine broji 399 469 stanovnika i 126 811 domaćinstava. Površina koju obuhvata

banjalučka regija iznosi 4 718 km², odnosno 19% teritorije Republike Srpske (RS). U ovoj regiji živi oko 30% stanovništva RS, što predstavlja najgušće naseljenu regiju u odnosu na ostala područja. Prema popisu stanovništva, domaćinstava i stanova iz 2013. godine, RS broji oko 1.3 miliona stanovnika.



Slika 5.3. Prostorna organizacija upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji (Topić i dr., 2013)

Grad Banja Luka je najveća teritorijalna jedinica u ovoj regiji u kojoj živi 50% stanovništva regije, i u njoj se stvara 66% bruto domaćeg proizvoda regije (LEAP, 2009). Banja Luka je drugi grad po veličini u Bosni i Hercegovini (BiH), a najveći grad u RS. Nalazi se u sjeverozapadnom dijelu RS i smještena je na 44° 57" sjeverne geografske širine i 17° 11" istočne geografske dužine. Banja Luka je ujedno i administrativni, privredni i kulturni centar RS.

Područje Banje Luke ima blagu kontinentalnu klimu, sa toplim ljetima i veoma hladnim zimama. Prosječna godišnja temperatura je nešto iznad 10⁰C. Najveća količina padavina je registrovana u toplom dijelu godine, a vrhunac je u mjesecu junu. Srednja godišnja količina padavina je 1039 l/m² (Republički hidrometeorološki zavod, 2012), a evapotranspiracija 700-750 mm (Cowi AS, 2013).

5.2.2. Upravljanje komunalnim otpadom u banjalučkoj regiji

Trenutni način upravljanja i tretmana komunalnim otpadom u banjalučkoj regiji je odlaganje otpada na deponiju. Prema Strategiji upravljanja čvrstim otpadom u BiH (2000), predviđeno je da se sav komunalni otpad iz cijele regije odlaže na banjalučkoj

deponiji, čime je napuštena tadašnja praksa da svaka opština odlaže otpad na svojoj teritoriji.

Otpad se u gradskim naseljima gdje preovlađuje kolektivni tip stanovanja sakuplja u kontejnerima, a u seoskim domaćinstvima svako domaćinstvo ima posudu za sakupljanje otpada. U seoskim naseljima postoje i veliki kontejneri za sakupljanje otpada iz domaćinstava koja nemaju vlastite posude ili je iz nekog razloga nemoguće organizovati odvoz otpada za svako domaćinstvo (nepristupačni tereni naročito u brdskim naseljima, ili putne saobraćajnice koje nisu zadovoljavajućih uslova da bi vozila za sakupljanje otpada mogla da dođu do nekih domaćinstava) ili nema ekonomske računice opsluživati neka domaćinstva.

Organizovano prikupljanje razdvojenog otpada ne postoji u regiji, međutim komunalna preduzeća u Banjoj Luci, Gradišci, Laktašima i Prnjavoru vrše razdvajanje papira, kartona i ambalažnog otpada u svojim preduzećima. Od ukupnog broja domaćinstava u banjalučkoj regiji (126 811), 91 214 domaćinstava ili 71.9% su pokrivena uslugom odvoza otpada (IPZ Uniprojekt TERRA, 2014).

Količina komunalnog otpada u banjalučkoj regiji u 2014. godini je iznosila 95 487 t. Od toga je samo 1 247 t otpada izdvojeno i upućeno na reciklažu, odnosno 1.3% čini odvojeni ambalažni otpad, odnosno papir, karton te PET. Najveći dio otpada, odnosno 94 240 t je odložen na banjalučkoj deponiji (Dep-ot, 2015). Sastav komunalnog otpada koji se odlaže na banjalučkoj deponiji je prikazan u tabeli 5.1 (Euro-inspekt, 2010).

Deponija je 10 km udaljena od centra grada Banja Luke. Otpad se na banjalučkoj deponiji odaže još od davne 1976. godine. Lokacija za ovu deponiju je izabrana iz razloga što su stijene koje ulaze u građu ovog terena nepropusne, odnosno malog koeficijenta vodopropustljivosti ($<10^{-8}$ m/s). Stoga nije postavljena vještačka hidroizolacija dna deponije, nego se otpad odlagao direktno na zemljište (Markić i dr., 2015). Ova deponija je predviđena za odlaganje komunalnog i neopasnog industrijskog otpada. Usljed ratnih dešavanja tokom devedesetih godina i loše socio-ekonomske situacije, ova deponija je postala otvoreno smetljište sa čestom pojavom požara, usljed začepljenosti cjevi za odvod procjednih voda narušena je i stabilnost same deponije. Od 2004. godine se započelo sa sanacijom i ona postaje regionalna deponija i pored grada Banje Luke otpad se dovozi iz još 7 opština regije: Gradiška, Prnjavor, Čelinac, Kotor Varoš, Kneževo, Laktaši i Srbac.

Tabela 5.1. Sastav miješanog komunalnog otpada na banjalučkoj deponiji (Euro-inspekt, 2010)

Frakcija otpada	Sastav otpada (%)
Papir i karton	10.45
Metal	4.22
Aluminijumske limenke	2.03
Plastika	7.34
Guma	1.42
Folija	10.76
PET	5.29
Organski otpad	34.94
Drvo	3.37
Tekstil	0.94
Staklo	5.92
Građevinski otpad	7.23
Animalni otpad	2.54
Elektronski otpad	0.16
Ostalo	3.39
Ukupno	100.00

Trenutna površina deponije iznosi 290 000 m². Prosječna visina slojeva odloženog otpada iznosi oko 20 m, gustina otpada oko 0.67 t/m³. Oko 60% procjednih voda se sakuplja i prečišćava primjenom reverzne osmoze, dok se preostalih 40% ispušta direktno u potok Glogovac, i u zemljište. Godišnja količina procjednih voda iznosi oko 300-350 mm (Bjelić i dr., 2015). Deponijski gas se trenutno direktno ispušta u atmosferu. U toku su radovi na izgradnji degasifikacionog sistema kao i instaliranju baklje, gdje bi se sakupljeni deponijski gasovi tretirali prije ispuštanja u vazduh.

Trenutni način upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji karakterišu sljedeći nedostaci:

- usluge sakupljanja i odvoza otpada u regiji neobuhvaćaju sve stanovnike,
- nepostojanje odvojenog prikupljanja otpada za reciklažu,
- nepostojanje pogona za preradu ili iskorišćavanje otpada,
- nepostojanje iskorišćavanja otpada u svrhu dobijanja energije,
- odlaganje organskog otpada na deponiju, bez prethodnog tretmana,
- odlaganje opasnog otpada zajedno sa komunalnim otpadom (baterije, akumulatori i drugi opasni otpad iz domaćinstva),

- ispuštanje deponijskih gasova direktno u atmosferu, kao i ispuštanje oko 40% neprečišćenih procjednih voda u površinske vode i zemljište,
- stari dio deponije nema vještačku hidroizolaciju, nego se otpad direktno od 1976. godine odlagao na zemljište (glina), i niko sa sigurnošću ne može potvrditi da je cjelokupno zemljište vodonepropusno. Stoga se procjedne vode mogu direktno procjeđivati u podzemne vode i kontaminirati ih,
- u neposrednoj blizini deponije se nalaze stambeni objekti. Ukoliko stanovništvo koristi vodu iz potoka Glogovac ili iz bunara u dvorištima za piće, napajanje stoke ili navodnjavanje, može doći do narušavanja zdravlja ljudi.

Svi ovi nedostaci upućuju na to da banjalučka deponija još uvijek ne ispunjava sve zahtjeve direktive o deponijama (Directive 1999/31/EC) i Uredbe o odlaganju otpada na deponije („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 36/15).

Banjalučka regija je uzeta kao primjer upravljanja komunalnim otpadom u RS/BiH, jer sličnu situaciju odlaganja na neuređenim deponijama, imamo i u drugim opštinama i regijama, te modelovanjem različitih scenarija upravljanja otpadom u ovoj regiji primjenom MFA/SFA i LCA, dobijeni rezultati se mogu primjeniti na druge regije i opštine u RS/BiH.

Rezultati dobijeni istraživanjem su od suštinske važnosti u cilju definisanja odgovarajućih strategija upravljanja komunalnim otpadom u RS/BiH, koje ispunjavaju i implementiraju zahtjeve iz domaćeg i EU zakonodavstva.

5.3. Definisane i razvoj modela i scenarija upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji

5.3.1. Razvoj i definisanje modela upravljanja komunalnim otpadom primjenom MFA/SFA i LCA

Da bi se definisali modeli upravljanja otpadom primjenom kombinacije MFA/SFA i LCA, a u skladu sa naprijed navedenom metodologijom MFA i LCA (ISO 14040, 2006), neophodno je sprovesti sljedeće korake:

- definisanje granica sistema (prostorna i vremenska),
- definisanje funkcionalne jedinice,
- definisanje procesa tretmana otpada,

- definsanje materijala,
- definisanje supstanci.

U radu za potrebe izrade MFA/SFA korišćen je softver STAN koji je razvijen na Univerzitetu za tehnologiju u Beču u skladu sa austrijskim standardom ÖNORM S 2096 (Cencic i Rechberger, 2008). Za modelovanje LCA korišćen je softver EASETECH (skraćenica od Environmental Assessment System for Environmental TECHnologies), odnosno nova verzija softvera EASEWASTE, koji je razvijen na Tehničkom Univerzitetu u Danskoj (Clavreul i dr., 2014). Ovi softveri su inovativni alati za određivanje rješenja u sistemu upravljanja čvrstim otpadom.

5.3.1.1. Definisane granice sistema (prostorna i vremenska)

Prostorna granica je definisana regionalnom organizacijom upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji, odnosno teritorijalnom cjelinom koju čini Grad Banja Luka i sedam opština regije koje odlažu otpad na banjalučku deponiju. Domaćinstva, zanatske radnje, ugostiteljski i trgovinski objekti, te mala i srednja preduzeća su generatori komunalnog otpada.

Za vremensku granicu je uzet vremenski period od jedne godine, da bi se mogli sagledati svi tokovima materijala i supstanci sistema upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji. Ovdje se mora samo napraviti izuzetak a u vezi sa deponijom, jer je deponija specifičan građevinski objekat koji može da prizvodi zagađenja u životnu sredinu i više stotina godina, pa čak i hiljadama godina nakon zatvaranja (Christensen i dr., 2011; Kotovicová i dr., 2011). Stoga je kao vremenska granica za deponiju uzet vremenski period od 100 godina.

5.3.1.2. Definisane funkcionalne jedinice

Funkcionalna jedinica je ukupna količina komunalnog otpada koja je generisana u 2014. godini u banjalučkoj regiji (95 487 t), a podrazumijeva komunalni otpad koji je odložen na deponiju i ambalažni otpad koji je izdvojen u komunalnim preduzećima.

5.3.1.3. Definisane procese tretmana otpada

Procesi koji su definisani u cilju razvijanja modela su:

- deponovanje otpada,
- kompostiranje,
- postrojenje za separaciju otpada i reciklaža (MRF),
- spalionica.

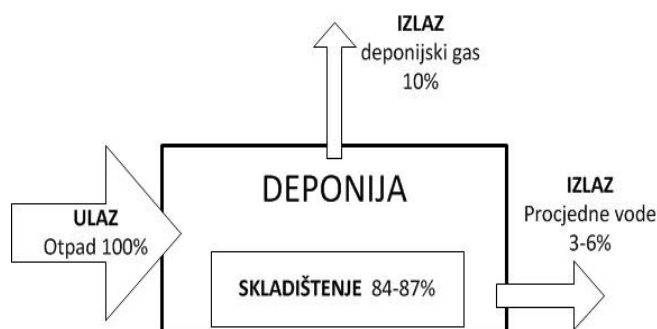
Izuzeci i ograničenja: Za razvijanje modela nisu uzeti u razmatranje parametri koji definišu transport otpada, jer je modelom predviđeno da tehnologije obrade otpada kao što su kompostiranje, MRF postrojenje i spalionica budu smješteni na prostoru sadašnje deponije. Samim tim se podrazumijava da su identični troškovi i emisije sakupljanja i transporta otpada za sve scenarije u odnosu na trenutni sistem upravljanja komunalnim otpadom.

U ovom dijelu su prikazani podaci definisanih procesa tretmana otpada u sistemu upravljanja komunalnim otpadom kao što su:

- transfer koeficijenti svakog definisanog procesa koji predstavljaju najbitniju karakteristiku za izradu MFA/SFA. Transfer koeficijenti su važan element u definisanju MFA/SFA, jer oni opisuju udio supstance za procese tretmana otpada,
- LCI – podaci o ulazima i izlazima materijala i energije.

Deponija

Na slici 5.4 su prikazani svi ulazi i izlazi za deponiju, odnosno maseni bilans. Najveća količina otpada (84-87%) ostaje kao zaliha u tijelu deponije, a procesima razgradnje otpada nastaju deponijski gasovi (10%) i procjedne vode (3-6%).



Slika 5.4. Ulazni i izazni tokovi za deponiju (Fehringner i dr., 1997)

Na osnovu dostupnih literaturnih podataka definisani su transfer koeficijenti za otpad i supstance za deponiju komunalnog otpada za vremenski period od 100 godina (tabela 5.2). Jedino je za deponiju uzet vremenski period od 100 godina, jer deponija može da proizvodi zagađenje u životnu sredinu više stotina, pa čak i hiljadu godina.

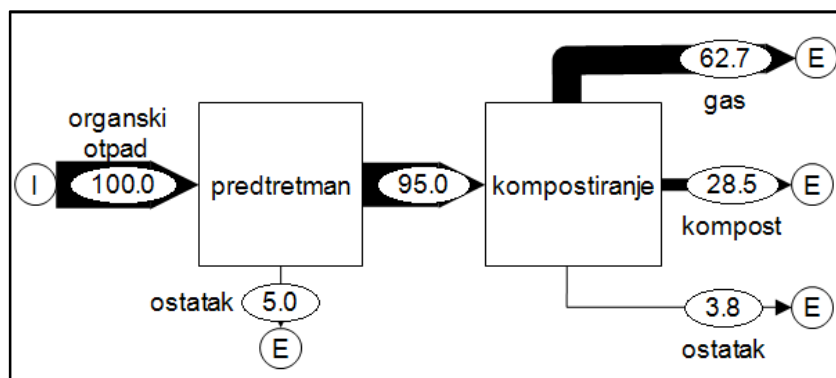
Tabela 5.2. Transfer koeficijenti za deponiju komunalnog otpada za vremenski period od 100 godina (Brunner i dr., 2001)

Supstanca	Maseni udio	C	N	Cd	Hg	Pb
Deponijski gas	0.10	0.457	0.005	0	0.0040	0
Procjedne vode	0.06	0.003	0.375	0.0006	0.0001	0.0002
Tijelo deponije	0.84	0.540	0.620	0.9994	0.9959	0.9998

Pored otpada za funkcionisanje deponije se potrebene sljedeće sirovine: 1.3 l dizel goriva po toni otpada za rad mehanizacije koja učestvuje u operacijama tretmana otpada, 5 kWh električne energije po m³ procjedne vode za njihovo prečišćavanje, 8 kWh električne energije po toni otpada za druge aktivnosti na deponiji, te zemlja, glina i plastični materijali za izgradnju dna deponije i bočno zaptivanje (ukupno 0.5 tona po toni otpada) (Manfredi i dr., 2010).

Kompostiranje

Maseni bilans procesa kompostiranja metodom gomile je prikazan na slici 5.5. Organski otpad prije samog procesa kompostiranja mora proći predtretman gdje se izdvajaju nešistoće kao što su druge frakcije otpada (plastika, metal, staklo), a zatim se upućuje na sitnjenje. Tako usitnjeni organski otpada se slaže na gomile – hrpe visine 1.8 do 2.1 m, a širine 4 do 5 m, gdje se odvija proces kompostiranja uz pomoć mikroorganizama.



Slika 5.5. Maseni bilans za proces kompostiranja metodom gomile (Andersen i dr., 2011; Boldrin i dr., 2011b)

Za modelovanje MFA/SFA procesa kompostiranja neophodni su još transfer koeficijenti koji su predstavljani u tabeli 5.3.

Tabela 5.3. Transfer koeficijenti za kompostiranje (Boldrin i dr., 2011b; Fellner i dr., 2009)

	Maseni udio	C	N	Cd	Hg	Pb
Gas	0.66	0.452	0.75	0	0.00051	0
Kompost	0.30	0.477	0.19	0.99986	0.99949	0.99993
Ostatak – otpadne vode	0.04	0.071	0.06	0.00014	0	0.00007

Za funkcionisanje procesa kompostiranja pored organskog otpada neophodni su sljedeći ulazi i sirovine: dizel gorivo za vozila i mašine 9 l/toni organskog otpada, električna energija 65.5 kWh/toni organskog otpada i voda 0.02 m³/toni organskog otpada (Cadena i dr., 2009).

Postrojenje za separaciju otpada i reciklaža

Odvojeno sakupljeni ambalažni otpad iz domaćinstva se sortira u MRF postrojenju u frakcije (papir, metal, staklo, plastika), sa usvojenim stepenom razdvajanja od 90% za svaku frakciju otpada.

Za rad MRF postrojenja su neophodne ulazne sirovine: električna energija 24 kWh/t, dizel gorivo 0.87 l/t i voda 32 kg/t otpada (Fernández-Nava i dr., 2014; McDougall i dr., 2008).

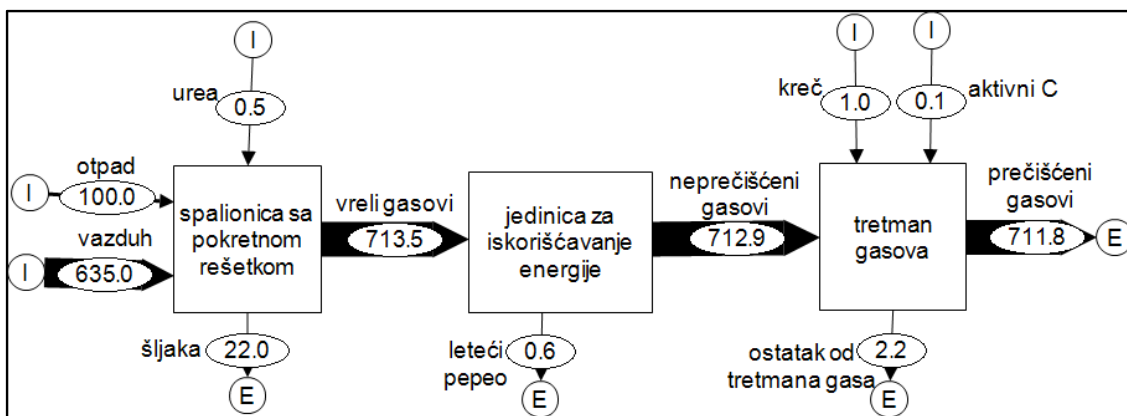
Nakon razdvajanja otpada u MRF postrojenju, razdvojene komponente se presuju i dalje transportuju na reciklažu. Gubitak materijala u reciklažnom procesu prema Bernstadu i dr. (2011) i Giugliano i dr. (2011) za staklo i metal iznosi 11%, za plastiku 25%, a za papir i karton gubitak iznosi 9%.

Spalionica

Miješani komunalni otpad se termički obrađuje u spalionici sa pokretnom rešetkom, a maseni bilansi ove spalionice su predstavljeni na slici 5.6.

Za potrebe definisanja modela, usvojeni su transfer koeficijenti za spalionicu sa pokretnom rešetkom i deponiju pepela i šljake na koju se odlažu ostaci iz spalionice (slika 5.6 i tabele 5.4 i 5.5).

Slično kao i kod deponije komunalnog otpada, i za deponiju pepela i šljake je uzet vremenski period od 100 godina, jer deponija može da produkuje zagađenja više stotina, pa čak i hiljadu godina.



Slika 5.6. Analiza tokova materijala u spalionici sa pokretnom rešetkom (Arena i dr., 2015; Arena i Di Gregorio, 2014)

Tabela 5.4. Transfer koeficijenti za spalionicu (Arena i Di Gregorio, 2013; Brunner i dr., 2003; Dalager i Reimann, 2011; Fehringner i dr., 1997; Mastellone i dr., 2009; Rechberger, 2001)

	Maseni udio	C	N	Cd	Hg	Pb
Gas	0.75	0.982	0.980	0.01	0.01	0.001
Ostaci od tretmana gasova	0.03	0.006	0.006	0.96	0.95	0.449
Šljaka	0.22	0.012	0.014	0.03	0.04	0.550

Za funkcionisanje spalionice potrebna je velika količina vazduha. Azot i kiseonik su u najvećem procentu zastupljeni u vazduhu dok se drugi elementi nalaze u jako malim procentima. Za potrebe definisanja modela uzet je maseni udio azota u vazduhu od 75.51 % (Encyclopedia Britanica, 2015). Pored otpada ulazne sirovine koje su neophodne za funkcionisanje spalionice sa pokretnom rešetkom i tretman otpadnih gasova su: aktivni ugljenik 0.63 kg/t, NH_3 1.5 kg/t, CaCO_3 4 kg/t, Ca(OH)_2 3 kg/t, NaOH 1.1 kg/t, električna energija 65kWh/t i lož ulje 0.5 l/t (Fruergaard i Astrup, 2011; Turconi i dr., 2011).

Tabela 5.5. Transfer koeficijenti za deponiju pepela i šljake na koju se odlazu ostaci iz spalionice komunalnog otpada (100 godina) (Brunner i dr., 2001; Fehringner i dr., 1997)

	C	N	Cd	Pb	Hg
Deponijski gas	0	0	0	0	0
Procjedne vode	0.003	0	0	0	0
Tijelo deponije	0.997	1.00	1.00	1.00	1.00

5.3.1.4. Definisane materijala i supstanci

Predmet istraživanja je komunalni otpad u banjalučkoj regiji, stoga se kao materijal definiše miješani komunalni otpad. Prilikom modelovanja različitih scenarija upravljanja otpadom, pored analize toka miješanog komunalnog otpada, analizirat će se tokovi frakcija otpada kao što su:

- papir (papir i karton),
- staklo,
- metal (metal i aluminijumske limenke),
- plastika (plastika, folija, PET),
- organski otpad (baštenski otpad, otpad sa zelenih površina i iz kuhinje),
- te ostatak komunalnog otpada (guma, drvo, tekstil, građevinski otpad, animalni i elektronski otpad).

Izuzeci: Ostale vrste otpada kao što je medicinski i opasni industrijski otpad nisu predmet ovog istraživanja.

Na osnovu dostupnih literaturnih podataka, definisane su koncentracije supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u komunalnom otpadu i frakcijama otpada (papir, staklo, metal, plastika i organski otpad), koje su usvojene za potrebe modelovanja scenarija u ovom radu (tabela 3.3).

Poznavanje tokova supstanci u sistemu upravljanja otpadom omogućava nam da sagledamo da li neka od analiziranih supstanci predstavlja resurs ako je sadržana u određenim materijalima, ili pak opterećenje u životnu sredinu. Supstance koje će se koristiti u izradi modela su: C, N, Cd, Hg i Pb (tabela 5.6). Sudbina izabranih supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u životnoj sredini i svrsishodnost ciljanih procesa je važno pitanje u evaluaciji sistema upravljanja otpadom u ovoj studiji.

Tabela 5.6. Izbor indikatora supstanci (Baccini i Brunner, 2012)

Element	Indikacija
Ugljenik	Nosilac hemijske energije; nosilac hranljivih materija; nosilac toksičnih supstanci
Azot	U formi NO_3^- kao važna hranljiva materija, dok je kao NO_2 potencijalna zagađujuća materija vazduha
Olovo	Oblici kao Pb^{2+} vrlo stabilni kompleksi sa prirodnim organskim ligandima
Živa	U formi organometalnih i toksičnih jedinjenja u redukcionim uslovima
Kadmijum	Kao aditiv u mnogim proizvodima široke potrošnje; neesencijalni element; toksičan u visokim koncentracijama

5.3.1.5. Izbor kategorija uticaja

Kategorije uticaja se mogu podijeliti u dvije grupe:

- standardne kategorije uticaja i
- kategorije uticaja na ljudsko zdravlje.

Standardne kategorije uticaja koje će se analizirati su: globalno zagrijavanje (*eng. Global Warming - GW*), ekotoksičnost (*eng. Ecotoxicity - ECT*), formiranje fotohemijskog ozona (*eng. Photo-chemical Ozone Formation - POF*), eutrofikacija (*eng. Aquatic Eutrophication - AE*), ekotoksičnost u vodi (hronična) (*eng. Ecotoxicity water, chronical - ETwc*), acidifikacija (*eng. Acidification - AC*), obogaćivanje hranljivim materijama (*eng. Nutrient Enrichment - NE*).

A od kategorija uticaja na ljudsko zdravlje odabrane su: toksičnost na čovjeka putem vode (*eng. Human Toxicity via water - HTw*), toksičnost na čovjeka putem vazduha (*eng. Human Toxicity via air - HTa*), toksičnost na čovjeka putem zemljišta (*eng. Human Toxicity via soil - HTs*), toksičnost na čovjeka-karcionogena (*eng. Human Toxicity, cancer effect - HuT-C*), toksičnost na čovjeka-nekarcinogena (*eng. Human Toxicity, no cancer effect - HuT NC*) (tabela 5.7). Kategorije uticaja su bazirane na sljedećim metodama LCIA: IPCC (IPCC, 2007), EDIP (Laurent i dr., 2011b; Wenzel i dr., 1997), USEtox (Laurent i dr., 2011a) i ReCiPe metodu (Owsianiak i dr., 2014; Starostina i dr., 2014).

Normalizacione vrijednosti se koriste da bi se pretvorile pojedinačne kategorije uticaja u ekvivalent po čovjeku (*eng. Person Equivalence - PE*). PE predstavlja prosječan godišnji uticaj, odnosno aktivnost jedne osobe (hrana, stanovanje, prevoz,...) u datom području (Kirkeby i dr., 2006). Npr. normalizacioni faktor za globalno zagrijavanje (GW) je 7 730 kg CO₂-eq po osobi godišnje. U tabeli 5.8 su predstavljene normalizacione vrijednosti za standardne kategorije uticaja i kategorije uticaja na ljudsko zdravlje.

Tabela 5.7. Standardne kategorije uticaja i kategorije uticaja na ljudsko zdravlje

Kategorija uticaja	Opis
Standardne kategorije uticaja	
Globalno zagrijavanje GW	Klimatske promjene se mogu definisati kao promjene globalne temperature izazvane oslobađanjem gasova se efektom "staklene bašte " nastalih kao proizvod ljudske aktivnosti. Supstance koje utiču na GW su: CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCa i SF ₆ .
Formiranje fotohemijskog ozona POF	Ozon je zaštita u stratosferi, ali u prizemnim slojevima je toksičan za ljude u visokim koncentracijama. Formira se od strane: NMVOC, NO _x (NO ₂) u prisustvu toplote i sunčeve svjetlosti.
Eutrofikacija AE	Eutrofikacija je nagomilavanje hranljivih materija u ekosistemu koje dovode do abnormalne produktivnosti. Ovo uzrokuje pretjeran rast biljaka kao što su alge u rijekama koje izazivaju smanjenje kvaliteta vode i životinjskih populacija. Emisije N i P u vodu dovode do eutrofikacije.
Ekotoksičnost ETwc ECT	Ekotoksičnost se izražava kao kritična zapremina pojedinih medija potrebnih da apsorbuje određenu emisiju. ETwc predstavlja koncentrisanje organskih materija, metala, POP i pesticida u vodi (m ³ vode/g supstance), dok na ECT utiču teški metali (Zn, Cu) i pesticidi.
Acidifikacija AC	Gasovi kao SO ₂ reaguju sa vodom u atmosferi i grade „kisele kiše“. Supstance koje utiču na AC su: SO ₂ , NO _x , SO _x , NH ₃ . Acidifikacioni potencijal se izražava u SO ₂ -ekvivalentu (SO ₂ -eq.)
Obogaćivanje hranljivim materijama NE	NE se definiše kao uticaj od strane čovjeka produkovanog azota i fosfora na vodene ili terestrične sisteme. Ukupni potencijal NE izražava se kao ekvivalentna emisija od referentne supstance NO ₃ -.
Kategorije uticaja na ljudsko zdravlje	
Toksičnost na čovjeka HTa HTw HTs HuT-C HuT NC	Toksičnost na čovjeka se izražava kao zapremina svih emisija potencijalnih supstanci koje utiču na ljudsko zdravlje. Supstance kao što su teški metali, VOC, PAHs, POP, PM10, NO _x , SO _x se koncentruju u tri medijuma voda (m ³ vode/g supstance), vazduh (m ³ vazduha/g supstance) i zemljište (m ³ zemljišta/g supstance) i utiču na HTa, HTw, i HTs. Supstance koje utiču na HuT-C su Cr (u zemljište i vazduh), formaldehid, dok na HuT NC dominantan je uticaj Zn (vazduh, zemljište) i Hg (vazduh).

Tabela 5.8. Kategorije uticaja i normalizacione vrijednosti (Hauschild i Potting, 2005; IPCC, 2007; Laurent i dr., 2011a; Laurent i dr., 2011b; Zhao i Deng, 2014)

Kategorija uticaja	Metoda	Jedinica	Normalizaciona vrijednost (PE)
Globalno zagrijavanje GW	IPCC 2007	kg CO ₂ -eq.	7 730
Ekotoksičnost ECT	USEtox	CTUe	5 060
Formiranje fotohemijskog ozona POF	ReCiPe	kg NMVOC-eq.	52.9
Eutrofikacija AE	EDIP 2003	kg NO ₃ ⁻	45.9
Ekotoksičnost u vodi (hronična) ETwc	EDIP 2003	m ³ vode	3.66E+06
Acidifikacija AC	EDIP 2003	kg SO ₂ -eq.	393
Obogaćivanje hranljivim materijama NE	EDIP 1997	kg NO ₃ -eq.	45.9
Toksičnost na čovjeka, karcinogena HT-C	USEtox	CTUh	3.25E-05
Toksičnost na čovjeka, nekarcinogena HuT NC	USEtox	CTUh	8.14E-04
Toksičnost na čovjeka putem vazduha HTa	EDIP 1997	m ³ vazduha	4.73E+08
Toksičnost na čovjeka putem vode HTw	EDIP 1997	m ³ vode	4.72E+04
Toksičnost na čovjeka putem zemljišta HTs	EDIP 1997	m ³ zemljišta	8 006

5.3.2. Modelovanje scenarija za upravljanje otpadom u banjalučkoj regiji

Za potrebe doktorske teze analizirana su četiri scenarija upravljanja komunalnim otpadom:

- scenario A (status quo) – odlaganje otpada na neuređenu deponiju,
- scenario B – odvojeno sakupljanje ambalažnog i organskog otpada na mjestu nastanka u domaćinstvima. Odvojeno sakupljeni ambalažni otpad se potom razdvaja na frakcije (papir, metal, staklo, plastika) a potom reciklira, dok se odvojeno sakupljeni organski otpad prerađuje u kompost. Ostatak otpada se odlaže na deponiju,
- scenario C – sav sakupljeni komunalni otpad se spaljuje,
- scenario D – odvojeno sakupljeni ambalažni otpad se razdvaja na frakcije, koje se recikliraju, a ostatak komunalnog otpada se spaljuje u spalionici.

Kao osnova za modelovanje scenarija poslužili su postavljeni zahtjevi zakonodavstva RS/BiH i EU, te lokalni ekološki akcioni plan za grad Banja Luka (LEAP, 2015):

- sanacija postojeće deponije,

- uvođenje primarne selekcije na mjestu nastanka,
- smanjivanje količine organskog otpada koji se odlaže na deponiju,
- iskorišćavanje otpada za dobijanje energije.

Osnovni zahtjev je da modelovani scenariji upravljanja otpadom ispune zahtjeve za očuvanjem životne sredine i zdravlja ljudi.

Na osnovu dostupnih literaturnih podataka definisane su koncentracije supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u komunalnom čvrstom otpadu i definisanim frakcijama otpada (papir, plastika, metal, staklo i organski) koje su usvojene za potrebe modelovanja.

Za modelovanja scenarija korišćen je sastav otpada (tabela 5.1) i količina otpada koja je generisana u banjalučkoj regiji u 2014. godini (95 487 t). Sastav otpada je analiziran 2010. godine a količine otpada za definisanje modela su iz 2014. godine uz pretpostavku da nije bilo promjena u sastavu otpada u ovoj regiji.

5.3.2.1. Scenario A - Status Quo

Trenutni sistem upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji je detaljnije opisan u dijelu koji se odnosi na upravljanje komunalnim otpadom u banjalučkoj regiji (poglavlje 5.2.2). Domaćinstva, zanatske radnje, ugostiteljski i trgovinski objekti, te mala i srednja preduzeća predstavljaju generatore otpada. Količina komunalnog otpada u banjalučkoj regiji u 2014. godini je iznosila 95 487 t. Od toga je samo 1 247 t otpada izdvojeno i upućeno na reciklažu, odnosno 1.3% čini odvojeni ambalažni otpad odnosno papir, karton te PET. Najveća količina komunalnog otpada se odlaže na deponiju.

Postojeća banjalučka deponija ne ispunjava sve kriterijume koji definišu sanitarni način odlaganja otpada koji je uređen EU direktivom o deponijama (Directive 1999/31/EC) i Uredbom o odlaganju otpada na deponije u Republici Srpskoj („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 36/15). Sakupljanje i tretman procjednih voda i deponijskog gasa još uvijek ne ispunjava sve zahtjeve koji su definisani u navedenoj pravnoj legislativi. Deponijski gasovi se ispuštaju direktno u atmosferu bez tretmana sa površine i iz tijela deponije sistemom perforiranih cijevi. Postrojenje za tretman procjednih voda prečišćava samo procjedne vode sa sanitarne kasete, dok se procjedne vode sa starog dijela deponije još uvijek ispuštaju direktno u površinske vode i zemljište.

Karakteristike banjalučke deponije koje su uzete za model su:

- stepena sakupljanja i prečišćavanja procjednih voda je 60%,
- gustina odloženog otpada je 0.67 t/m^3 ,
- visina slojeva odloženog otpada su 20 m,
- ulazni podaci za funkcionisanje deponije sa transfer koeficijentima se nalaze u poglavlju 5.3.1.3.

5.3.2.2. Scenario B

Scenario B je razvijen u skladu sa direktivom o ambalaži i ambalažnom otpadu (Directive 94/62/EC), Uredbi o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 36/15) i Pravilniku o smanjenju ambalažnog otpada („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 46/12), te lokalnim akcionim planom za Grad Banja Luku (LEAP, 2015). U ovom scenariju modelovan je sistem upravljanja otpadom za količinu otpada koja je generisana u banjalučkoj regiji u 2014. godini. Predviđeno je da se otpad razdvaja na mjestu nastanka u odvojene tri posude (kese) i to:

- ambalažni otpad (papir, plastika, metal i staklo),
- organski otpad (kuhinjski, baštenski i otpad sa zelenih površina),
- te ostatak otpada.

Odvojeni ambalažni otpad bi se upućivao na MRF postrojenje, gdje bi se otpad razdvajao na frakcije: papir, plastika, metal i staklo, a potom ove razdvojene frakcije reciklirale. Odvojeni organski otpad iz domaćinstava nakon transporta i predtretmana tj. izdvajanja nečistoća bi se usitnjavao, a potom kompostirao procesom u hrpama. Dobijeni kompost bi se koristio u poljoprivredi.

Defisane su sljedeće karakteristike deponije:

- stepen sakupljanja i prečišćavanja procjednih voda bi iznosio 80%,
- stepen sakupljanja deponijskog gasa 70%. Sakupljeni deponijski gas u ovom scenariju bi se spaljivao na baklji,
- gustina odloženog otpada 0.82 t/m^3 ,
- ulazni podaci za funkcionisanje deponije sa transfer koeficijentima se nalaze u poglavlju 5.3.1.3.

Poboljšane performanse deponije u odnosu na prethodni scenario se ogleda u tome što bi se u kratkom vremenskom periodu uspostavio sistem degasifikacije i tretmana

gasa, te unapređenje sistema sakupljanja procjednih voda. Ovakva modelovana deponija ispunjava sve kriterijume koji definišu sanitarni način odlaganja otpada koji je uređen direktivom o deponijama (Directive 1999/31/EC) i Uredbom o odlaganju otpada na deponije u Republici Srpskoj („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 36/15).

U okviru ovog scenarija analizirat će se tri podscenarija:

- scenario B1 – 25% ambalažnog otpada se odvojeno sakuplja i vrši razdvajanje u MRF postrojenju, te dalje reciklira, 25% odvojeno sakupljenog organskog otpada se koristi za dobijanje komposta, dok se preostali dio komunalnog otpada, kao i ostatak sa MRF postrojenja, reciklaže i predtretmana organskog otpada deponuje,
- scenario B2 – 35% ambalažnog otpada se odvojeno sakuplja i vrši razdvajanje u MRF postrojenju, te dalje reciklira, 50% odvojeno sakupljenog organskog otpada se koristi za dobijanje komposta, dok se preostali dio komunalnog otpada, kao i ostatak sa MRF postrojenja, reciklaže i predtretmana organskog otpada deponuje,
- scenario B3 – 55% ambalažnog otpada se odvojeno sakuplja i vrši razdvajanje u MRF postrojenju, te dalje reciklira, 65% odvojeno sakupljenog organskog otpada se koristi za dobijanje komposta, dok se preostali dio komunalnog otpada, kao i ostatak sa MRF postrojenja, reciklaže i predtretmana organskog otpada deponuje.

U tabelama 5.9 i 5.10 su predstavljene količine ambalažnog otpada po frakcijama u zavisnosti od stepena odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada i količine odvojeno sakupljenog organskog otpada za navedene scenarije.

Tabela 5.9. Količine ambalažnog otpada koje se izdvoje u scenarijima B1-B3

		papir	plastika	metal	staklo
ukupno u komunalnom otpadu (t)		10000	22000	6000	5500
25% odvojenog ambalažnog otpada	% odvajanje po frakcijama	35%	21%	25%	30%
	odvojeno sakupljeno (t)	3500	4900	1500	1500
	ostatak (t)	6500	17100	4500	4000
35% odvojenog ambalažnog otpada	% odvajanje po frakcijama	47%	29%	33%	40%
	odvojeno sakupljeno (t)	4600	6500	2000	2200
	ostatak (t)	5400	15500	4000	3300
55% odvojenog ambalažnog otpada	% odvajanje po frakcijama	65%	60%	60%	90%
	odvojeno sakupljeno (t)	6500	13500	3500	5000
	ostatak (t)	3500	8500	2500	500

Tabela 5.10. Količina odvojeno sakupljenog organskog otpada u scenarijima B1-B3

Stepen sakupljanja organskog otpada	25%	50%	65%	Ukupno organskog otpada u komunalnom otpadu
Količina sakupljenog organskog otpada (t)	8325	16650	21645	33300

Podaci sa transfer koeficijentima za kompostiranje organskog otpada, i ulazni podaci o sirovinama i utrošku energije za funkcionisanje kompostiranja metodom gomile i MRF postrojenja su definisani u poglavlju 5.3.1.3.

5.3.2.3. Scenario C

Ovaj scenario je razvijen u skladu sa direktivom o deponijama (Directive 1999/31/EC) koje imaju za cilj smanjivanje količine otpada koji se odlaže na deponije i iskorišćavanje otpada za dobijanje energije (Directive 2000/76/EC). Prema podacima o toku otpada iz 2014. godine miješani komunalni otpad bi se u ovom modelovanom scenariju spaljivao u spalionici. Ovaj scenario podrazumijeva spaljivanje miješanog komunalnog otpada u spalionici sa pokretnim rešetkama u cilju dobijanja toplotne (73%) i električne energije (23%). Otpadni gasovi iz spalionice bi se tretirali pomoću kreča, aktivnog ugljena, NaOH i NH₃, a ostatak od tretmana gasova, leteći pepeo kao i šljaka bi se odlagali na deponiju pepela i šljake.

Ostatak od izdvajanja korisnih komponenti i reciklaže papira i plastike bi se odlagao na deponiju komunalnog otpada. Karakteristike ove deponije sa ulaznim parametrima su definisani u okviru scenarija B.

Podaci koji su neophodni za modelovanje spalionice i deponije pepela i šljake, odnosno transfer koeficijenti i ulazni podaci energije i sirovina za ova dva procesa se nalaze u poglavlju 5.3.1.3.

5.3.2.4. Scenario D

U ovom scenariju modelovan je sistem upravljanja otpadom za količinu otpada koja je generisana u banjalučkoj regiji u 2014. godini, a predviđeno je da se otpad razdvaja na mjestu nastanka u odvojene dvije posude (kese) i to:

- ambalažni otpad (papir, plastika, metal i staklo),
- te ostatak otpada.

Scenario D je razvijen u skladu sa EU direktivama koje imaju za cilj smanjivanje količine otpada koji se odlaze na deponije (Directive 1999/31/EC) i iskorišćavanje otpada za dobijanje energije (Directive 2000/76/EC), te EU direktivom o ambalaži i ambalažnom otpadu, (Directive 94/62/EC), Uredbi o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 36/15) i Pravilniku o smanjenju ambalažnog otpada („Službeni glasnik Republike Srpske“, broj 46/12).

U okviru ovog scenarija analizirat će se tri podscenarija:

- scenario D1 - 25% ambalažnog otpada se odvojeno sakupi i razdvoji po frakcijama u MRF postrojenju a potom reciklira, a preostali dio komunalnog otpada se spaljuje,
- scenario D2 - 35% ambalažnog otpada se odvojeno sakupi i razdvoji MRF postrojenju, a preostali dio komunalnog otpada se spaljuje,
- scenario D3 - 55% ambalažnog otpada se odvojeno sakupi i razdvoji MRF postrojenju, a preostali dio komunalnog otpada se spaljuje.

Ostatak koji se izdvoji u MRF postrojenju, i pri procesu reciklaže se deponuje na deponiju komunalnog otpada sa karakteristikama koje su definisane u scenariju B i u poglavlju 5.3.1.3. Količine ambalažnog otpada koje se izdvoje za scenarije D1-D3 su prikazane u tabeli 5.9.

Ostatak komunalnog otpada iz kojeg je prethodno izdvojen ambalažni otpad bi spaljivao u spalionici sa pokretnim rešetkama u cilju dobijanja toplotne (73%) i električne energije (23%). Otpadni gasovi iz spalionice bi se tretirali pomoću kreča, aktivnog ugljena, NaOH i NH₃, a ostatak od tretmana gasova, leteći pepeo kao i šljaka bi se odlagali na deponiju pepela i šljake.

Podaci koji su neophodni za modelovanje spalionice i deponije pepela i šljake, odnosno transfer koeficijenti i ulazni podaci energije i sirovina za ova dva procesa se nalaze u poglavlju 5.3.1.3.

6. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

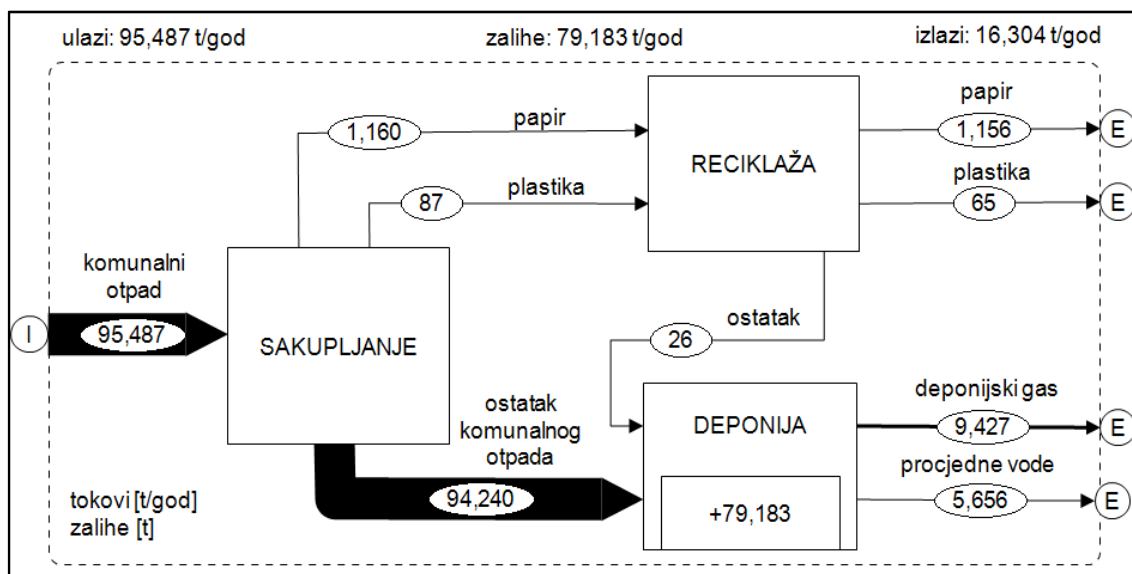
Na osnovu sprovedene MFA/SFA i LCA analize za modelovane scenarije upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji u nastavku su predstavljeni rezultati MFA/SFA i LCA.

6.1. Rezultati MFA/SFA

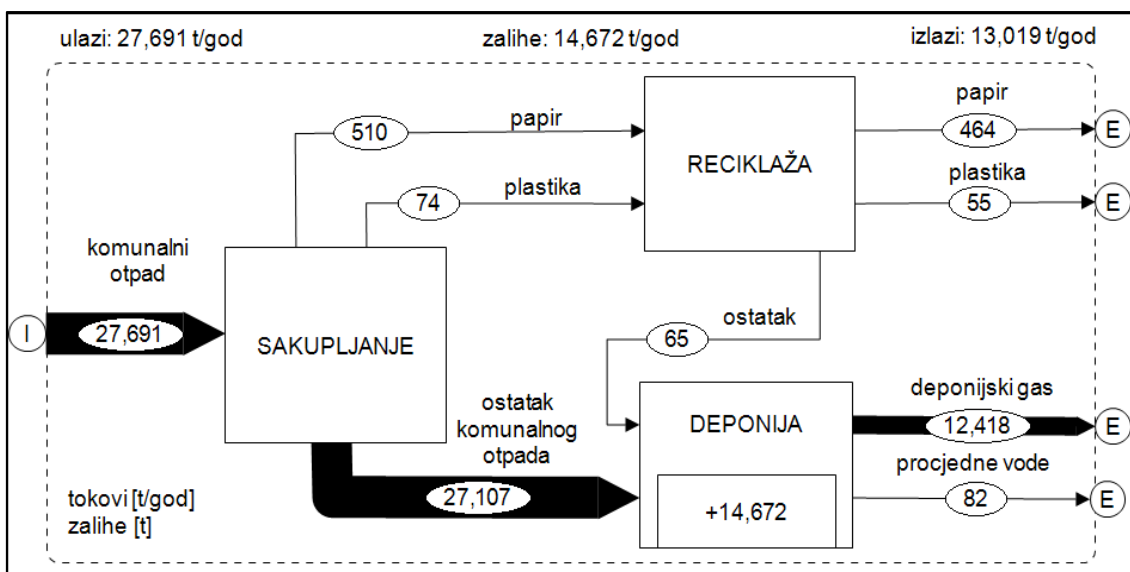
6.1.1. Scenario A - Status Quo

Na grafiku 6.1 prikazana je analiza tokova materijala trenutnog sistema upravljanja komunalnim otpadom u banjalučkoj regiji. Analizom tokova materijala može se zaključiti da najveći dio otpada završava kao zaliha unutar deponije (82.93%). Emisijama u vazduh putem deponijskog gasa se izdvoji 9.87% otpada, a putem procjednih voda u hidrosferu i litosferu 5.92% otpada. U nove proizvode se preradi 1 221 t otpada, odnosno samo 1.28%. Na narednim graficima su prikazani tokovi ugljenika, azota, kadmijuma, žive i olova.

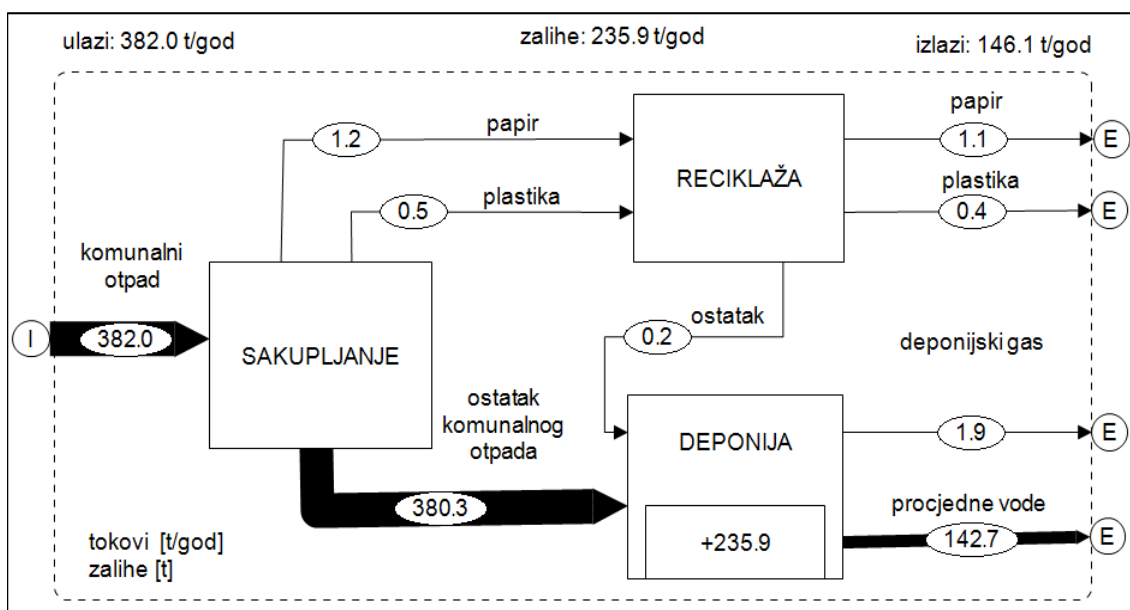
Tok ugljenika u trenutnom sistemu upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji je prikazan na grafiku 6.2. 52.98% ugljenika iz otpada ostaje trajno uskladišten u tijelu deponije, a 44.84% ugljenika iz otpada se transformiše u deponijske gasove, a samo 0.3% u procjedne vode. 1.87% ugljenika iz otpada se ponovo vraća u nove proizvode.



Grafik 6.1. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju A



Grafik 6.2. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju A



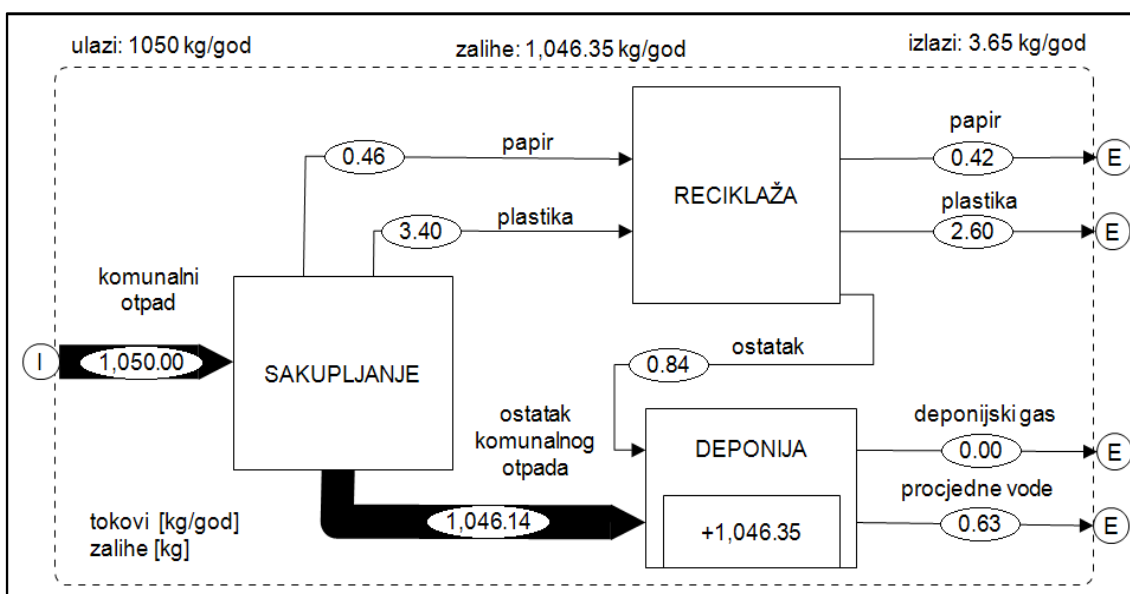
Grafik 6.3. Analiza toka azota (N) u scenariju A

Na grafiku 6.3 je prikazan tok azota. Navjeći dio azota iz otpada ostaje kao zaliha u deponiji (61.75%) i emituje se putem procjednih voda (37.35%) u površinske, podzemne vode i zemljište. Samo mali udio 0.4 % azota iz otpada se ponovo vraća putem reciklaže u nove proizvode. Putem deponijskog gasa se izdvoji 0.5% azota iz komunalnog otpada.

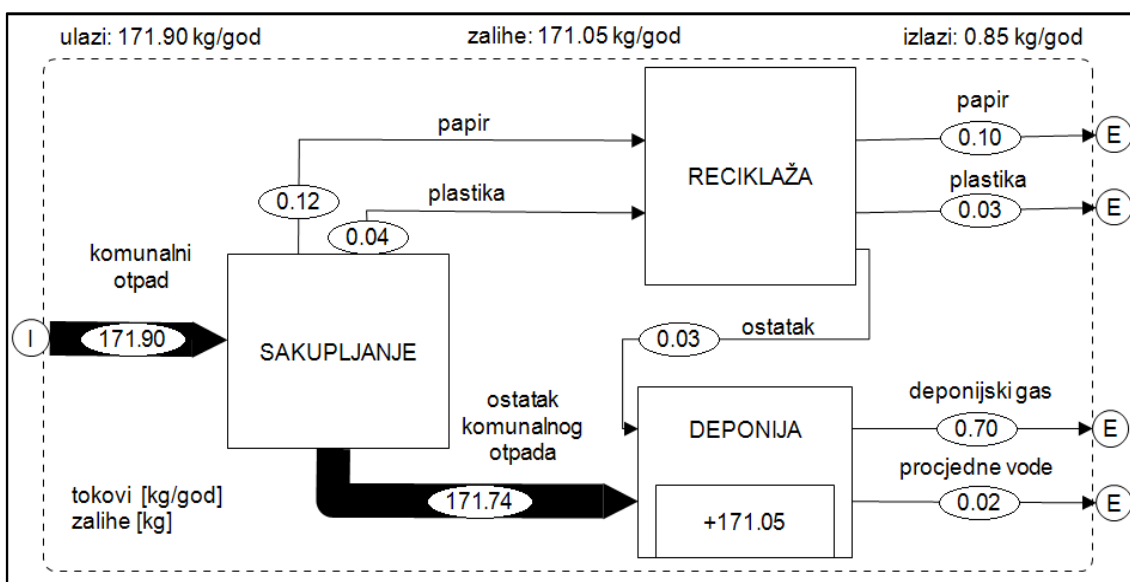
Analiza toka kadmijuma u upravljanju otpadom u scenariju A je prikazana na grafiku 6.4. Najveći udio kadmijuma iz komunalnog otpada ostaje kao zaliha, odnosno uskladišten u tijelu deponije (99.65%). Samo 0.06% kadmijuma iz otpada se

transformiše u procjedne vode, dok se svega 0.29% ponovo vraća u sirovine odnosno nove proizvode putem reciklaže.

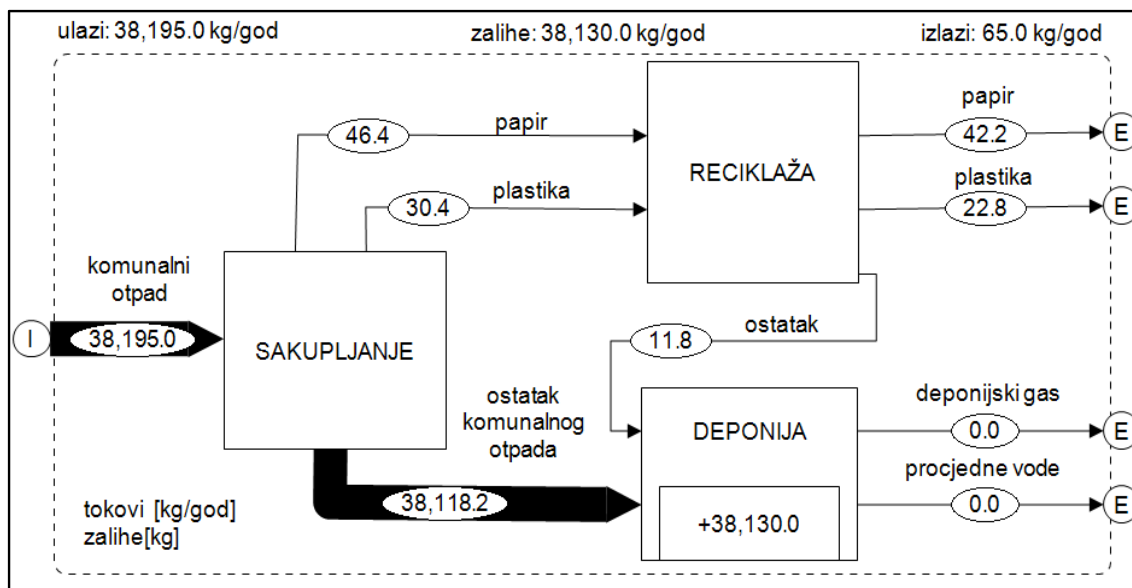
Na grafiku 6.5 je prikazan tok žive u trenutnom sistemu upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji. 99.51% žive iz komunalnog otpada ostaje uskladišteno u tijelu deponije. Za razliku od kadmijuma koji se ne nalazi u deponijskom gasu 0.4% žive iz otpada odlazi u deponijski gas, a 0.01% u procjedne vode. Putem sakupljene papirne i plastične ambalaže 0.08% žive se prerađuje u nove proizvode.



Grafik 6.4. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju A



Grafik 6.5. Analiza toka žive (Hg) u scenariju A



Grafik 6.6. Analiza toka olova (Pb) u scenariju A

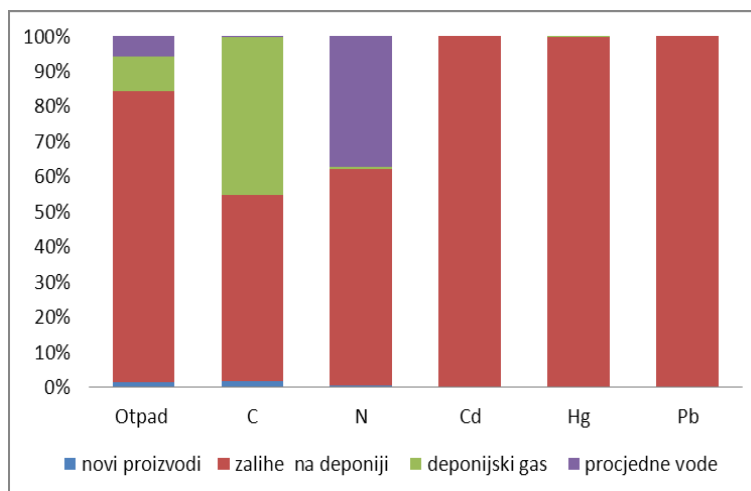
Analizom toka olova u scenariju A (grafik 6.6), zaključuje se da 99.83% olova završi kao zaliha u tijelu deponije, a samo 0.17% u novim proizvodima.

Iz sumarnog dijagrama MFA i SFA za scenarij A (grafik 6.7), se može uočiti da najveći dio otpada, kao i analiziranih supstanci završi kao zaliha u tijelu deponije. To je naročito vidljivo za teške metale (Cd, Hg, Pb) koji ostaju zarobljeni u tijelu deponije. Za ove teške metale, prema klasama pogodnosti odgovarajućih odredišta (tabela 3.4), deponija komunalnog otpada predstavlja uslovno-odgovarajuće odredište, izlazi teških metala u životnu sredinu su spori i ne mogu naškoditi kapacitetu životne sredine odnosno kvalitetu površinskih i podzemnih voda kao i zemljištu.

52.98% ugljenika i 61.75% azota ostaje uskladišteno u tijelu deponije, a deponija komunalnog otpada je neodgovarajuće odredište i za ugljenik i za azot. U atmosferu odlazi 44.84% ugljenika putem deponijskog gasa, a atmosfera je odgovarajuće odredište za ugljenik, ali u formi CO₂. U deponijskom gasu CH₄ je zastupljen sa 50%, a CO₂ sa 45% (Themelis i Ulloa, 2007), što dovodi do zaključka da u atmosferu odlazi i ugljenik u formi CH₄, a atmosfera je neodgovarajuće odredište za ovaj polutant.

Atmosfera je uslovno-odgovarajuće odredište za azot, a u atmosferu se putem deponijskog gasa izdvoji samo 0.5% azota. 37.35% azota se emituje putem procjednih voda u površinske vode, a hidrosfera je neodgovarajuće odredište za azot, naročito u formi nitrata.

Za ugljenik i azot odgovarajuće odredište su novi proizvodi, a putem reciklaže u nove proizvode odlazi samo 1.87% ugljenika i 0.4% azota.



Grafik 6.7. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju A

6.1.2. Scenario B

U okviru ovog scenarija modelovana su tri podscenarija B1, B2 i B3.

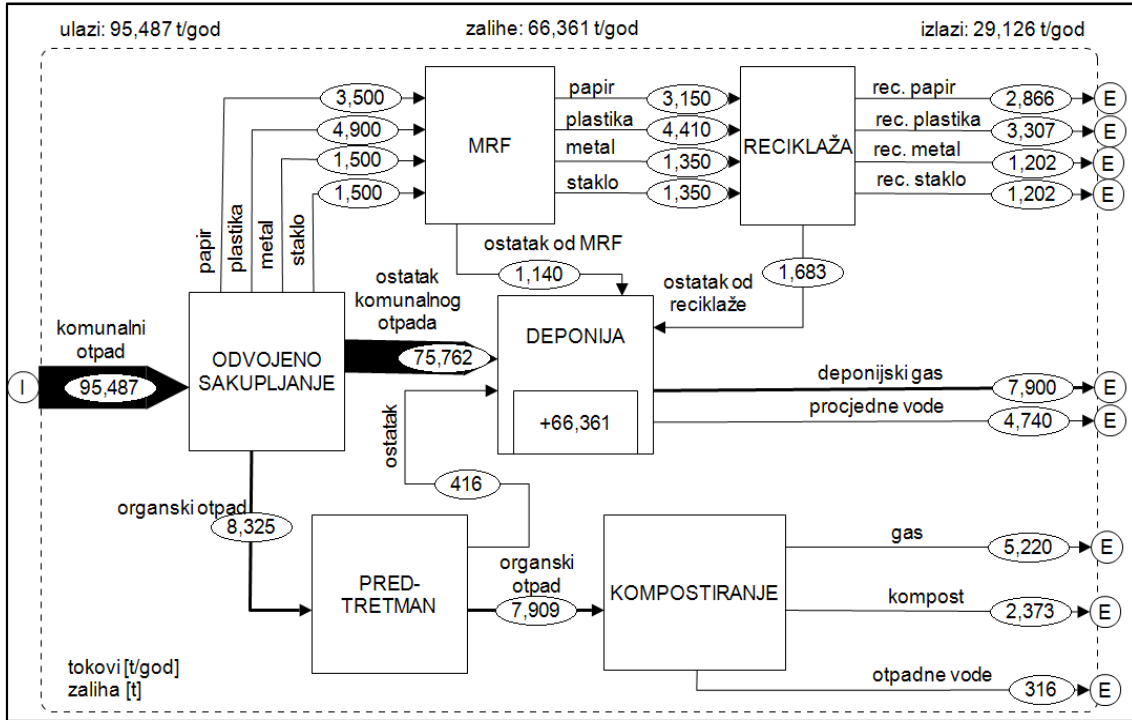
6.1.2.1. Scenario B1

Na grafiku 6.8 prikazana je analiza tokova materijala za scenarij B1. U ovom scenariju najveća količina otpada ostaje kao zaliha u tijelu deponije (69.50%). 8.90% otpada se vraća u nove proizvode putem reciklaže i 2.49% otpada se transformiše u kompost. Dio otpada koji se razgrađuje deponijskim procesima se izdvaja kao deponijski gas (8.3%), a dio kao procjedne vode (5.00%). Kompostiranjem organskog otpada izdvaja se 5.47% gasa, a 0.33% otpadne vode.

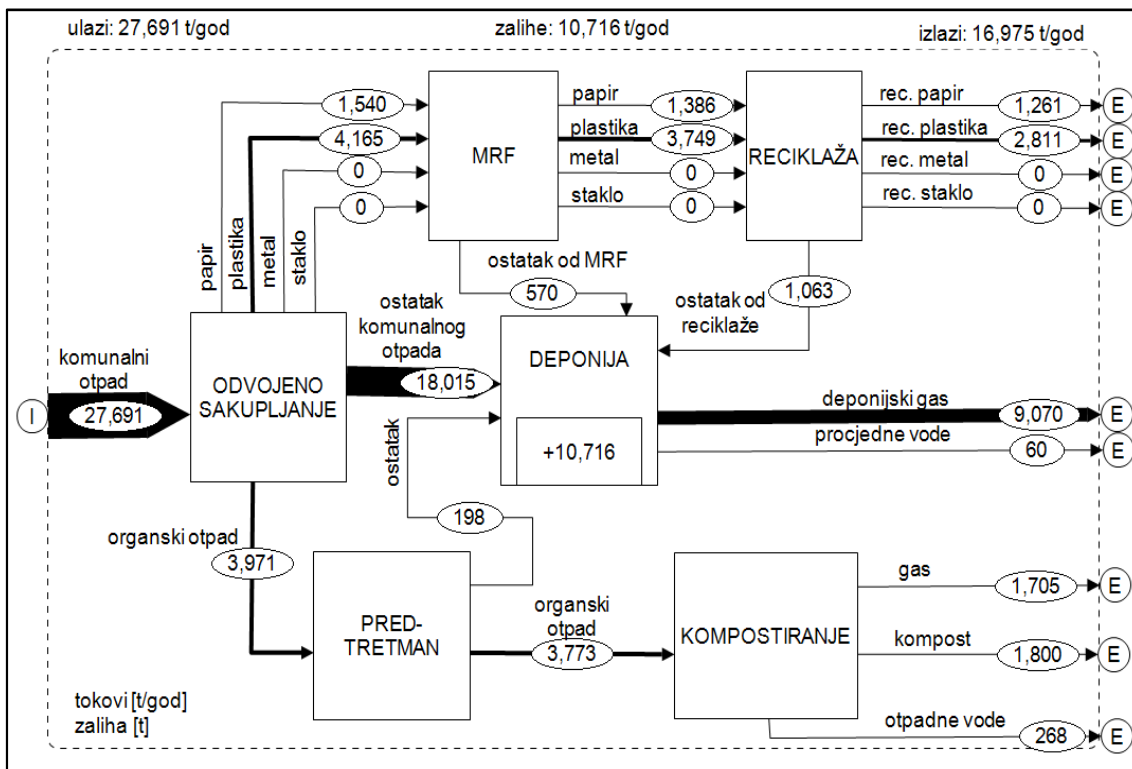
Na narednim graficima su prikazani dobijeni rezultati modelovanja za supstance (C, N, Cd, Hg, Pb). Analizom toka ugljenika u scenariju B1 (grafik 6.9) se može uočiti da najveća količina ugljenika ostaje uskladištena kao zaliha u tijelu deponije (38.70%), dok se 32.75% ugljenika iz otpada transformiše deponijskim procesima u gas. 14.71% ugljenika iz komunalnog otpada se vraća u proizvode, a 6.5% ugljenika odlazi u kompost. Procesom kompostiranja 6.16% ugljenika iz otpada odlazi kao gas. Najmanje količine ugljenika su prisutne u procjednim deponijskim vodama (0.21%) i otpadnim vodama iz procesa kompostiranja (0.97%).

Na grafiku 6.10 je prikazan tok azota u sistemu upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji za scenarij B1. Najveće količine azota iz otpada ostaju kao zaliha u deponiji (48.59%) i u procjednim vodama sa deponije (29.32%). Dio azota iz otpada se

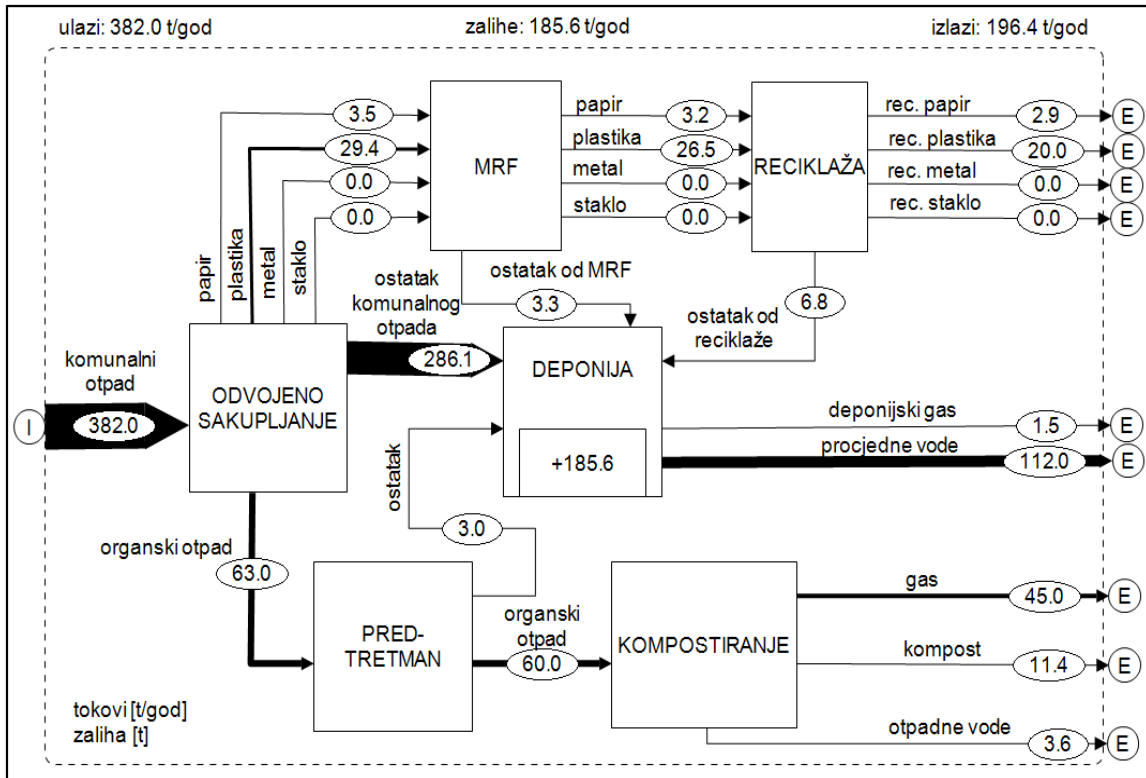
procesima reciklaže vraća u nove proizvode (5.99%), dok se 11.78% azota procesom kompostiranja transformiše u gas. Najmanje količine azota su u deponijskom gasu (0.39%), kompostu (2.99%) i otpadnim vodama iz procesa kompostiranja (0.94%).



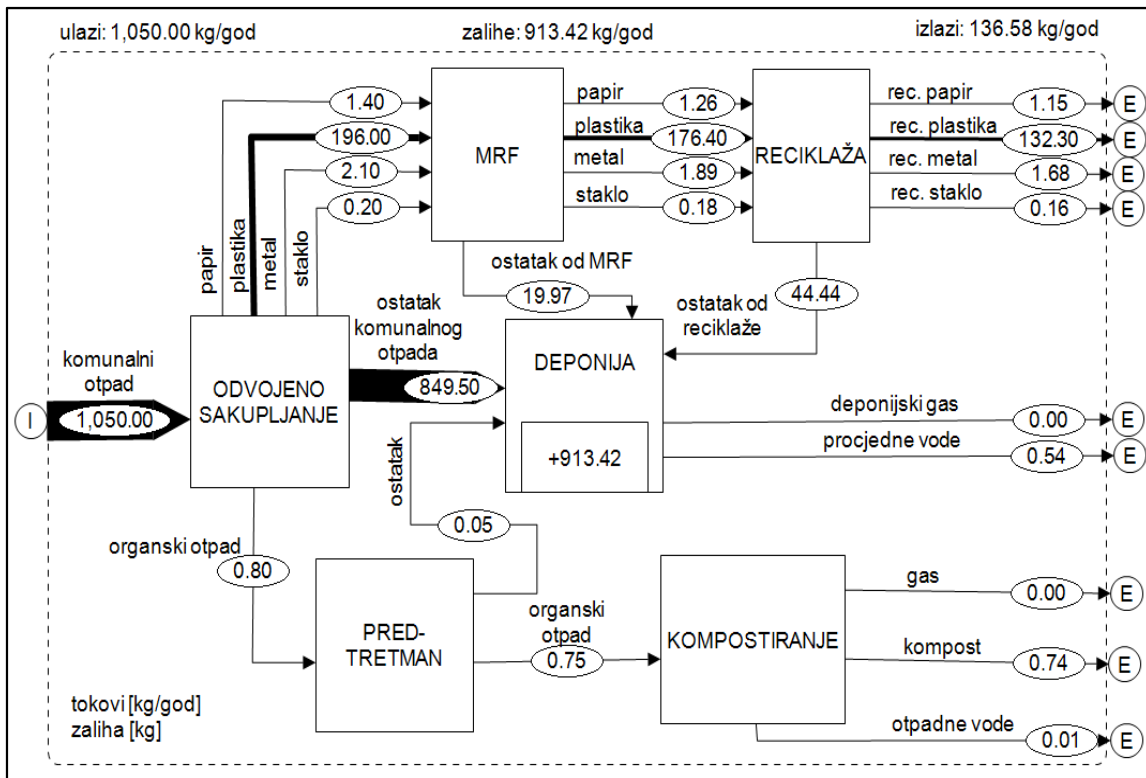
Grafik 6.8. Analiza tokova materijala (maseni bilansi) u scenariju B1



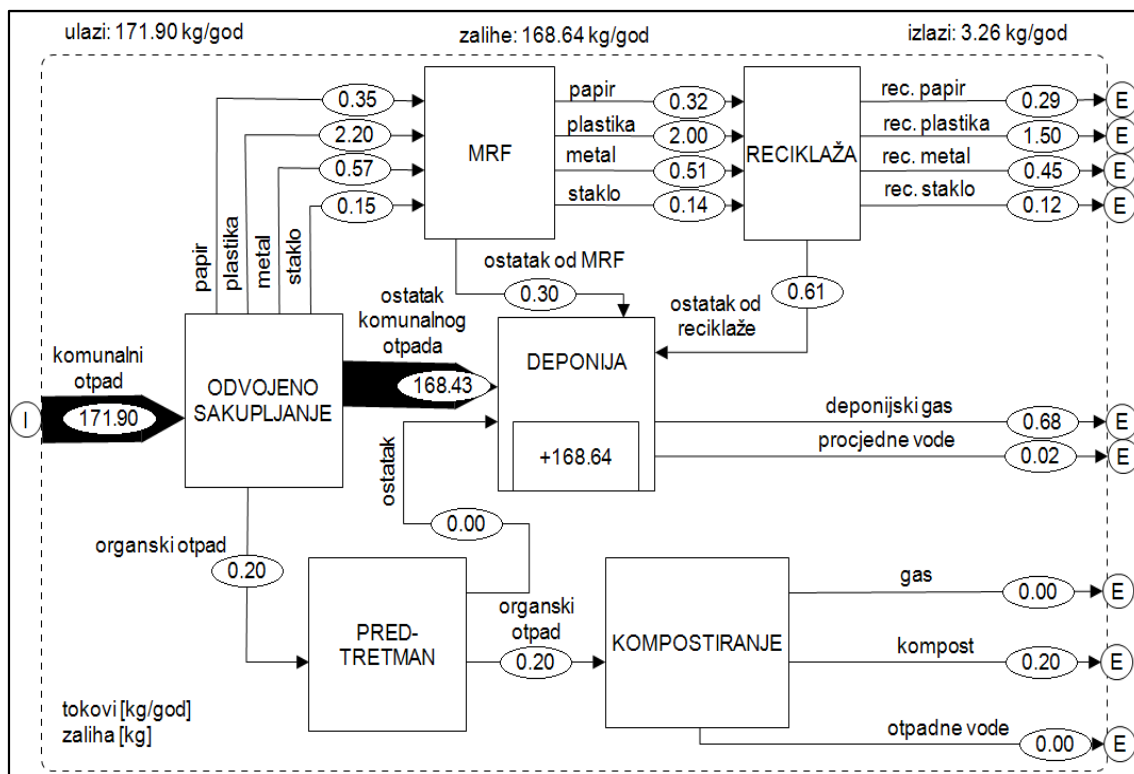
Grafik 6.9. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju B1



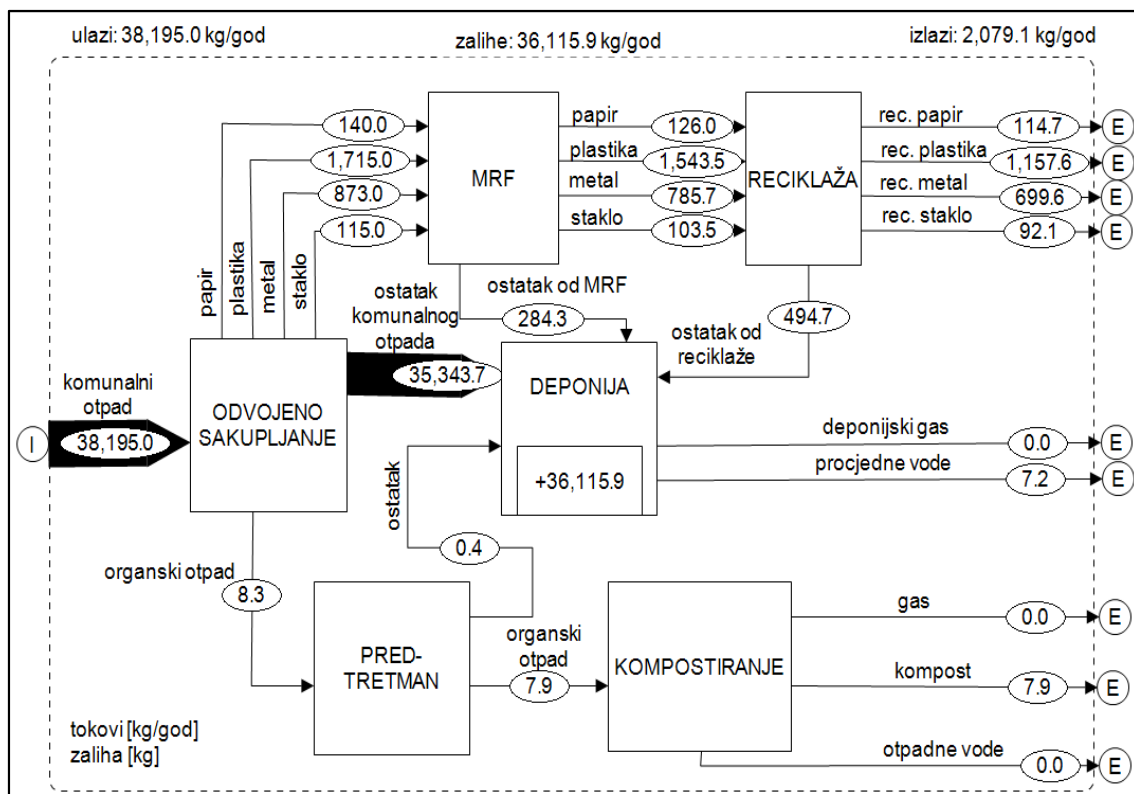
Grafik 6.10. Analiza toka azota (N) u scenariju B1



Grafik 6.11. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju B1



Grafik 6.12. Analiza toka žive (Hg) u scenariju B1



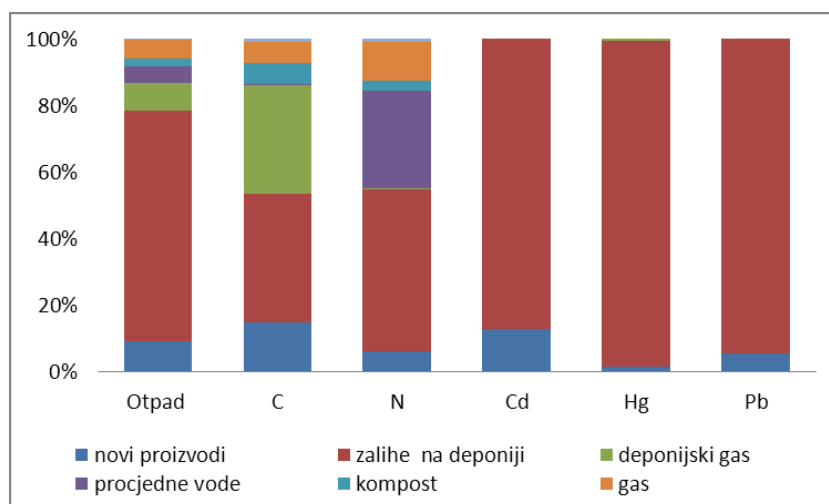
Grafik 6.13. Analiza toka olova (Pb) u scenariju B1

Analizom toka kadmijuma samo 12.88% kadmijuma iz otpada se transformiše u nove proizvode (grafik 6.11). Najveća količina kadmijuma se putem ostatka

komunalnog otpada odlaže na deponiju i ostaje kao zaliha u iznosu od 86.99%, a samo 0.05% kadmijuma se izluči u vidu procjednih voda, dok sa druge strane u deponijskom gasu nema kadmijuma. Pošto kadmijuma ima jako malo u organskom otpadu, samo mali udio kadmijuma dolazi u proces kompostiranja i 0.07% kadmijuma iz otpada odlazi u kompostu, a 0.001% u otpadnim vodama.

Analizom toka žive u scenariju B1 (grafik 6.12) se može vidjeti da je udio žive koji učestvuje u izgradnji novih proizvoda samo 1.37%, i da je glavni tok ove supstance u ostatku komunalnog otpada koji se odlaže na deponiju. Od ukupne količine žive u komunalnom otpadu 98.11% ostaje uskladišteno u tijelu deponije. Deponijskim procesima samo 0.40% žive odlazi u deponijski gas, a oko 0.01% u procjedne vode. Kako je jako mali procenat žive u organskom otpadu procesom kompostiranja živa se koncentriše u kompostu u iznosu od svega 0.11%.

Analizom toka olova u scenariju B1 (grafik 6.13) može se vidjeti da je u 95 487 t otpada sadržano 38 195 kg olova. Odvojenim sakupljanjem i reciklažom ambalažnog otpada u nove proizvode se uključuje 5.39% olova. U 8 325 t organskog otpada sadržano je svega 8.3 kg olova a procesom kompostiranja u 2 373 t komposta je sadržano 7.9 kg olova, odnosno 0.02% olova sadržanog u komunalnom otpadu. Najveća količina olova je sadržana u frakciji ostataka komunalnog otpada koji se deponuje. Od ukupne količine olova u otpadu u tijelu deponije se uskladišti 94.57% olova. Putem procjednih voda se u životnu sredinu emituje 0.02% olova.



Grafik 6.14. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju B1

Iz sumarnog grafika za scenarij B1 (grafik 6.14) se može uočiti da je najveći dio otpada, kao i analiziranih supstanci završi kao zaliha u tijelu deponije, a manji dio otpada se transformiše u nove proizvode i kompost.

Ugljenik dijelom ostaje uskladišten u tijelu deponije, dok drugi dio ugljenika odlazi u atmosferu putem deponijskog gasa i gasa generisanog procesom kompostiranja. Prema pogodnosti odgovarajućih odredišta (tabela 3.4) u nove proizvode, odnosno u odgovarajuće odredište putem reciklaže odlazi 14.71% ugljenika. Putem deponijskog gasa i gasa iz procesa kompostiranja u atmosferu odlazi 32.75% ugljenika, odnosno 6.16% C, a atmosfera je odgovarajuće odredište samo u slučaju ako je ugljenik u formi CO₂. Anaerobnim procesima u tijelu deponije i kompostiranjem se izdvaja CH₄, a atmosfera je neodgovarajuće odredište ugljenika u formi CH₄. Putem procjednih voda i otpadnih voda iz procesa kompostiranja u hidrosferu, tj. neodgovarajuće odredište, se izdvoji 0.21%, odnosno 0.97% ugljenika. Najveći procenat ugljenika (38.70%) ostaje u tijelu deponije, a deponija komunalnog otpada je neodgovarajuće odredište za ovaj element.

Najveći dio azota zarobljen u tijelu deponije (48.59%) odlazi u neodgovarajuće odredište. U atmosferu, odnosno uslovno-odgovarajuće odredište odlazi 0.39% azota iz deponijskog gasa, i 11.78% azota iz gasa koji se izdvoji procesom kompostiranja. U novim proizvodima, koji su odgovarajuće odredište, reciklažom odlazi 5.99% azota.

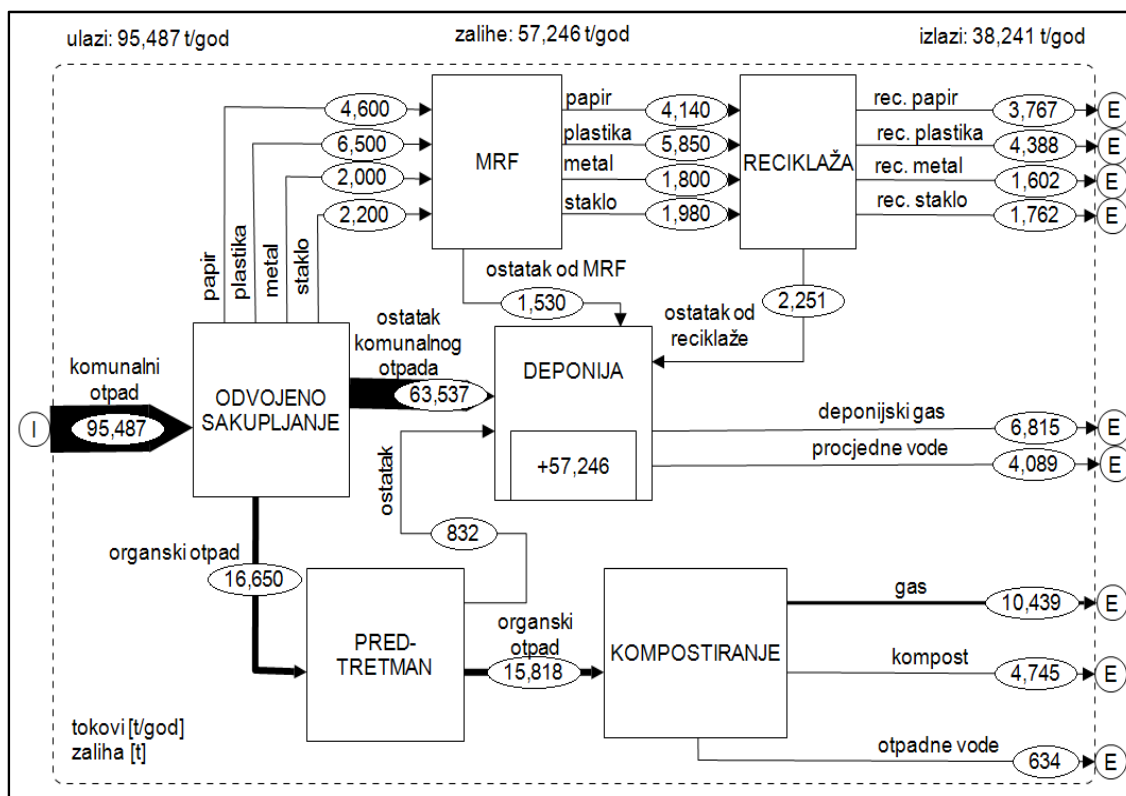
U novim proizvodima reciklažom odlazi 12.88% Cd, 1.37% Hg i 5.39% Pb, a novi proizvodi su neodgovarajuće odredište za teške metale. Najveći procenat ovih teških metala ostaje zarobljen u deponiji komunalnog otpada, koja je uslovno-odgovarajuće odredište, jer imaju nizak dugoročni rizik po životnu sredinu.

6.1.2.2. Scenario B2

Na osnovu sprovedene analize tokova materijala za scenarij B2 (grafik 6.15) može se zaključiti da najveći dio otpada (59.95%) završava kao zaliha u tijelu deponije, 12.06 % komunalnog otpada završava u novim proizvodima, a 4.97% u kompostu. Procesima u tijelu deponije 7.14% otpada se transformiše u deponijski gas, a 4.28% u procjedne vode. Procesom kompostiranja otpada generiše se 10.93% gasa i 0.66% otpadnih voda.

Na narednim graficima su prikazani dobijeni rezultati modelovanja za supstance (C, N, Cd, Hg, Pb). Najveći dio od ukupne količine ugljenika koji ulazi u sistem završava kao zaliha u tijelu deponije (28.78%), nešto manji dio u vidu deponijskog gasa

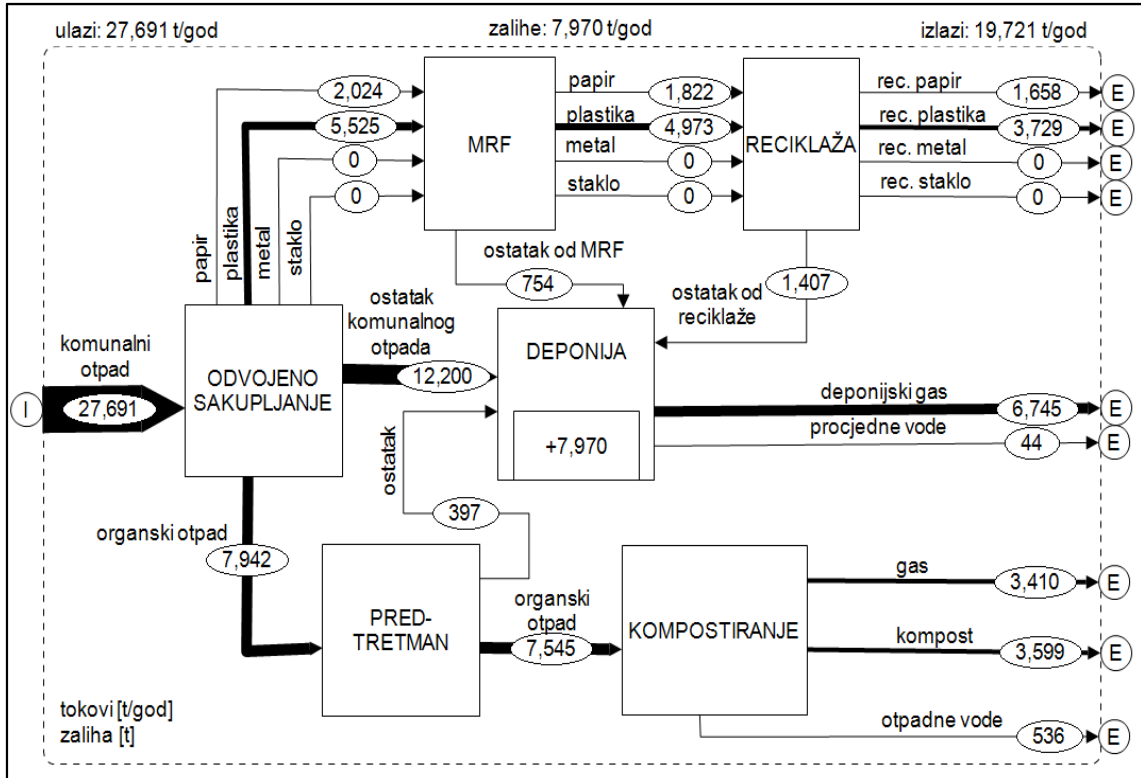
(24.36%). 19.45% od ukupne količine ugljenika u ulaznom toku završava u novim proizvodima (grafik 6.16). Procesom kompostiranja u vidu komposta završava 13.00% ugljenika, 12.31% u formi gasa i mali dio u otpadnim vodama (1.94%). Najmanji dio ugljenika završava kao procjedna voda (0.16%).



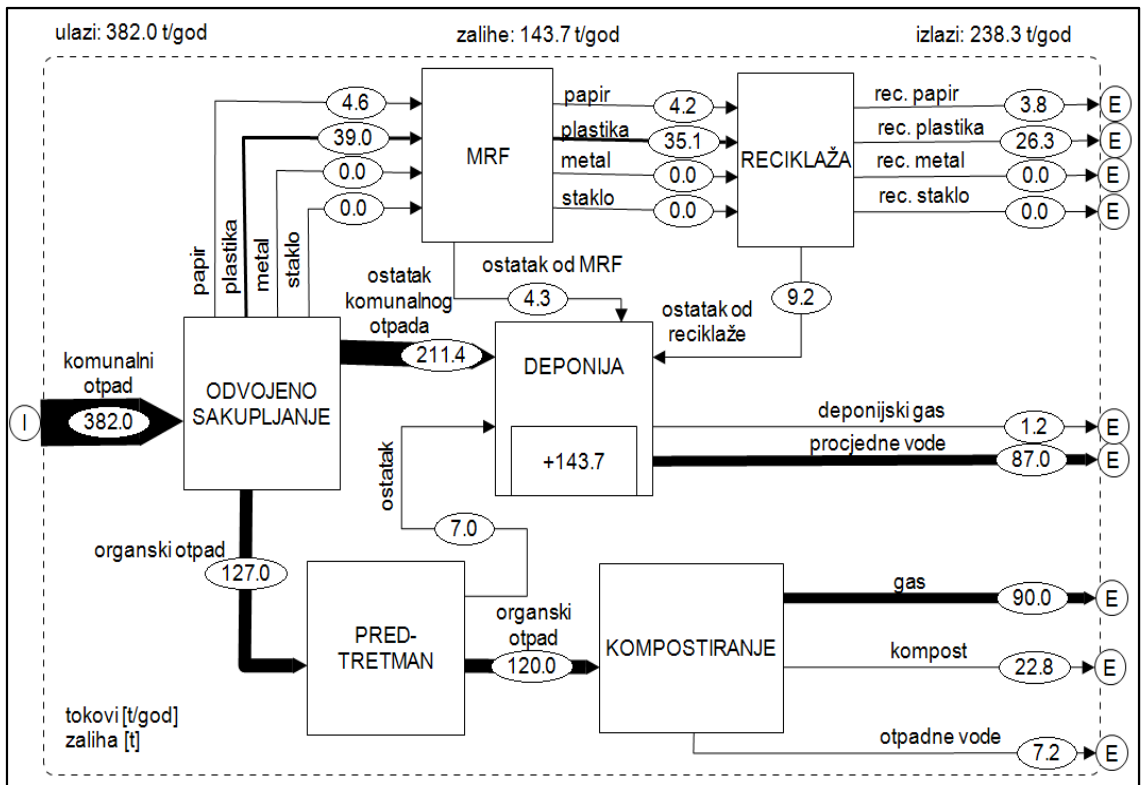
Grafik 6.15. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju B2

Na osnovu sprovedene analize toka azota može se zaključiti da najveća količina azota završava uskladištena u tijelu deponije (37.62%), a dobar dio azota se transformiše u formu procjednih voda (22.77%), a samo 0.31% ulaznog toka azota u vidu deponijskih gasova (grafik 6.17). 23.56% od ukupne količine azota odlazi u gasu nakon kompostiranja, 5.97% u vidu komposta, a mali dio u otpadnim vodama (1.99%). 7.88% ulaznog azota završava u novim proizvodima.

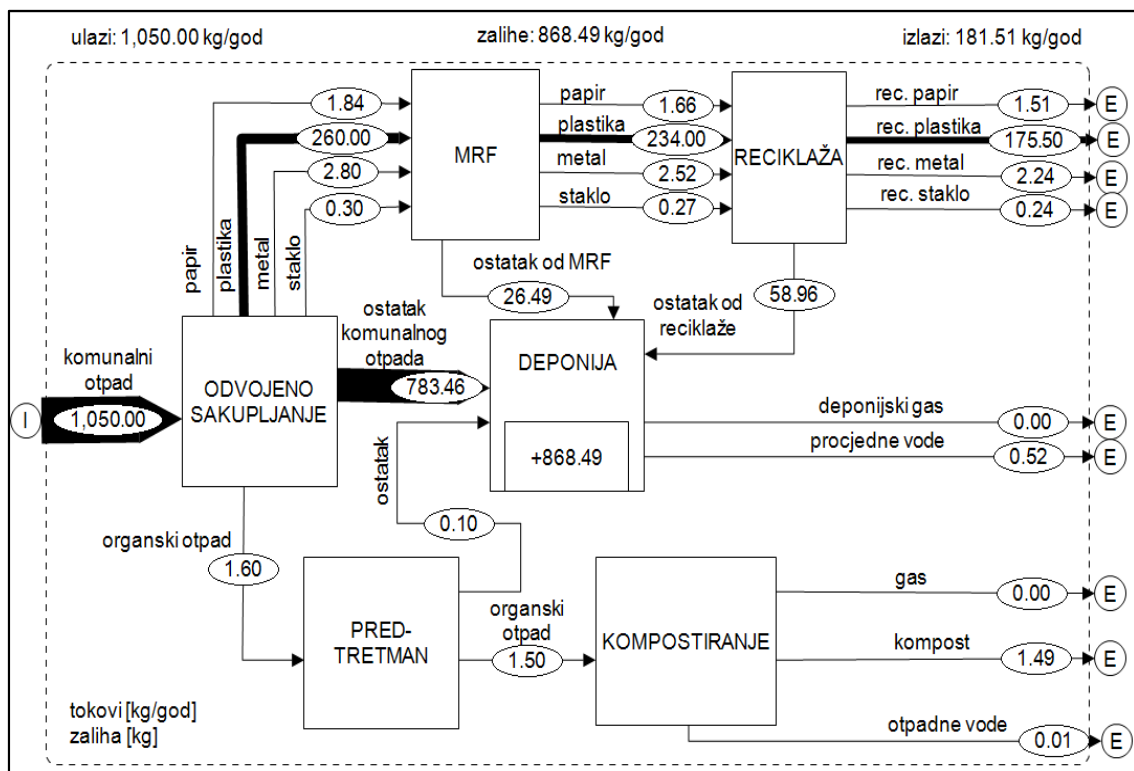
Od ukupne količine kadmijuma u sistemu upravljanja otpadom 82.71% završava kao zaliha u deponiji i 17.09% kadmijuma u novim proizvodima. Samo 0.05% ulaznog toka kadmijuma se transformiše u procjedne vode, a 0.14% kadmijuma završava kao kompost (grafik 6.18).



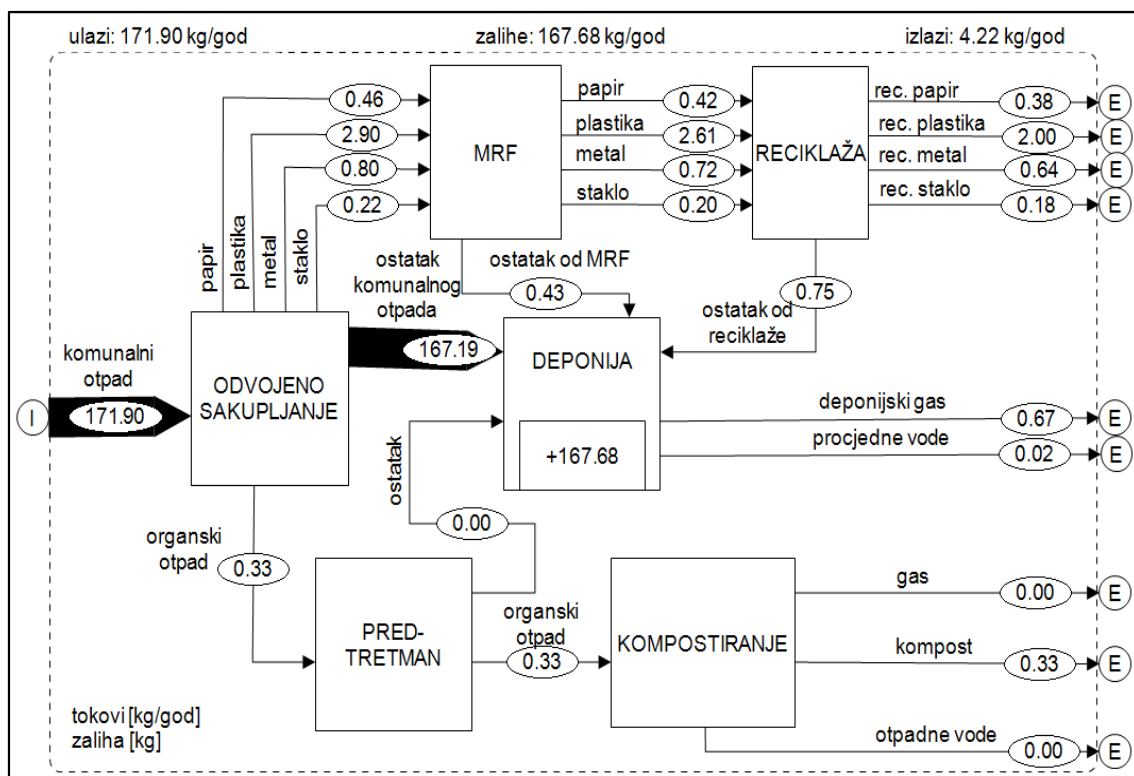
Grafik 6.16. Aaliza toka ugljenika (C) u scenariju B2



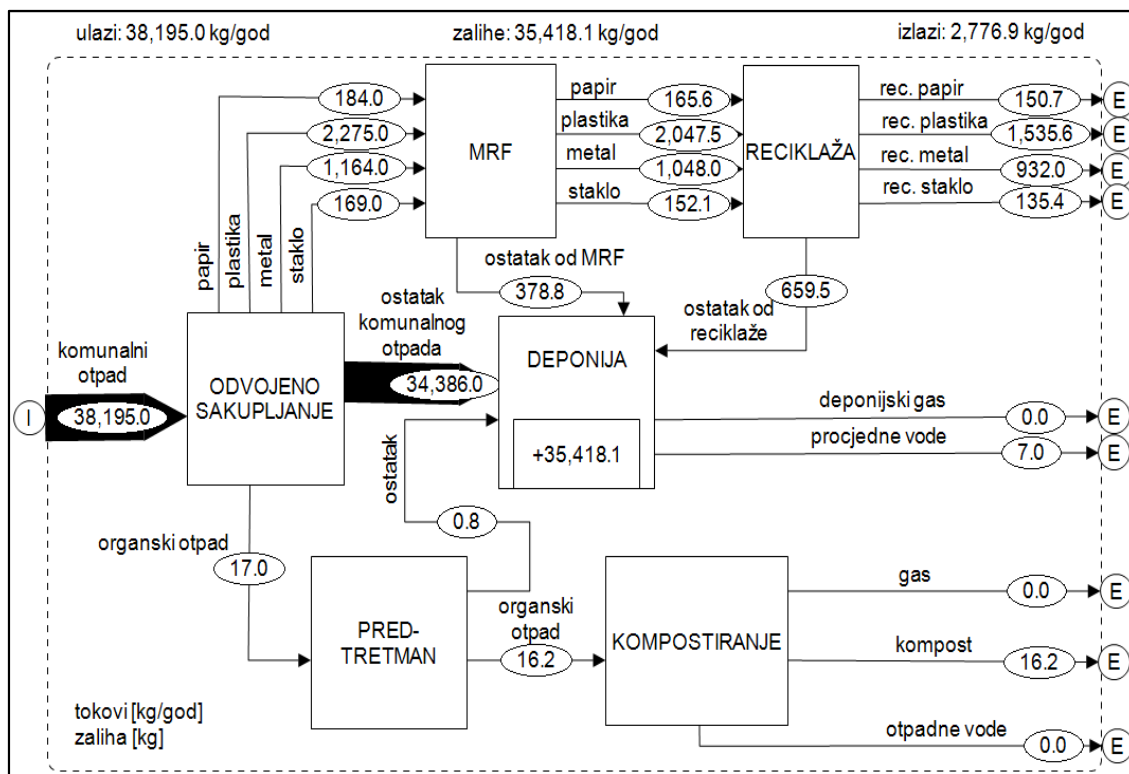
Grafik 6.17. Analiza toka azota (N) u scenariju B2



Grafik 6.18. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju B2



Grafik 6.19. Analiza toka žive (Hg) u scenariju B2

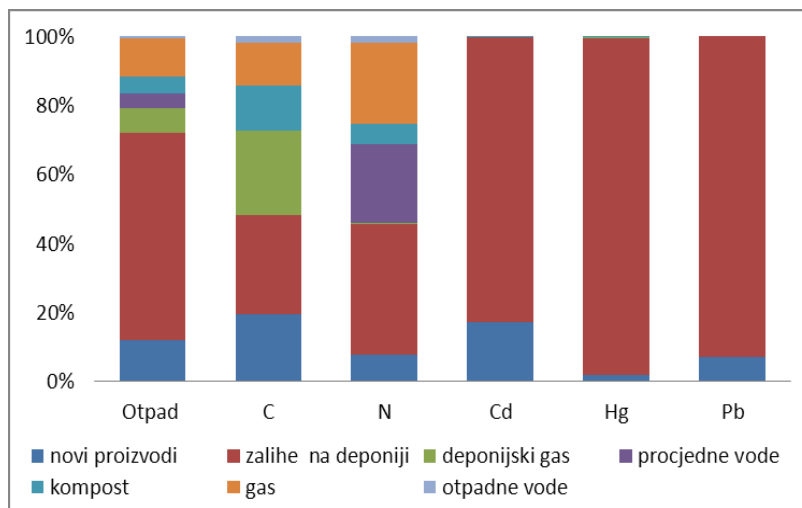


Grafik 6.20. Analiza toka olova (Pb) u scenariju B2

Na osnovu sprovedene analize toka žive, koja je prikazana na grafiku 6.19, može se zaključiti da najveći dio završi uskladišten u tijelu deponije (97.55%). U formi deponijskog gasa završi 0.39%, a u formi procjednih voda svega 0.01% ulaznog toka žive. 1.86% žive završi u novim proizvodima, a 0.19% količine žive u sistemu završi kao kompost.

Slična situacija je i kod olova, gdje 92.73% ulaznog toka olova završi kao zaliha u tijelu deponije. 7.21% ukupne količine olova služi za formiranje novih proizvoda (grafik 6.20). Samo 0.02%, odnosno 0.04% od ulazne količine olova u ovom sistemu završi kao procjedna deponijska voda, odnosno kompost.

Iz sumarnog dijagramu za scenario B2 (grafik 6.21), se može uočiti da je najveći dio otpada, kao i analiziranih supstanci završi kao zaliha u tijelu deponije, a manji dio otpada se transformiše u nove proizvode i kompost.



Grafik 6.21. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C,N, Cd, Hg, Pb) u scenariju B2

Prema pogodnosti odgovarajućih odredišta za supstance (tabela 3.4), ugljenik dijelom ostaje uskladišten u tijelu deponije (28.78%), odnosno u neodgovarajućem odredištu. Drugi dio ugljenika odlazi u atmosferu putem deponijskog gasa (24.36%) i gasa generisanog procesom kompostiranja (12.31%). Atmosfera je odgovarajuće odredište za ugljenik, ali samo u formi CO₂, ali se u deponijskom gasu i gasu koji se oslobodi procesom kompostiranja izdvaja i CH₄. Za CH₄ je atmosfera neodgovarajuće odredište. Dio ugljenika se transformiše u nove proizvode putem reciklaže (19.45%) i u kompost (13.00%). Novi proizvodi su odgovarajuće odredište za ugljenik.

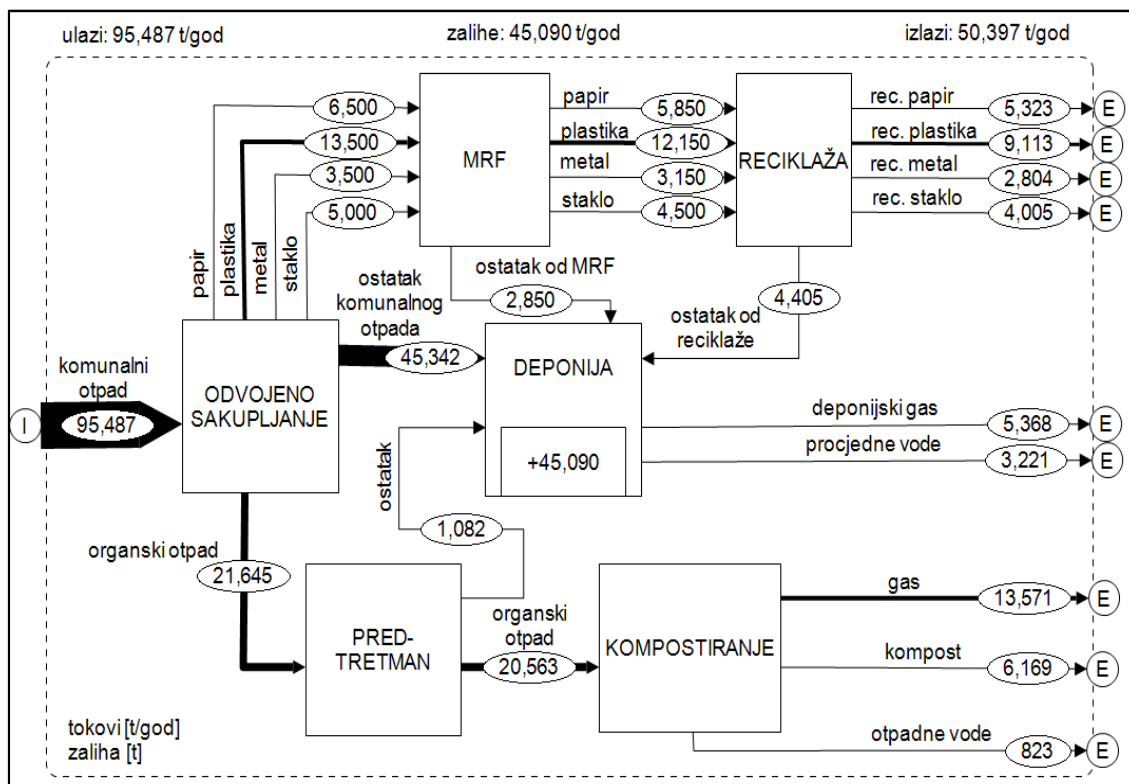
Najveći dio azota ostaje zarobljen u tijelu deponije (37.62%), a manji dio ispušta u površinske vode putem procjednih voda (22.77%) i otpadnih voda iz procesa kompostiranja (1.99%). Deponija komunalnog otpada i hidrosfera su neodgovarajuće odredište za azot. U atmosferu, odnosno uslovno-odgovarajuće odredište, se izdvoji azot prisutan u gasu generisan procesom kompostiranja (23.56%) i azot u deponijskom gasu (0.31%).

Teški metali najvećim dijelom ostaju zarobljeni u tijelu deponije, a samo malim dijelom odlaze u nove proizvode (17.09% Cd, 1.86%Hg i 7.21% Pb). Deponija komunalnog otpada je uslovno-odgovarajuće odredište za teške metale, a novi proizvodi su neodgovarajuće odredište za ove supstance.

6.1.2.3. Scenario B3

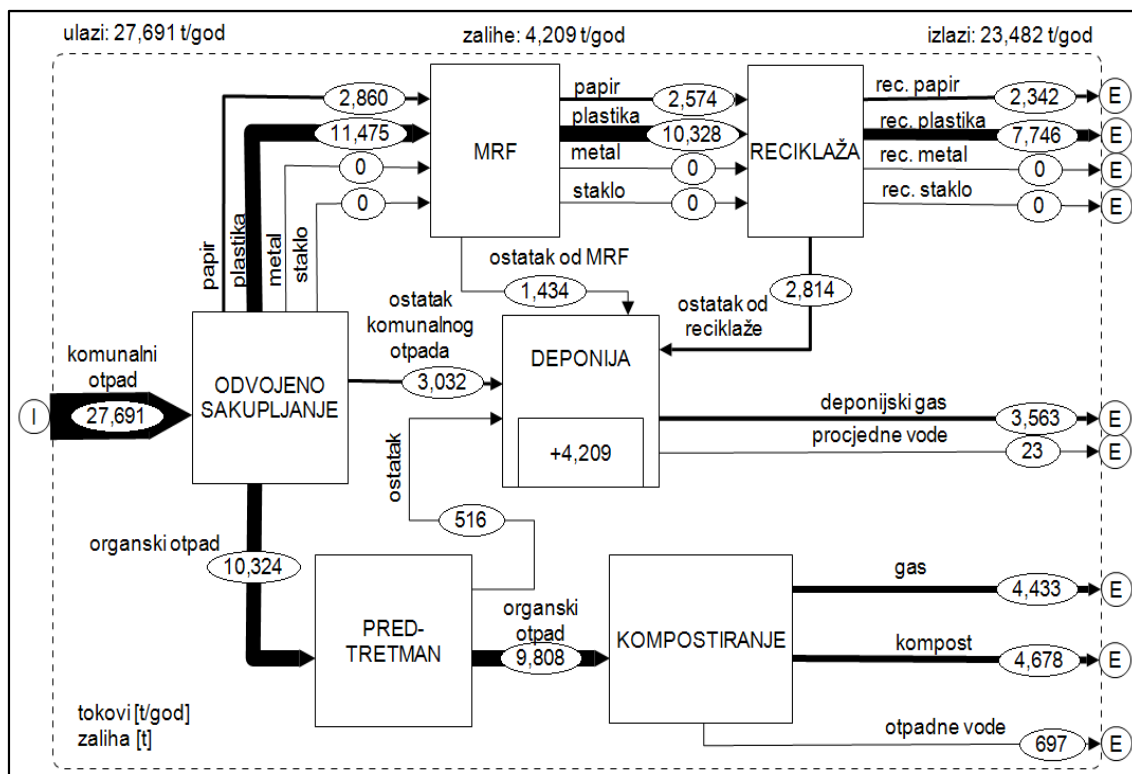
Analizom tokova materijala (maseni bilansi) u ovom scenariju 22.25% odvojenog ambalažnog otpada putem reciklaže se uključuje u nove proizvode (grafik 6.22). Od ukupne količine otpada (95 487 t) u tijelu deponije u vidu zaliha ostaje 45 090 t ili

47.22% otpada. Od 65% odvojeno sakupljenog organskog otpada ili 21 645 t u formi komposta se izdvoji 6 169 t ili 6.46% komunalnog otpada. Procesom kompostiranja organskog otpada se izdvoji 13 571 t gasa ili 14.21%, te 823 t otpadnih voda ili 0.86%. Količina deponijskog gasa iznosi 5 368 t, a količina procjednih voda 3 221 t.

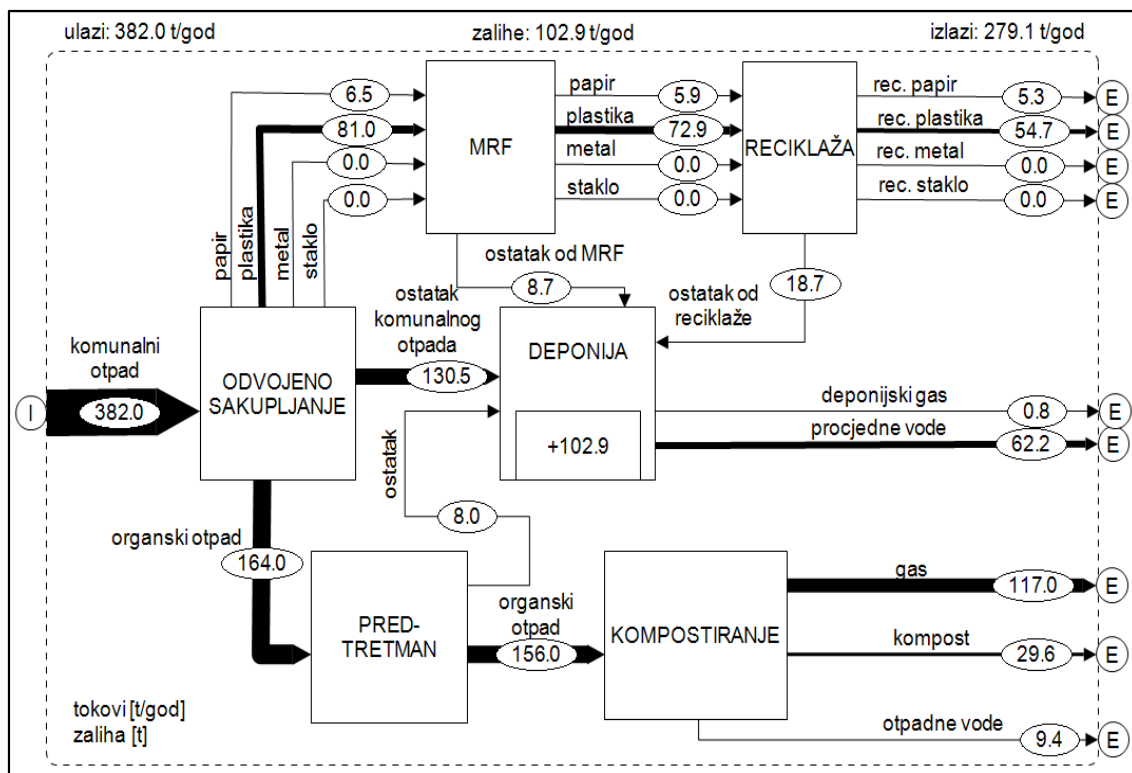


Grafik 6.22. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju B3

Analiza toka ugljenika u scenariju B3 je prikazana na grafiku 6.23. Udio ugljenika u recikliranim sirovinama, odnosno novim proizvodima iznosi 36.43%. U ambalažnom otpadu je znatan udio ugljenika u plastici, te je stoga značajan doprinos ugljenika u recikliranim sirovinama. S druge strane u tijelu deponije ostaje uskladišteno 15.20% ugljenika, u deponijskom gasu 12.87% ugljenika, a u procjednim vodama samo 0.08%. Za frakciju organskog otpada je veoma značajan udio ugljenika, te u odnosu na ukupnu količinu ugljenika u komunalnom otpadu na organski otpad se odnosi 37.28%. Procesom kompostiranja organskog otpada se proizvede 4 433 t ugljenika u gasu (16.01 %), 4 678 t ugljenika u kompostu (16.89%), a u otpadnim vodama sadržano je 697 t ugljenika (2.52%).



Grafik 6.23. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju B3



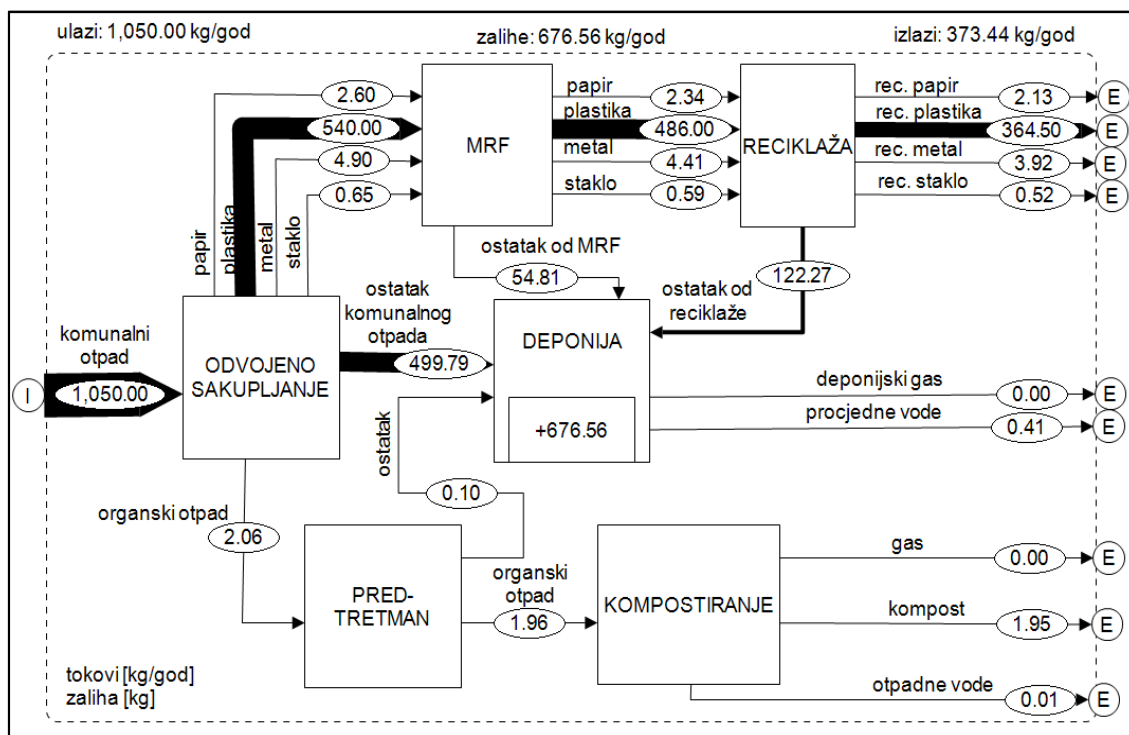
Grafik 6.24. Analiza toka azota (N) u scenariju B3

Na grafiku 6.24 je prikazana analiza toka azota. Od ukupne količine azota u komunalnom otpadu u recikliranom papiru i plastici, odnosno novim sirovinama udio

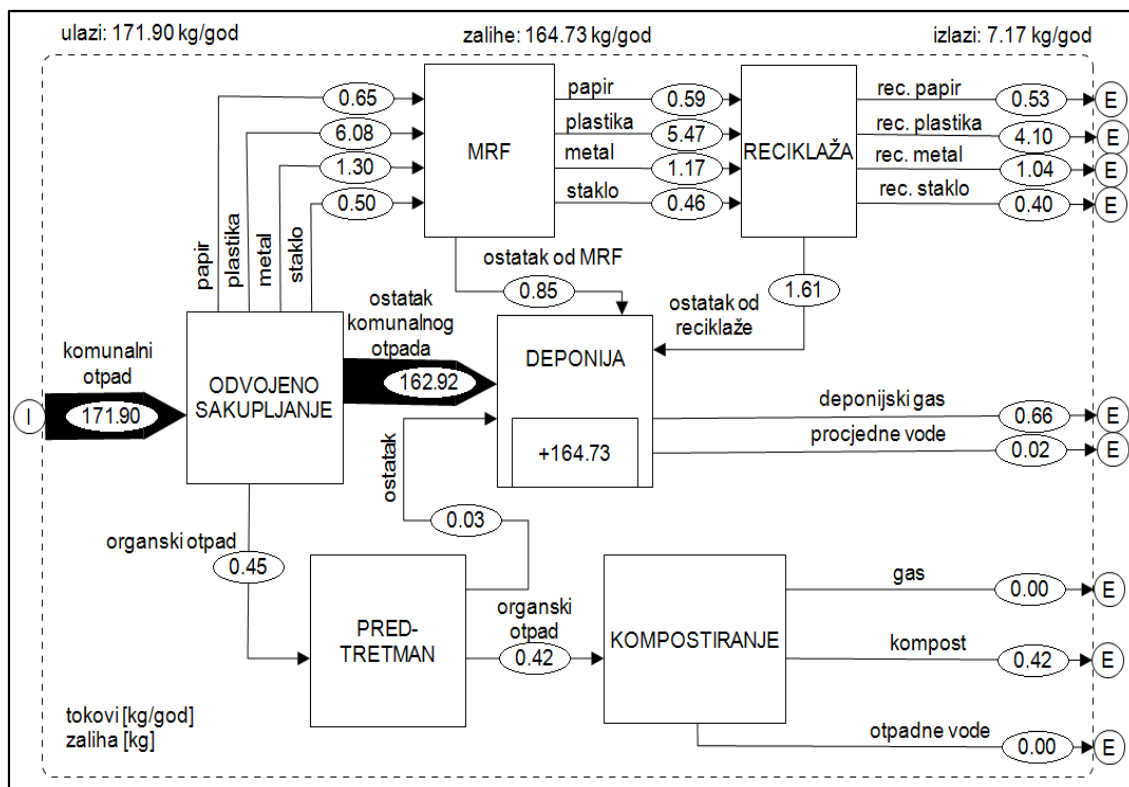
azota iznosi 15.71%. Pošto organski otpad ima veliki procenat azota u svom sastavu, ova frakcija otpada je važan nosilac ove supstance. Tako se kompostiranjem organskog otpada stvara gas koji u odnosu na ukupnu količinu azota u komunalnom otpadu iznosi 30.63%, kompost koji ima 7.75% i otpadne vode koje imaju 2.46% azota. U tijelu deponije ostaje u vidu zaliha 26.94% azota, u deponijskom gasu svega 0.21%, a u procjednim vodama 16.29% azota sadržanog u komunalnom otpadu.

Analizom toka kadmijuma, prikazanom na grafiku 6.25, u ovom sistemu upravljanja otpadom može se zaključiti da je najveći udio ulaznog toka kadmijuma sadržan kao zaliha u tijelu deponije u iznosu od 64.43%. U novim proizvodima udio kadmijuma iznosi 35.34%. U deponijskom gasu i gasu pri procesu kompostiranja nije prisutan kadmijum. Jako male vrijednosti kadmijuma u odnosu na ulazni tok ovog sistema upravljanja komunalnim otpadom je zabilježen u procjednim vodama (0.04%), u kompostu (0.19%) i otpadnim vodama (0.001%).

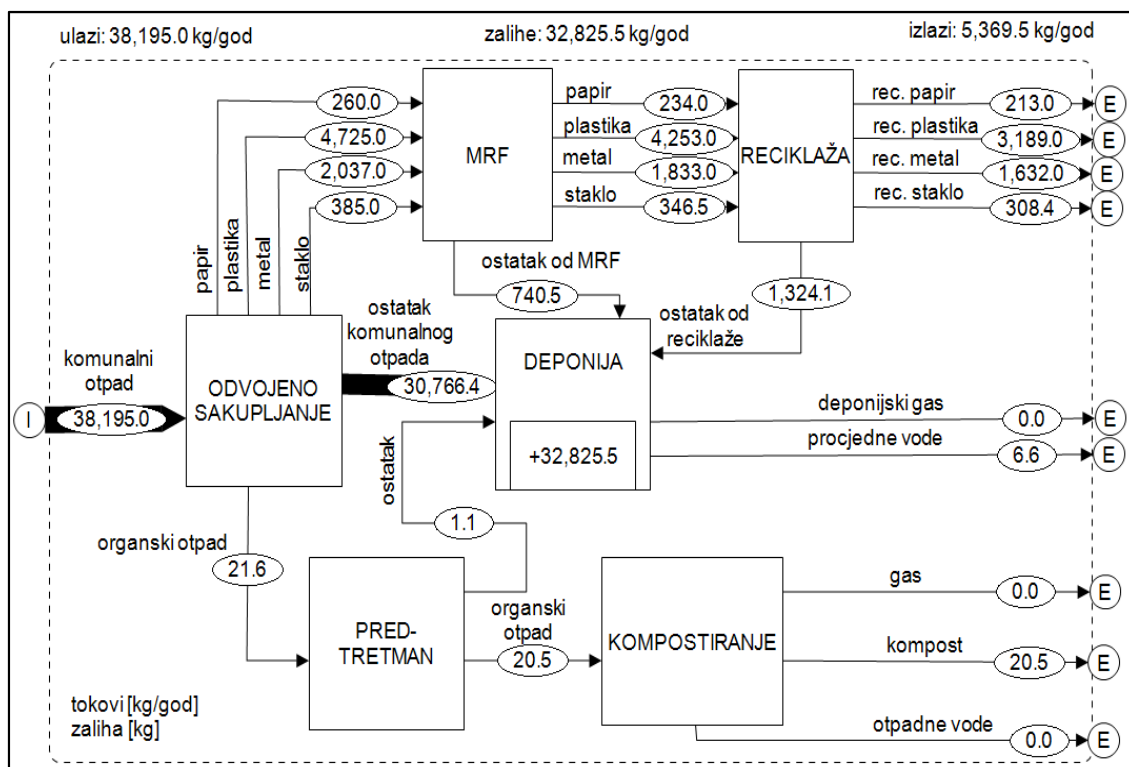
Od ukupne količine žive u ulaznom toku najveći dio završi kao zaliha u tijelu deponije (95.83%), dok u novim proizvodima odlazi 3.53% žive. Prisustvo žive nije zabilježeno u gasu i otpadnim vodama prilikom procesa kompostiranja (grafik 6.26). U odnosu na ukupnu količinu žive u kompostu završi 0.24%, u deponijskom gasu i procjednim vodama završi 0.38%, odnosno 0.01% ulaznog toka žive.



Grafik 6.25. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju B3



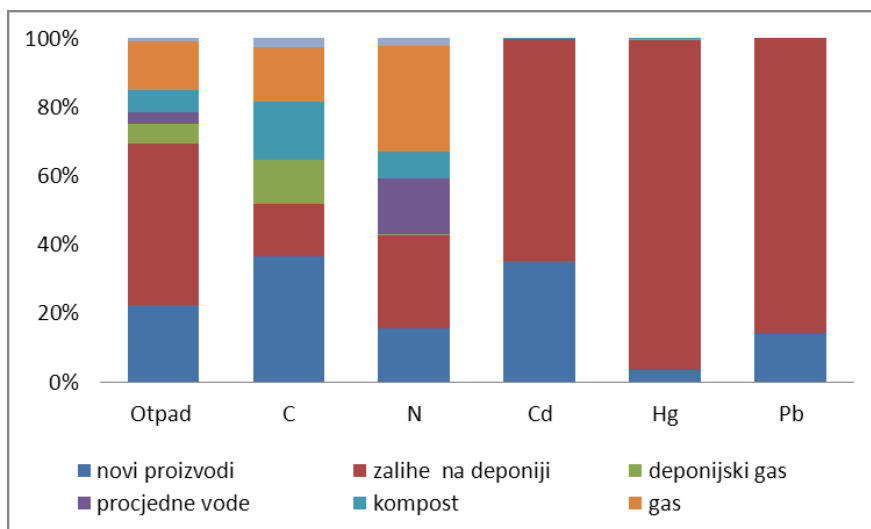
Grafik 6.26. Analiza toka žive (Hg) u scenariju B3



Grafik 6.27. Analiza toka olova (Pb) u scenariju B3

Analizom toka olova u scenariju B3, prikazanom na grafiku 6.27 može se zaključiti da najveći dio ulaznog toka olova završi trajno uskladišten u tijelu deponije kao zaliha

(85.94%), a reciklažom u novim proizvodima završi 13.99% olova. U samom kompostu je zabilježena vrijednost od 0.05% ulaznog toka olova za analizirani sistem upravljanja otpadom. U deponijskom gasu nije prisutno olovo, dok je u procjednim vodama vrijednost olova blizu 0.02% ulaznog toka.



Grafik 6.28. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C,N, Cd, Hg, Pb) u scenariju B3

Iz sumarnog dijagramu za scenarij B3, se može uočiti da najveći dio otpada, kao i analiziranih supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) završi kao zaliha u tijelu deponije. Manji dio otpada se transformiše u nove proizvode i kompost (grafik 6.28).

Ugljenik manjim dijelom ostaje uskladišten u tijelu deponije (15.29%) i u formi deponijskog gasa (12.87%), dok veći dio ugljenika odlazi u nove proizvode (36.43%) i kompost (16.89%). Dio ugljenika se transformiše u nove proizvode putem reciklaže i u kompost, a sa aspekta klase pogodnosti odredišta za ugljenik (tabela 3.4), ovo su odgovarajuća odredišta. Deponijski gasovi i gasovi iz procesa kompostiranja odlaze u atmosferu, a ovaj medijum se definiše kao odgovarajuće odredište ugljenika, ali samo u formi CO₂, ali ne i CH₄. Mali udio ugljenika u procjednim vodama i otpadnim vodama koje se generišu kompostiranjem, se ispuštaju u hidrosferu koja je nedgovarajuće odredište za ovu supstancu.

Najveći dio azota se ispušta u atmosferu procesom kompostiranja (30.63%), odnosno odlazi u uslovno-odgovarajuće odredište. U hidrosferu, odnosno neodgovarajuće odredište za azot, odlazi 16.29% azota iz procjednih voda i 2.46% azota iz otpadnih voda iz procesa kompostiranja. U nove proizvode reciklažom se usmjerava 15.71% azota i u kompost 7.75% azota, a ponovna upotreba ili novi proizvodi su odgovarajuće

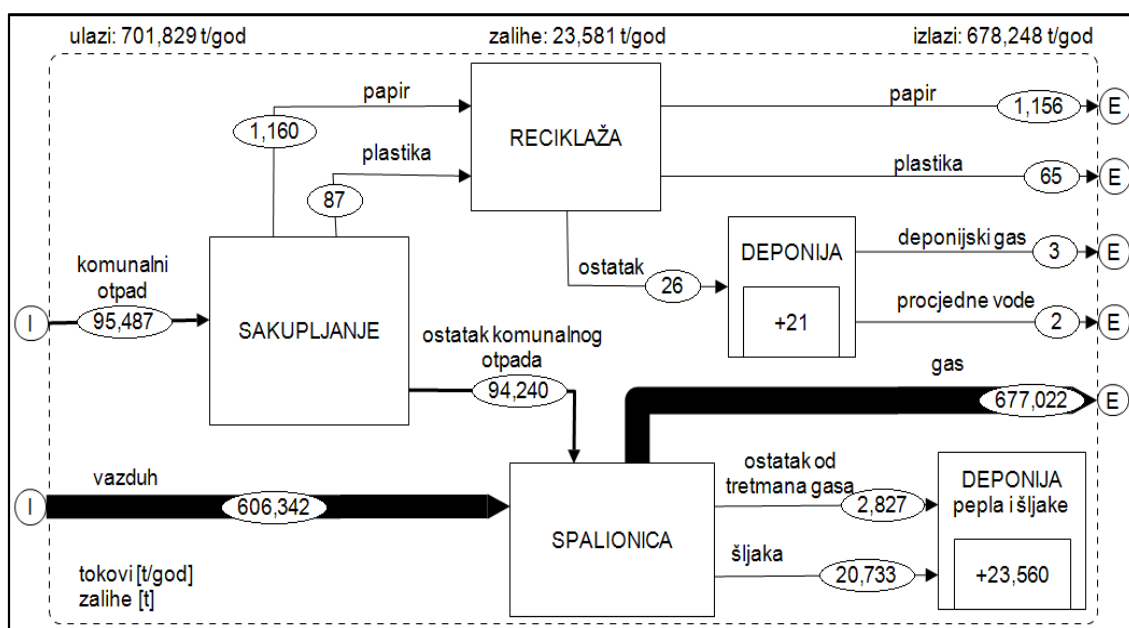
odredište za azot. 26.94% azota ostaje u tijelu deponije, odnosno neodgovarajućem odredištu.

Teški metali najvećim dijelom ostaju zarobljeni u tijelu deponije, a 35.34% Cd, 3.53% Hg i 13.99% Pb odlazi u nove proizvode pri procesu reciklaže. Teški metali nisu nikako poželjni u novim proizvodima, odnosno novi proizvodi su neodgovarajuće odredište za teške metale.

6.1.3. Scenario C

Ukupna masa ulaznih tokova u ovom sistemu iznosi 701 829 t/god. Udio otpada koji ulazi u ovaj sistem iznosi 13.61%, a najveći dio se odnosi na vazduh (86.39%) koji se koristi za potrebe spalionice (grafik 6.29). Analizom materijalnih tokova može se zaključiti da najveći dio otpada završi kao gas iz spalionice (96.47%), kao zaliha u tijelu deponije samo 3.36%, dok u novim proizvodima svega 0.17% otpada.

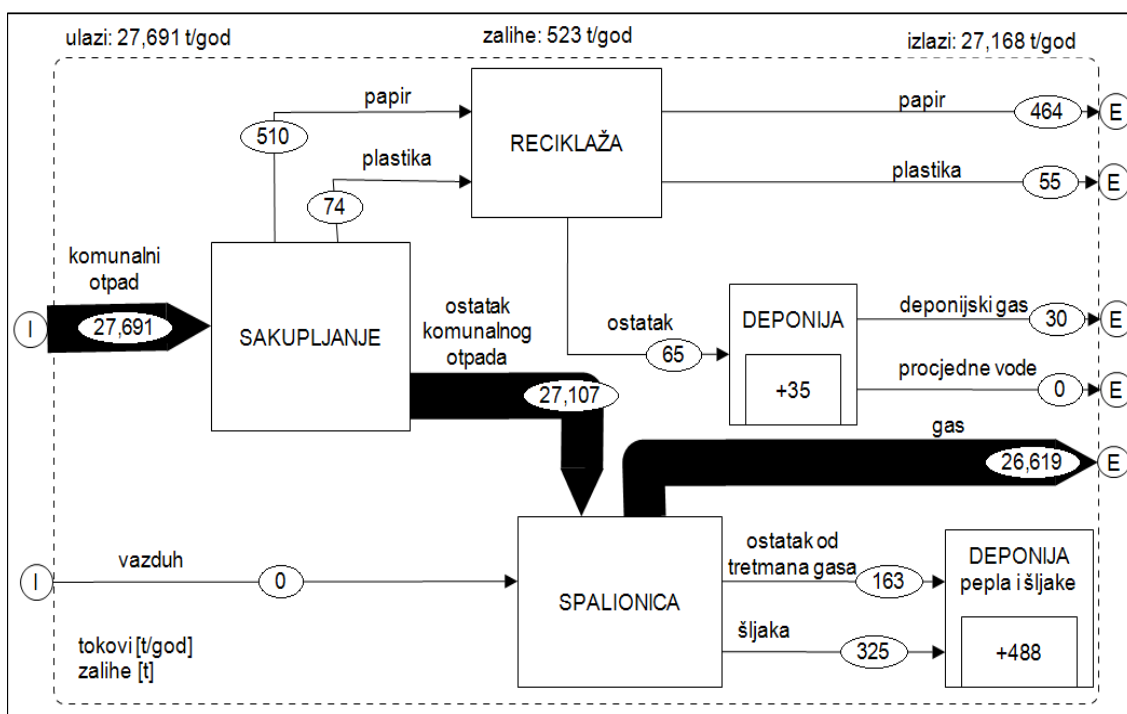
Analizom toka ugljenika može se uočiti da 96.13% ugljenika odlazi putem gasa iz spalionice, a 0.11% ulaznog toka ugljenika u ovom sistemu završi kao deponijski gas (grafik 6.30). U novim proizvodima odlazi 1.87% ugljenika, a kao zaliha u tijelu deponije ostane 1.89% ukupnog ugljenika.



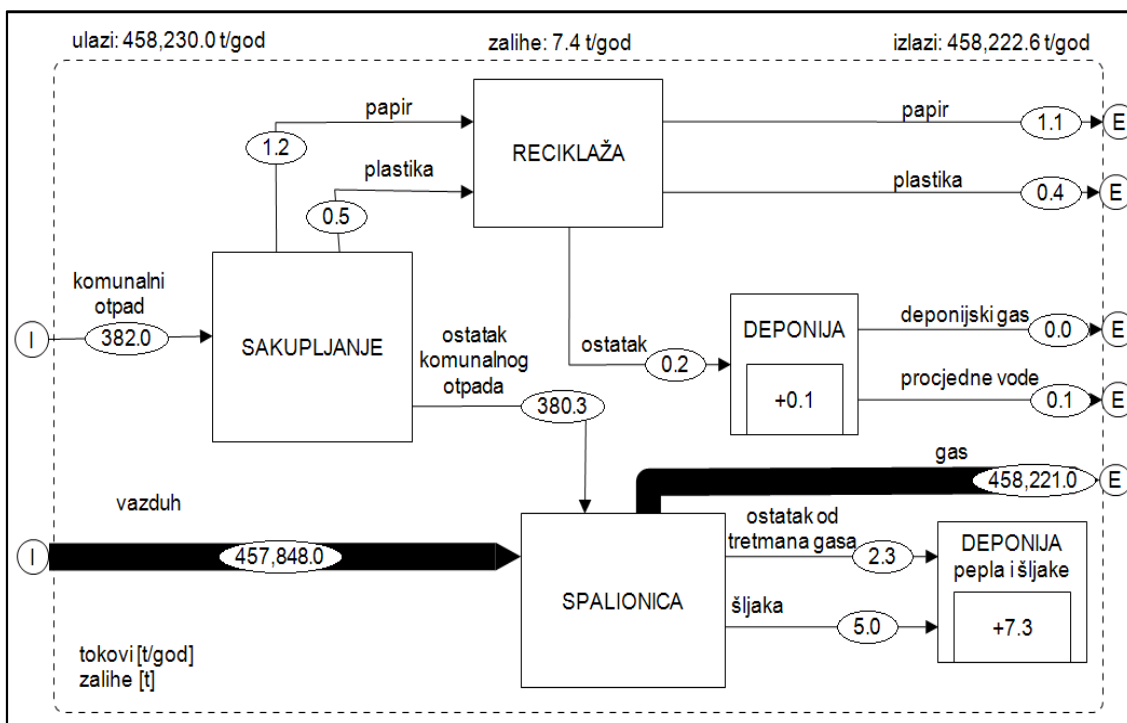
Grafik 6.29. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju C

Ukupan ulazni tok azota u ovom sistemu iznosi 458 230 t/god. Procenat azota u vazduhu koji se koristi u spalionici iznosi 99.92%, a 0.08 % se odnosi na azot prisutan u otpadu (grafik 6.31). Najveći dio ulazne količine azota završava kao otpadni gas iz

spalionice (99.99%), a ostatak od 0.01% azota ostaje uskladišten u tijelu deponije i u novim sirovinama.



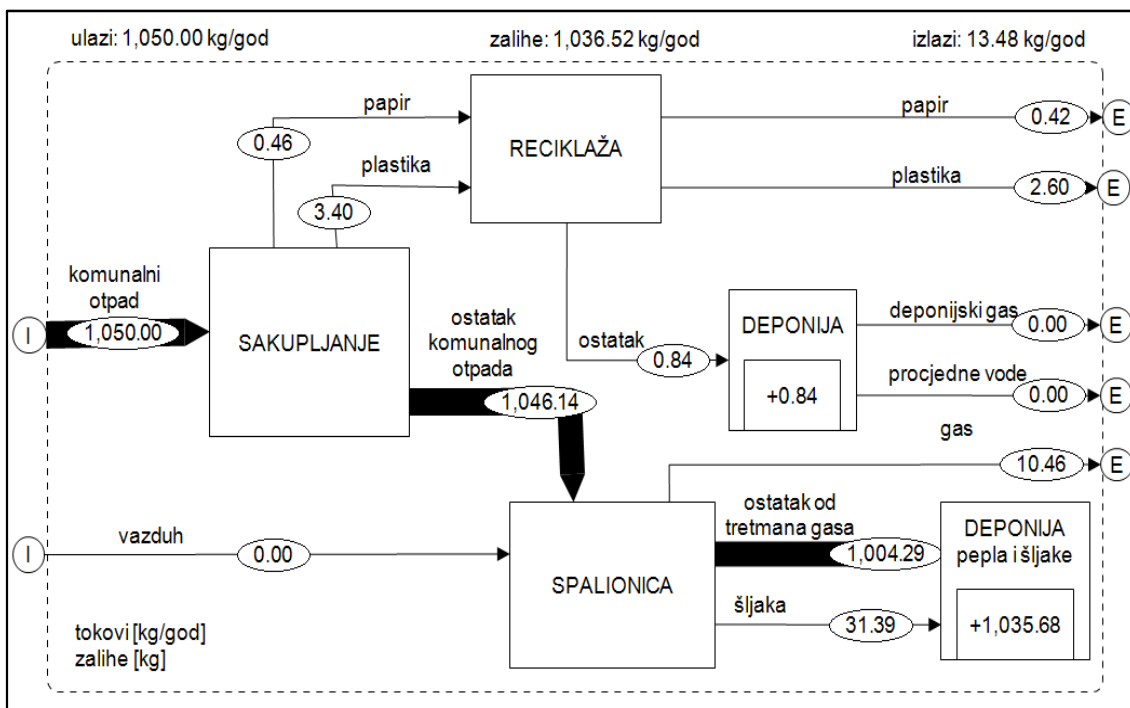
Grafik 6.30. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju C



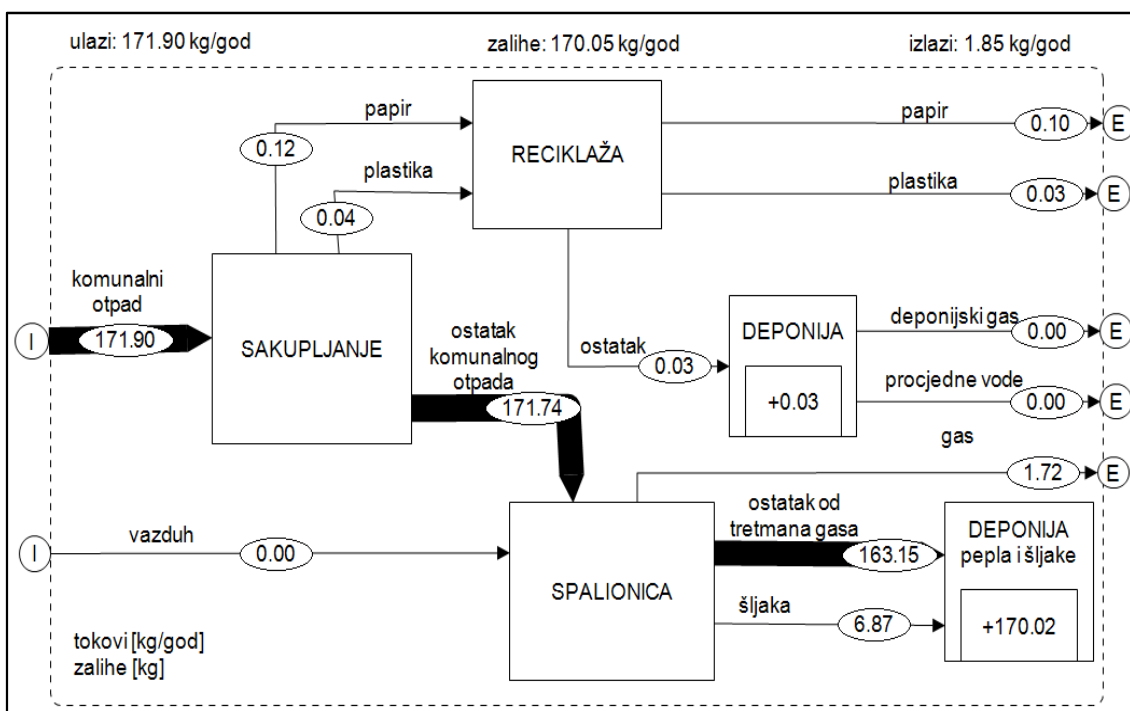
Grafik 6.31. Analiza toka azota (N) u scenariju C

Na osnovu sprovedene analize toka kadmijuma može se zaključiti da najveći dio od ukupne količine kadmijuma u ovom sistemu završi kao zaliha u tijelu deponije

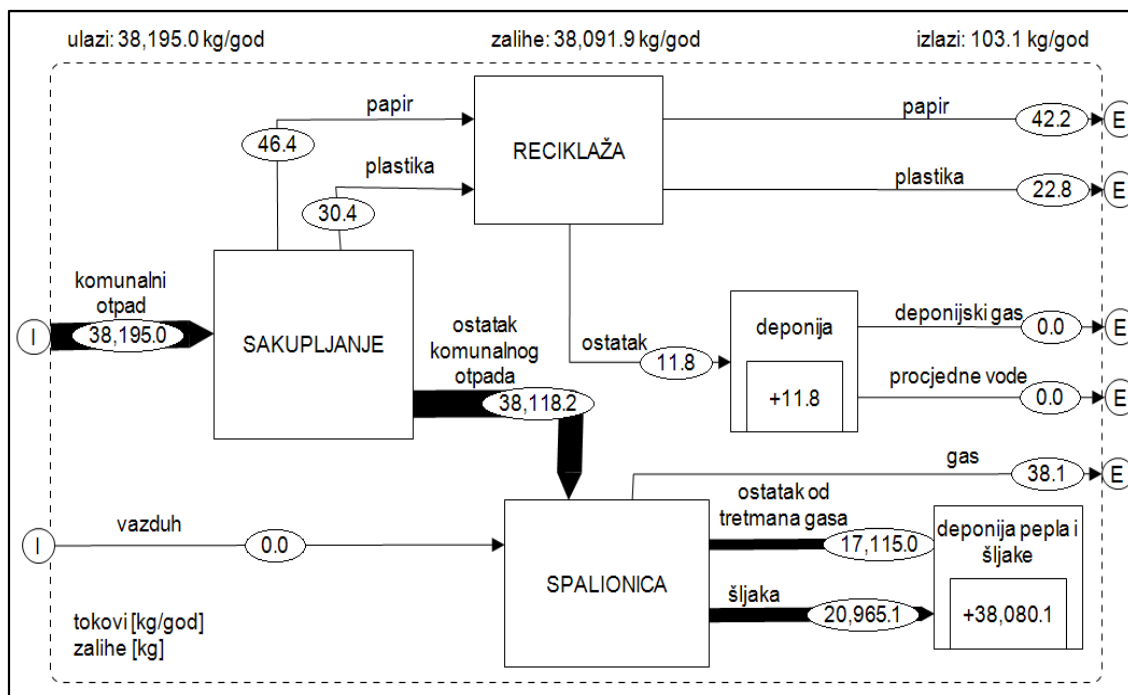
(98.72%), jer najveći dio ove supstance ostaje u ostatku od tretmana otpadnih gasova iz spalionice koji se odlažu na deponiju pepela i šljake (grafik 6.32). 1.00% kadmijuma u sistemu završi u otpadnim gasovima iz spalionice, dok svega 0.28% završi u novim proizvodima.



Grafik 6.32. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju C



Grafik 6.33. Analiza toka žive (Hg) u scenariju C

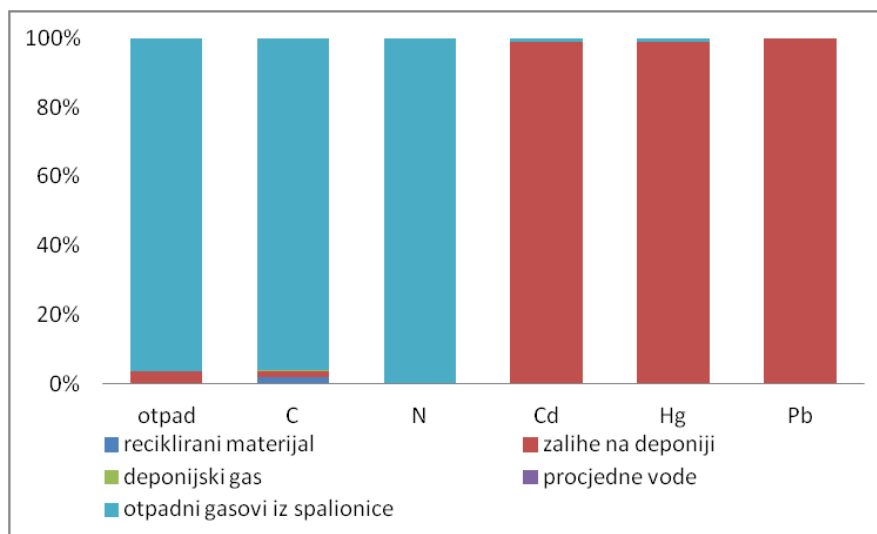


Grafik 6.34. Analiza toka olova (Pb) u scenariju C

Analiza toka žive je slična sprovedenoj analizi kadmijuma. U tijelu deponije kao zaliha ostaje 98.92% žive u odnosu na ulazni tok žive u ovom scenariju (grafik 6.33). Procenat žive u otpadnim gasovima iz spalionice iznosi 1.00%, dok u novim proizvodima završi svega 0.08% žive.

U odnosu na ukupnu količinu olova u ovom sistemu najveći dio završi kao zaliha u tijelu deponije (99.73%), jer najveća količina olova ulazi u spalionicu u komunalnom otpadu i izlazi kao šljaka i ostatak od tretmana gasova iz spalionice koji se potom odlažu na deponiju (grafik 6.34). U novim proizvodima odlazi 0.17% olova, dok u otpadnim gasovima iz spalionice ostane 0.10% od ulazne količine olova.

Iz sumarnog prikaza materijalnih tokova i tokova supstanci (grafik 6.35), u scenariju C kada se 98.7% otpada spaljuje, može se uočiti da najveća količina otpada, ugljenika i azota, završi kao gas. Atmosfera je odgovarajuće, odnosno uslovno-odgovarajuće odredište za ugljenik i azot, sa aspekta pogodnosti odgovarajućih odredišta (tabela 3.4). Pošto se procesima spaljivanja otpada stvara CO₂, atmosfera se definiše kao odgovarajuće odredište za ugljenik, jer se spaljivanjem otpada stvara energija, kao zamjena za istu količinu energije koja bi se dobila iz fosilnih goriva. Ako posmatramo udio šljake u odnosu na količinu otpada koja se spaljuje, oko 22% otpada se transformiše u šljaku. Atmosfera je uslovno-odgovarajuće odredište azota, a 99.99% azota odlazi kao gas u atmosferu.



Grafik 6.35. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C,N, Cd, Hg, Pb) u scenariju C

S druge strane teški metali, Cd, Hg i Pb, ostaju u šljaci i letećem pepelu. Pošto se šljaka i leteći pepeo odlažu na deponiju, ovi teški metali ostaju uskladišteni u tijelu deponije pepela i šljake, a ova deponija je definisana kao odgovarajuće odredište gore navedenih teških metala.

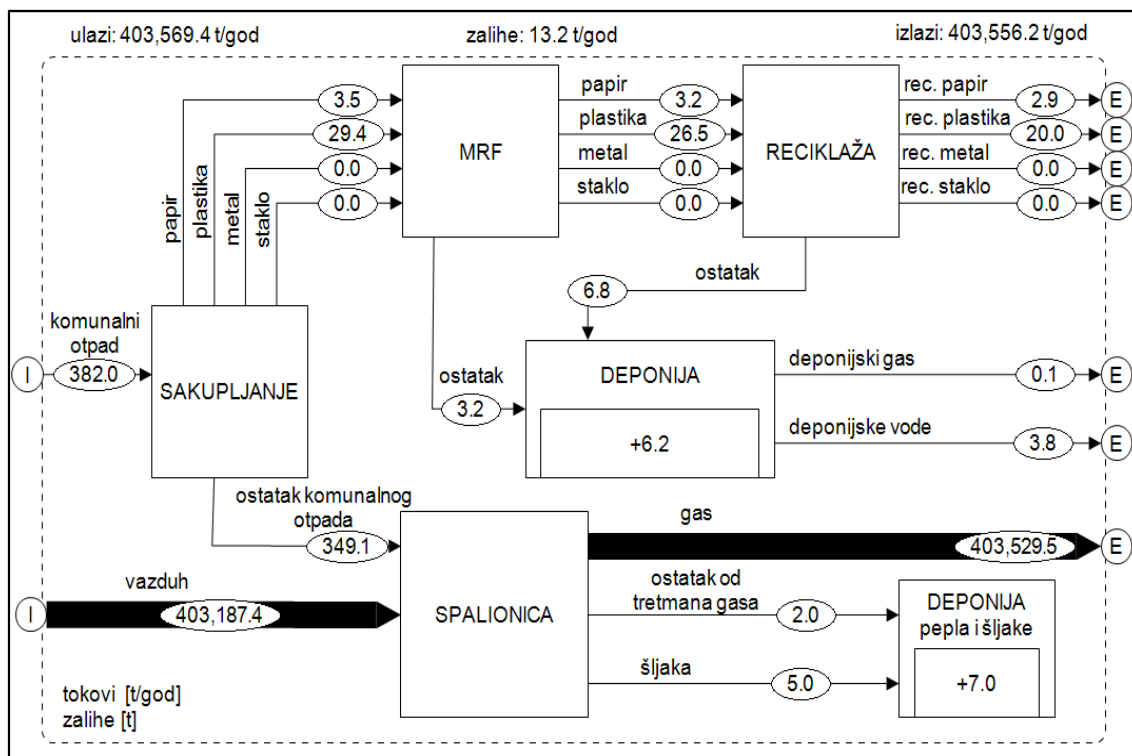
6.1.4. Scenario D

U okviru ovog scenarija modelovana su tri podscenarija D1, D2 i D3.

6.1.4.1. Scenario D1

Ukupna masa ulaznih tokova u ovom sistemu iznosi 629 439 t/god, a udio otpada koji ulazi u ovaj sistem iznosi 15.17%, a najveći dio se odnosi na vazduh (84.83%) koji se koristi za potrebe spalionice (grafik 6.36). Analizom materijalnih tokova može se zaključiti da najveći dio završi kao gas iz spalionice (94.85%), kao zaliha u tijelu deponije samo 3.72%, dok u novim proizvodima svega 1.36% otpada. 0.04% otpada se transformiše u deponijski gas, a 0.03% u procjedne vode.

Analizom toka ugljenika može se zaključiti da u odnosu na ukupnu količinu ugljenika koja ulazi u sistem 77.97% napušta sistem u formi otpadnog gasa iz spalionice (grafik 6.37). Svega 4.62% ugljenika završi kao zaliha na deponiji, a 14.71% ugljenika odlazi kao novi proizvodi. Od ukupnog ulaznog ugljenika 2.68% odlazi kao deponijski gas, a 0.02% kao procjedne vode.



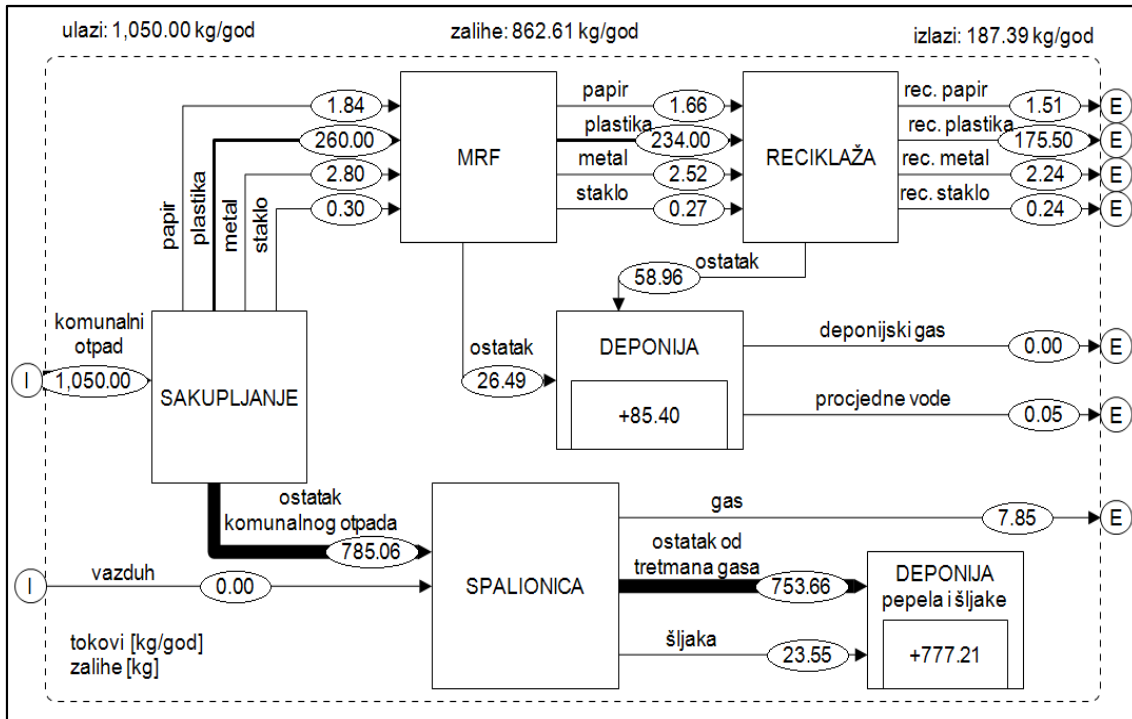
Grafik 6.38. Analiza toka azota (N) u scenariju D1

Ukupna količina azota koja ulazi u sistem iznosi 403 569.4 t/god, od čega u sklopu vazduha koji je potreban u procesu spaljivanja otpada u sistem uđe 403 187.4 t/god azota ili 99.91%, a samo 0.09% azota u otpadu (grafik 6.38). Od ukupne količine azota koji uđe u sistem 99.99% odlazi kao gas iz spalionice, a 0.01% azota odlazi u nove proizvode i kao zaliha u tijelu deponije.

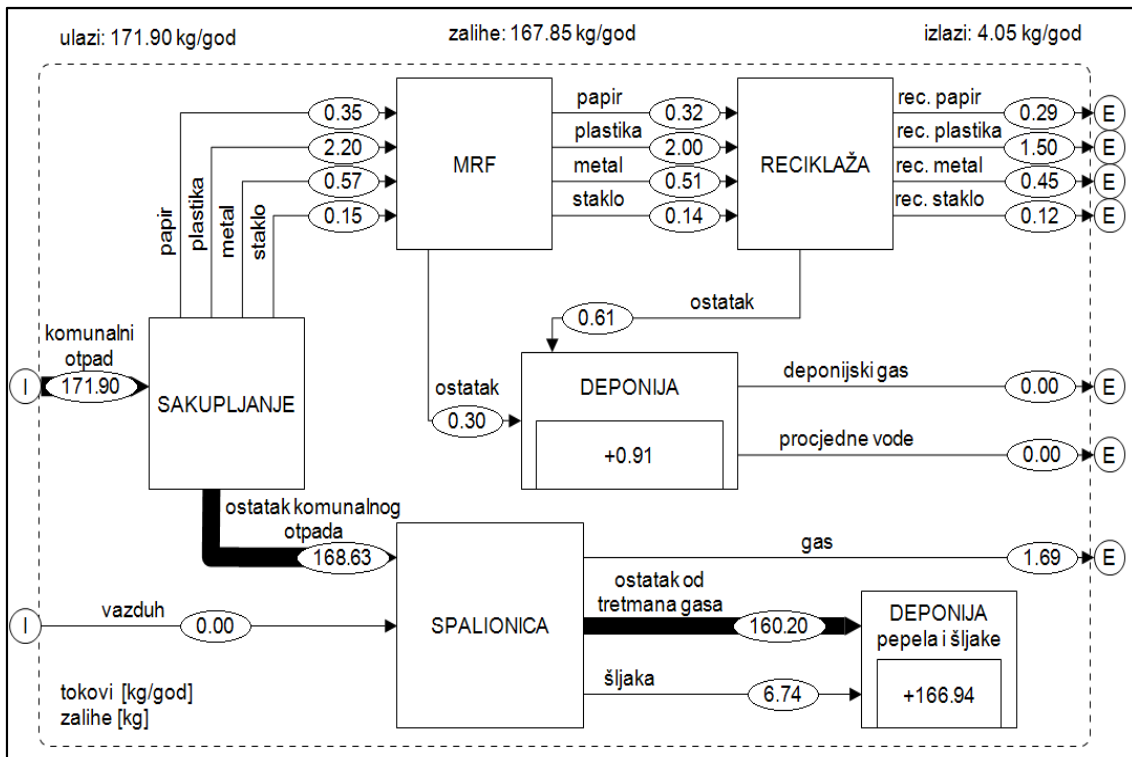
Analizom toka kadmijuma u ovom sistemu može se zaključiti da u nove proizvode odlazi 12.88% kadmijuma u odnosu na ukupnu količinu koja uđe u ovaj sistem (grafik 6.39). Od ukupne količine kadmijuma u vidu zaliha u tijelu deponije ostane 86.30%, a u gasu iz spalionice 0.81%. U deponijskom gasu nije zabilježeno prisustvo kadmijuma, a u procjedne vode je transformisano svega 0.004% ulazne količine kadmijuma.

Na osnovu izvršene analize toka žive, prikazane na grafiku 6.40, može se zaključiti da najveći procenat žive koja uđe u ovaj sistem završi kao zaliha u deponiji (97.64%), a samo mali dio u novim proizvodima (1.37%) i gasu iz spalionice (0.98%). U procjednim vodama i deponijskom gasu završi neznatna količina žive.

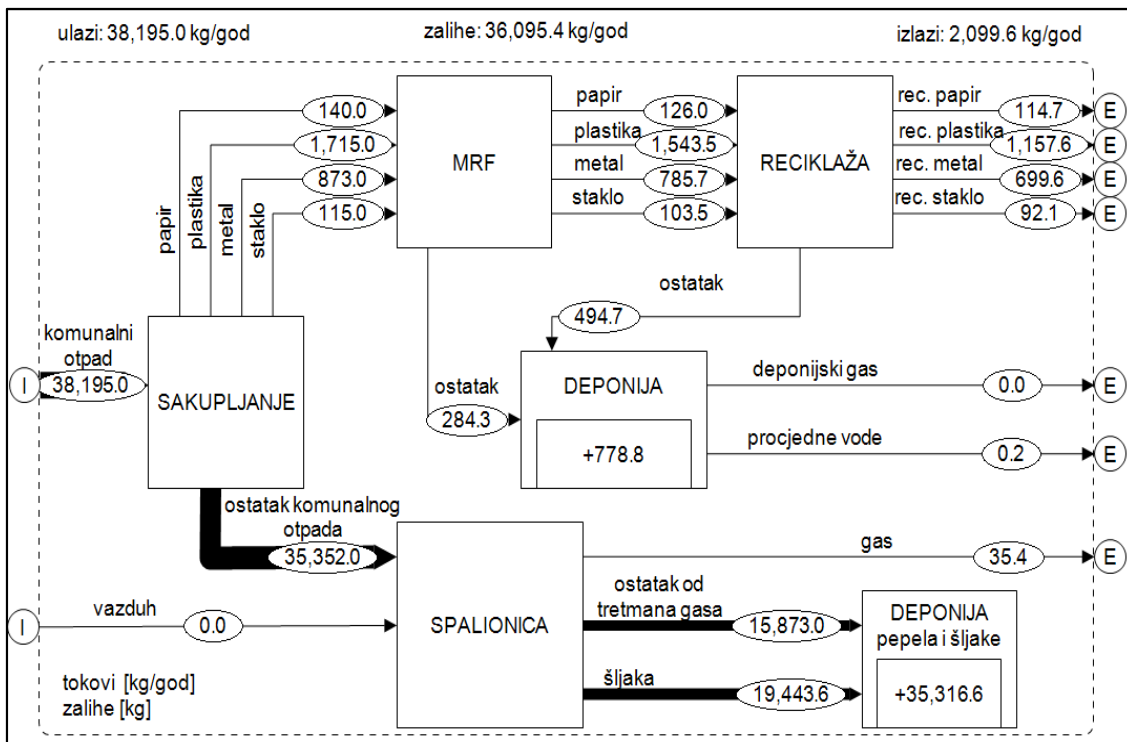
Najveći dio olova koji ulazi u sistem ostaje u tijelu deponije uskladišten (94.51%). U novim proizvodima 5.39%, a u gasu generisanom iz spalionice 0.09% olova u odnosu na ukupnu količinu olova koja je prisutna u otpadu (grafik 6.41).



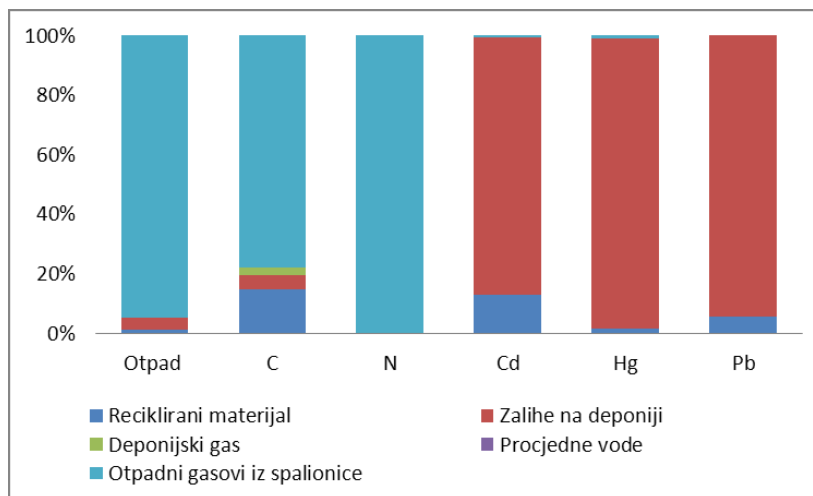
Grafik 6.39. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju D1



Grafik 6.40. Analiza toka žive (Hg) u scenariju D1



Grafik 6.41. Analiza toka olova (Pb) u scenariju D1



Grafik 6.42. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju D1

Sa grafika 6.42 se može uočiti da u scenariju D1 najveći dio otpada završava kao gas iz spalionice, a samo mali dio na deponiji i u novim proizvodima. Ugljenik iz otpada u najvećem procentu (77.97%) odlazi u produktima sagorijevanja iz spalionice u atmosferu, odnosno prema pogodnosti odgovarajućih odredišta (tabela 3.4), u odgovarajuće odredište. 99.99% azota odlazi u atmosferu sa produktima sagorijevanja, odnosno odlazi u uslovno-odgovarajuće odredište za ovu supstancu. Emisije u vazduh molekularnog azota predstavljaju odgovarajuće odredište za azot, ali ne i za NOx.

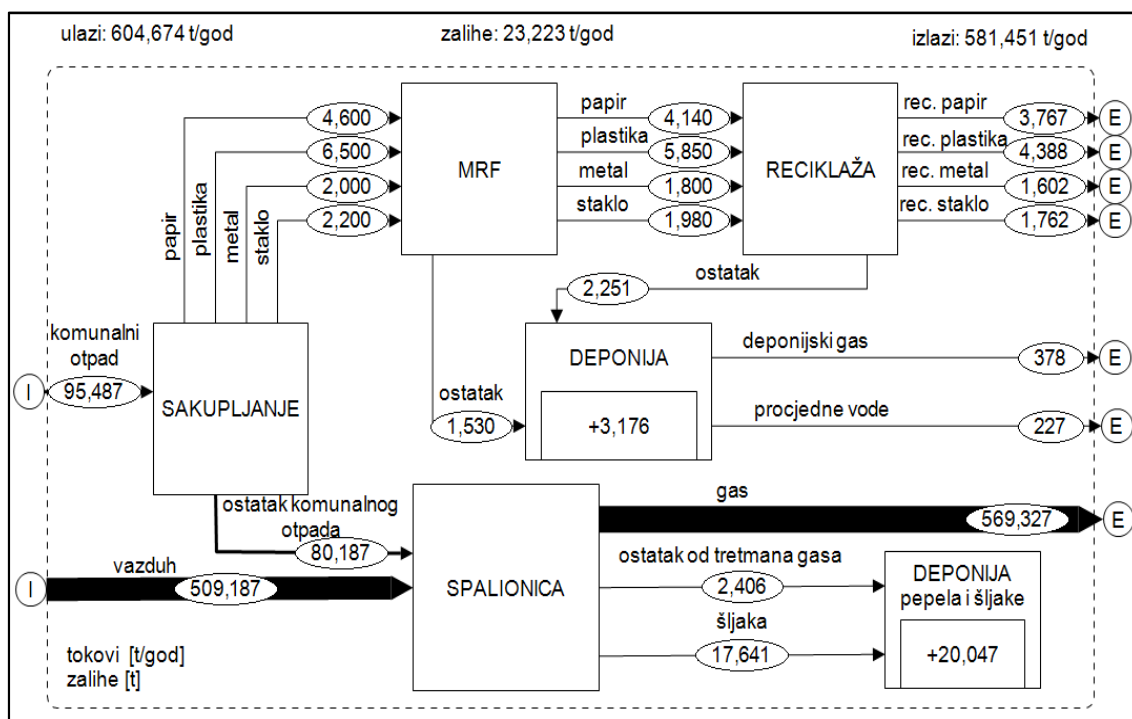
Za teške metale Cd, Hg i Pb zajedničko je:

- ostaju kao zaliha u tijelu deponije, u odgovarajućem odredištu,
- u malom procentu odlaze u nove proizvode procesom reciklaže, odnosno odlaze u neodgovarajuće odredište, jer teški metali nisu poželjni u novim proizvodima.

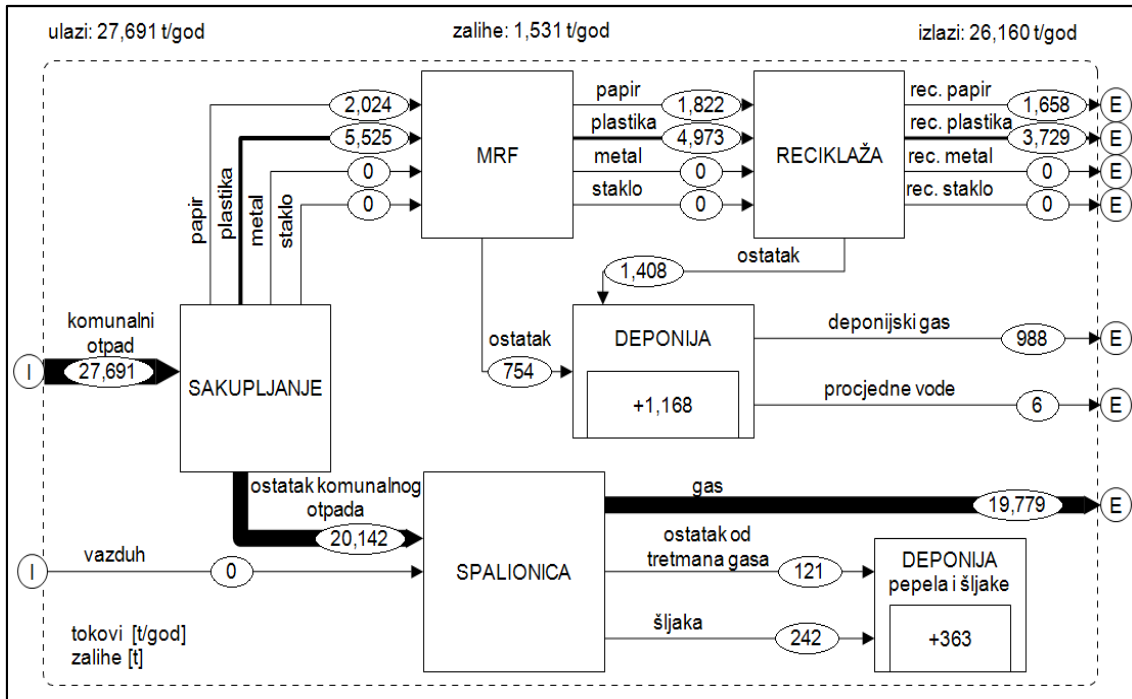
6.1.4.2. Scenario D2

Ukupna masa ulaznih tokova u ovom sistemu iznosi 604 674 t/god, a udio otpada koji ulazi u ovaj sistem iznosi 15.79%, a najveći dio se odnosi na vazduh (84.21%) koji se koristi za potrebe spalionice (grafik 6.43). Analizom materijalnih tokova može se zaključiti da najveći dio završi kao gas iz spalionice (94.15%), kao zaliha u tijelu deponije samo 3.84%, dok u novim proizvodima svega 1.9% otpada. 0.06% otpada se transformiše u deponijski gas, a 0.04% u procjedne vode.

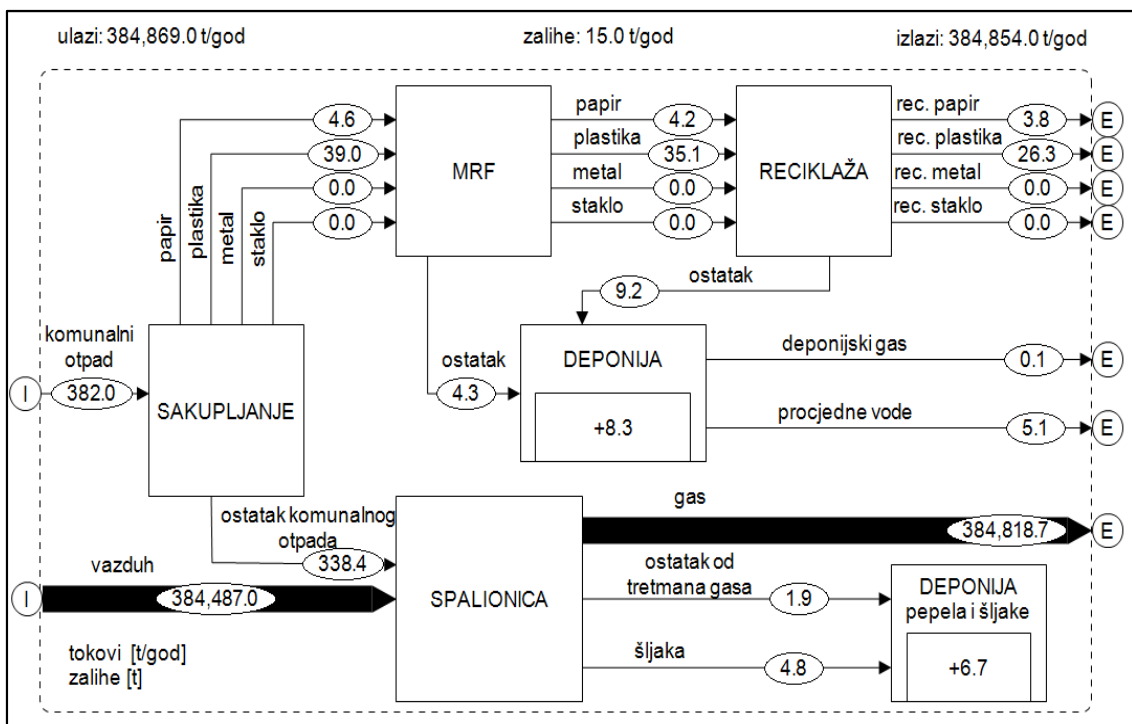
Analizom toka ugljenika može se zaključiti da u odnosu na ukupnu količinu ugljenika koja ulazi u sistem 71.44% napušta sistem u formi otpadnog gasa iz spalionice (grafik 6.44). Svega 5.54% ugljenika završi kao zaliha na deponiji, a 19.44 % ugljenika odlazi kao novi proizvodi. Od ukupnog ulaza ugljenika u sistemu 3.56% odlazi kao deponijski gas, a 0.02% kao procjedne vode.



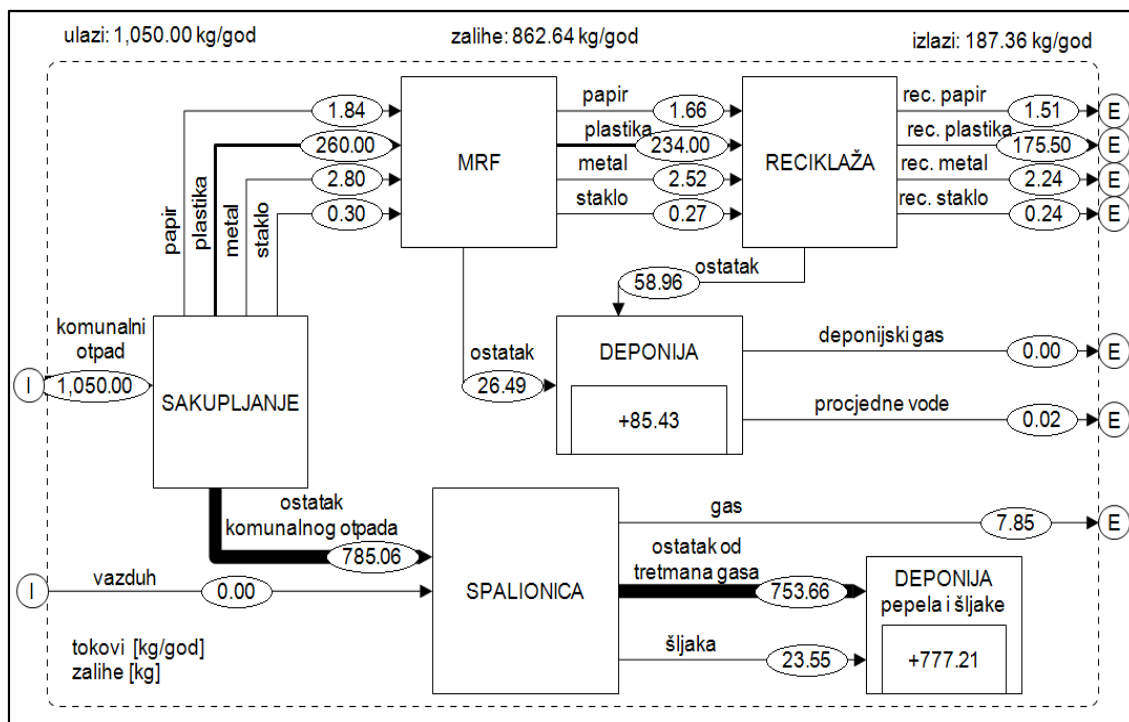
Grafik 6.43. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju D2



Grafik 6.44. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju D2



Grafik 6.45. Analiza toka azota (N) u scenariju D2



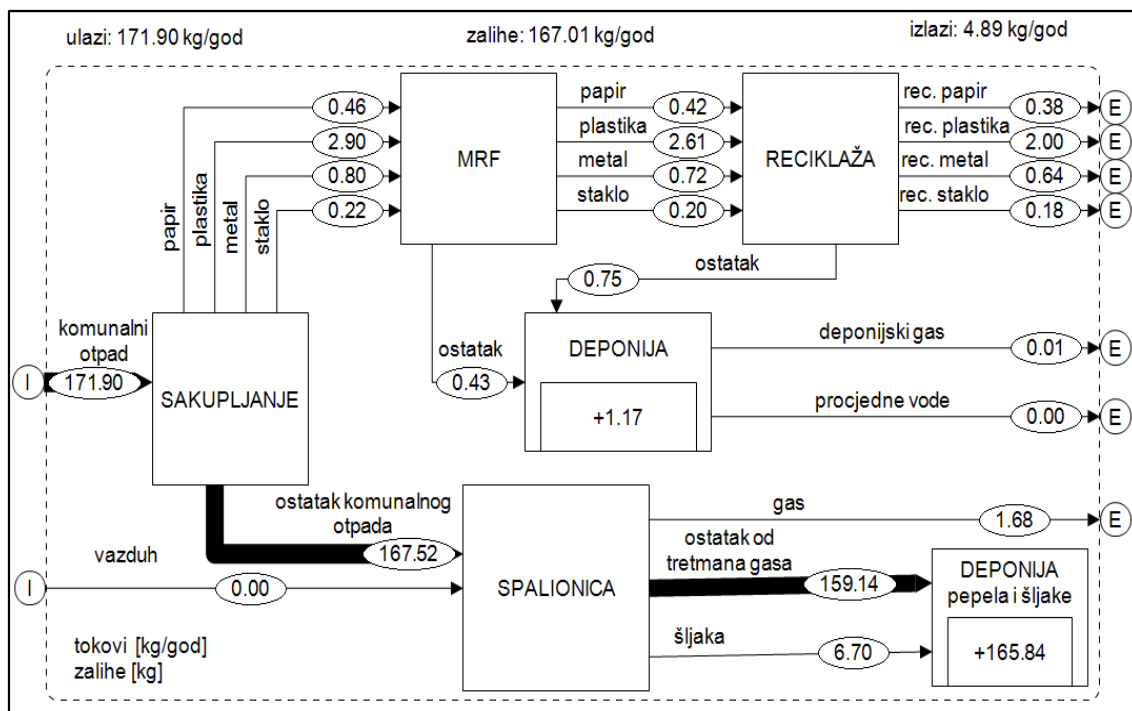
Grafik 6.46. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju D2

Ukupna količina azota koja ulazi u sistem iznosi 384 869 t/god, od čega u sklopu vazduha koji je potreban u procesu spaljivanja otpada u sistem uđe 384 487 t/god azota ili 99.91%, a samo 0.09% azota kao otpad (grafik 6.45). Od ukupne količine azota koji uđe u sistem 99.99% odlazi kao gas iz spalionice, a 0.01% azota odlazi u nove proizvode i kao zaliha u tijelu deponije.

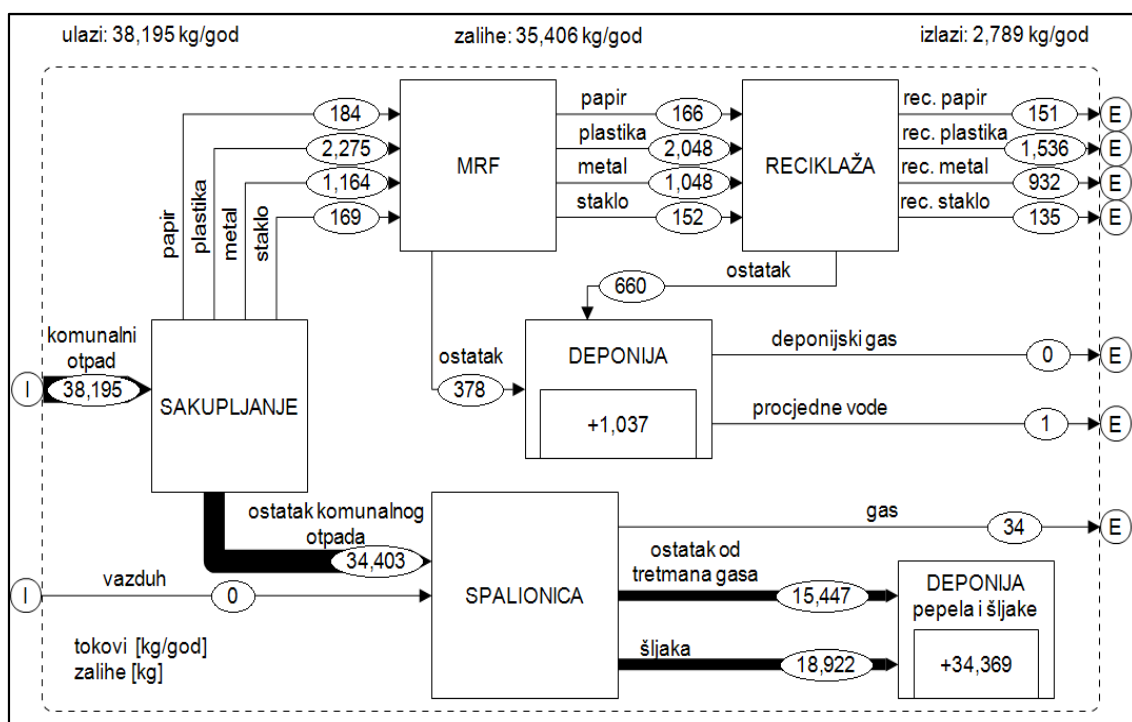
Analizom toka kadmijuma u ovom sistemu može se zaključiti da u nove proizvode odlazi 17.09% kadmijuma u odnosu na ukupnu količinu koja uđe u ovaj sistem (grafik 6.46). Od ukupne količine kadmijuma u vidu zaliha u tijelu deponije ostane 82.16%, a u gasu iz spalionice 0.75%. U deponijskom gasu nije zabilježeno prisustvo kadmijuma, a u procjednim vodama je zabilježeno svega 0.002% kadmijuma.

Na osnovu izvršene analize toka žive, prikazane na grafiku 6.47, može se zaključiti da najveći procenat žive koja uđe u ovaj sistem završi kao zaliha u deponiji (97.16%), a samo mali dio u novim proizvodima (1.86%) i gasu iz spalionice (0.98%). U procjednim vodama i deponijskom gasu neznatne su količine žive u odnosu na ulazni tok žive u ovom scenariju.

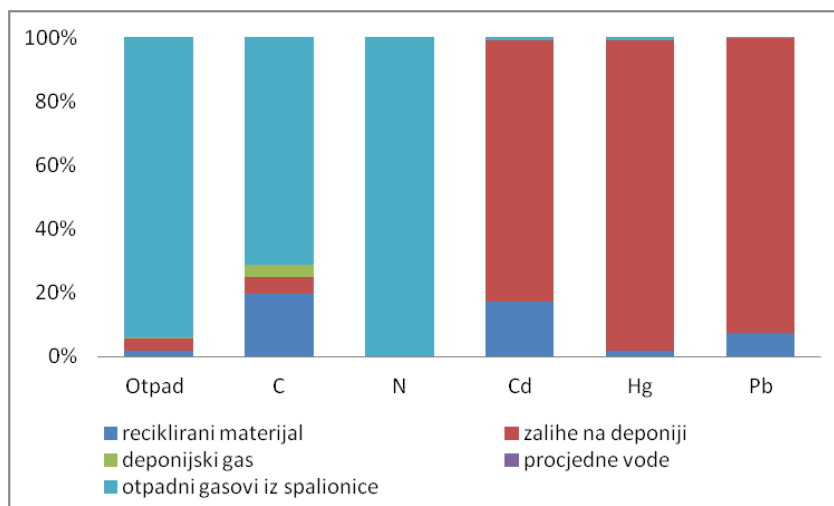
Najveći dio olova prikazanog na grafiku 6.48, koji ulazi u sistem ostaje uskladišten u tijelu deponije (92.70%). U novim proizvodima 7.21%, a u gasu generisanom iz spalionice 0.09% olova u odnosu na ukupnu količinu olova koja je prisutna u otpadu.



Grafik 6.47. Analiza toka žive (Hg) u scenariju D2



Grafik 6.48. Analiza toka olova (Pb) u scenariju D2



Grafik 6.49. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju D2

Sa grafika 6.49 se može uočiti da u scenariju D2 najveći dio otpada završava kao gas iz spalionice, a samo mali dio na deponiji i u novim proizvodima.

Ugljenik iz otpada u najvećem procentu (71.44%) odlazi u produktima sagorijevanja iz spalionice u atmosferu, a u manjem procentu odlazi u formi novih proizvoda (19.44%). Atmosfera i novi proizvodi su, sa aspekta klasa pogodnosti odgovarajućih odredišta (tabela 3.4), za ugljenik definisani kao odgovarajuća odredišta. Ugljenik spaljivanjem, odnosno mineralizacijom odlazi u formi CO₂, a u novim proizvodima ugljenik je poželjan element. 99.99% ulaznog azota u ovom scenariju odlazi kao produkt sagorijevanja u atmosferu, odnosno u uslovno-odgovarajuće odredište, ali u formi molekularnog azota, ali ne i NO_x.

Za teške metale Cd, Hg i Pb zajedničko je:

- ostaju kao zaliha u tijelu deponije (82.16% Cd, 97.16% Hg i 92.70% Pb), odnosno odlaze u odgovarajuće odredište za ove supstance,
- odlaze u nove proizvode procesom reciklaže (17.09% Cd, 1.86% Hg i 7.21% Pb) tj. odlaze u neodgovarajuće odredište, jer ovi teški metali nisu poželjni u novim proizvodima,
- u malim procentima odlaze u atmosferu putem gasa iz spalionice (0.75% Cd, 0.98% Hg i 0.09% Pb), odnosno odlaze u neodgovarajuće odredište.

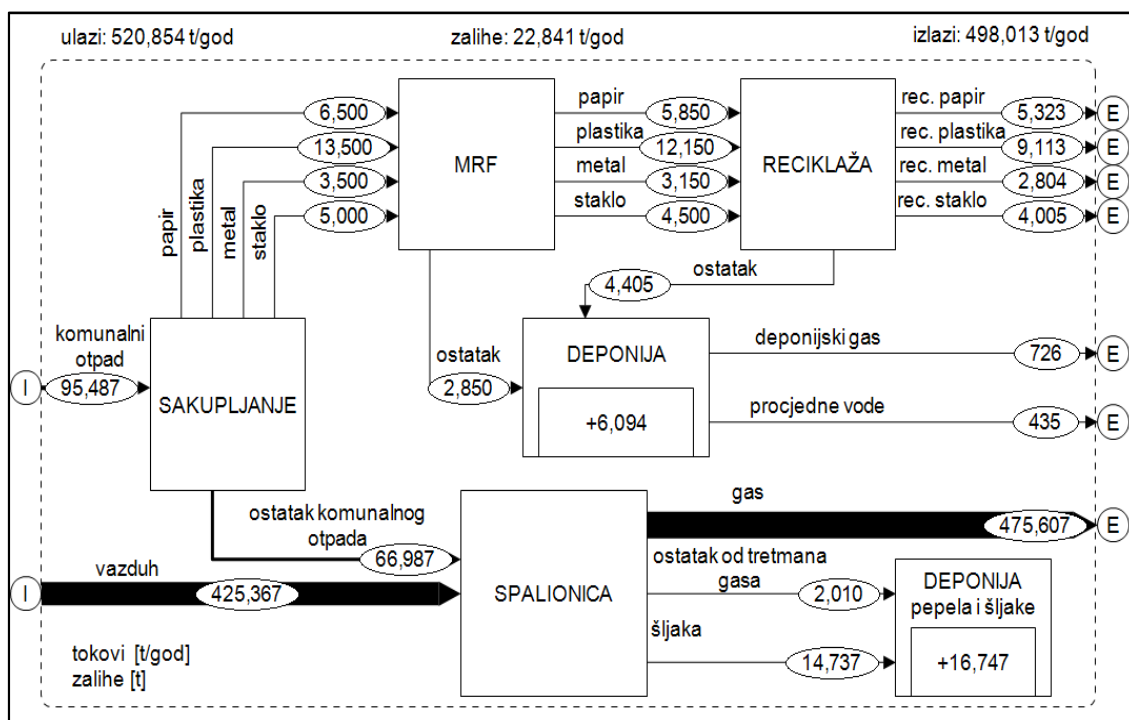
6.1.4.3. Scenario D3

Ukupna masa ulaznih tokova u ovom sistemu iznosi 520 854 t/god, a udio otpada koji ulazi u ovaj sistem iznosi 18.30%, a najveći dio se odnosi na vazduh (81.70%) koji se koristi za potrebe spalionice (grafik 6.50). Analizom materijalnih tokova može se

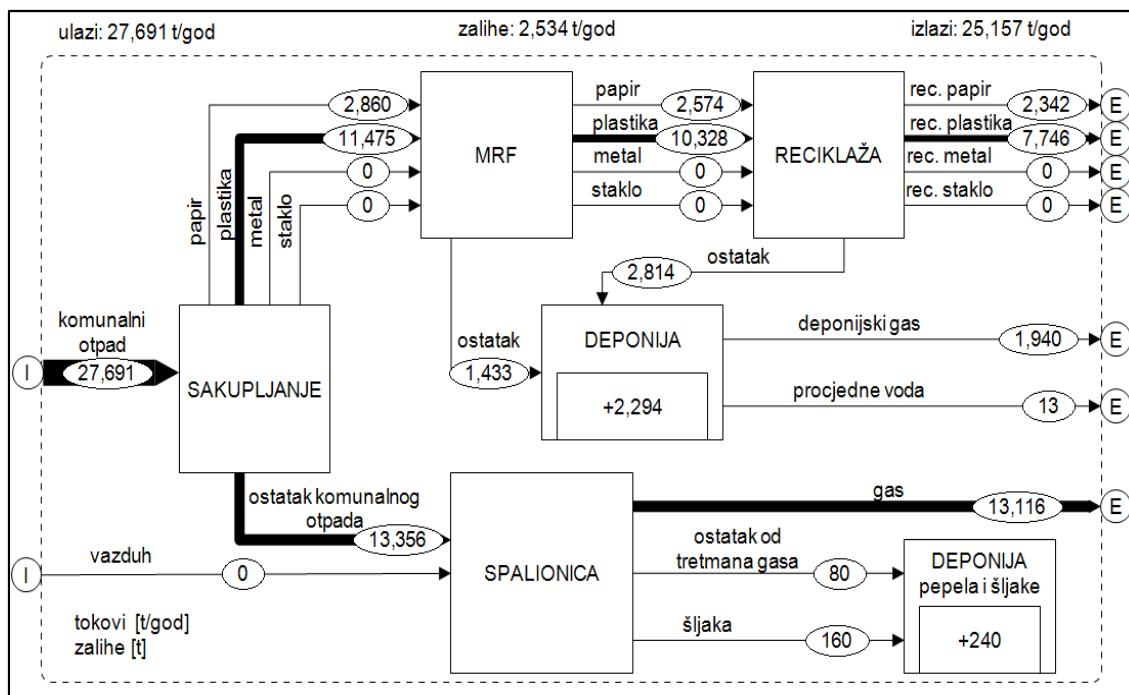
zaključiti da najveći dio završi kao gas iz spalionice (91.31%), kao zaliha u tijelu deponije samo 4.39%, dok u novim proizvodima svega 4.08% otpada. 0.14% otpada se transformiše u deponijski gas, a 0.08% u procjedne vode.

Analizom toka ugljenika može se zaključiti da u odnosu na ukupnu količinu ugljenika koja ulazi u sistem 47.36% napušta sistem u formi otpadnog gasa iz spalionice (grafik 6.51). Svega 9.15% ugljenika završi kao zaliha na deponiji, a 36.43% ugljenika odlazi kao novi proizvodi. Od ukupnog ulaza ugljenika 7.01% odlazi kao deponijski gas, a 0.05% kao procjedne vode.

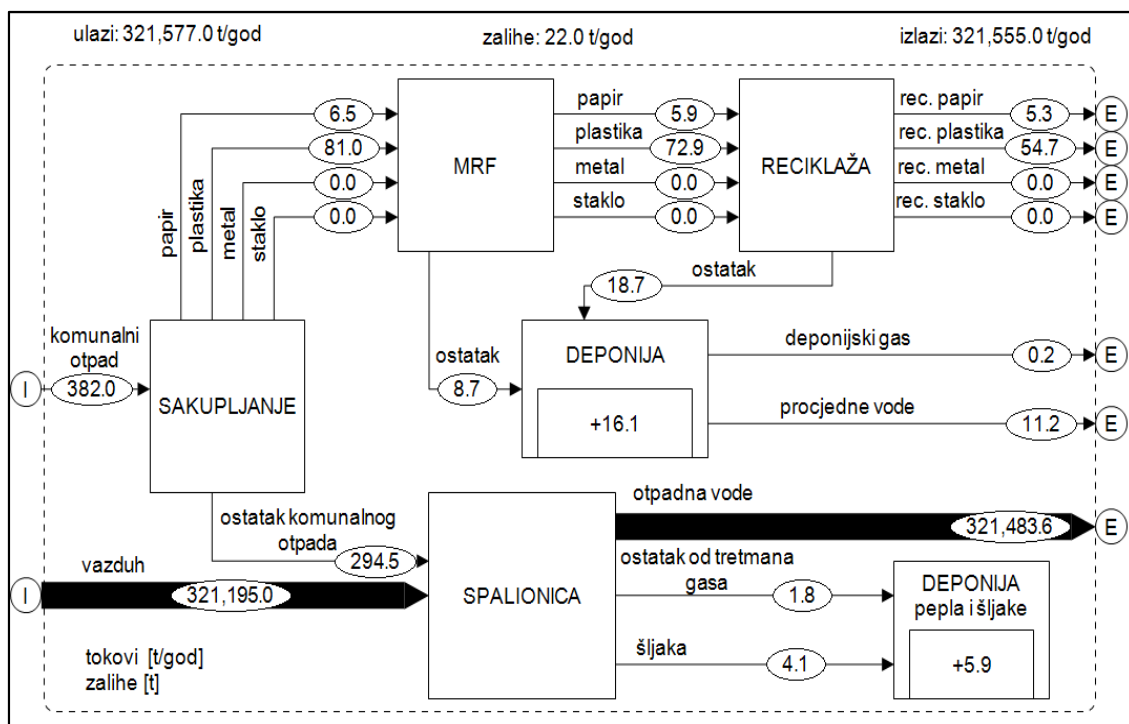
Ukupna količina azota koja ulazi u sistem iznosi 321 577 t/god, od čega u sklopu vazduha koji je potreban u procesu spaljivanja otpada u sistem uđe 321 195 t/god azota ili 99.90%, a samo 0.1% azota kao otpad (grafik 6.52). Od ukupne količine azota koji uđe u sistem 99.97% odlazi kao gas iz spalionice, a 0.02% azota odlazi u nove proizvode i kao zaliha u tijelu deponije.



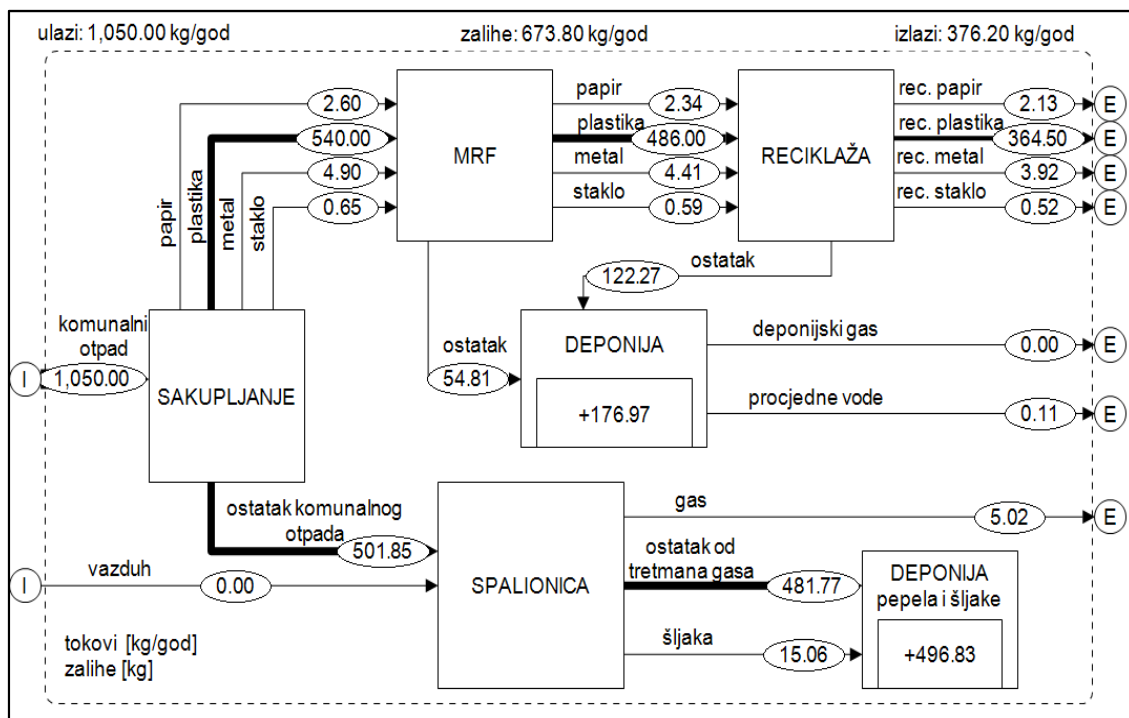
Grafik 6.50. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju D3



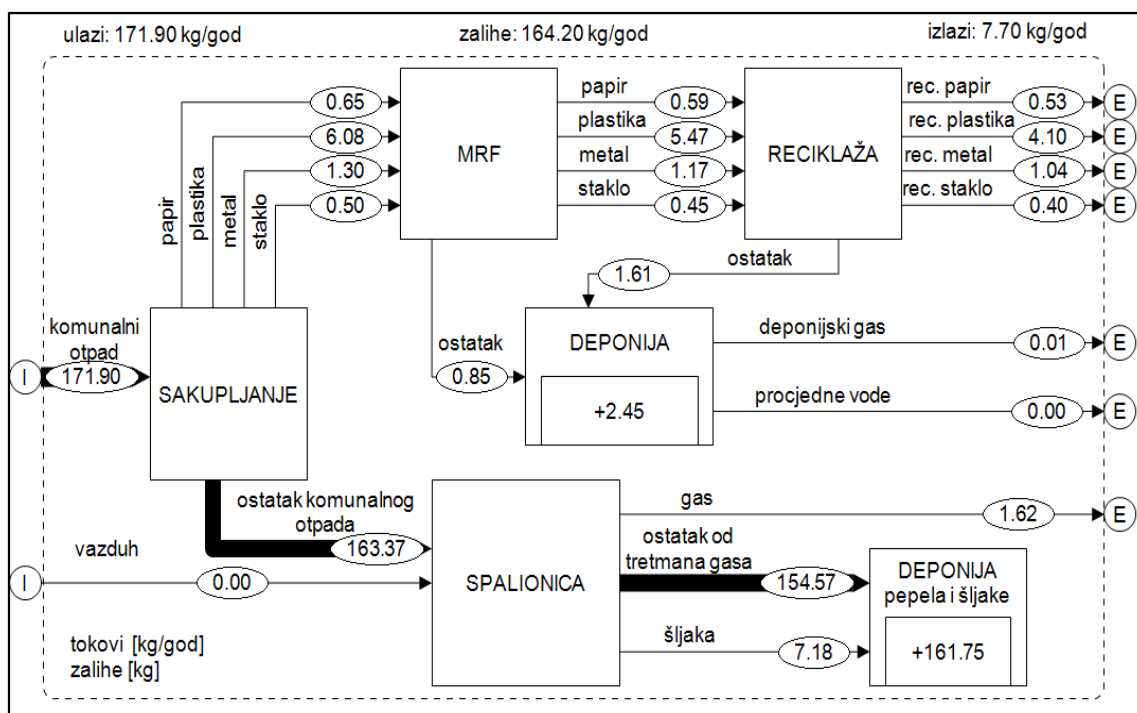
Grafik 6.51. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju D3



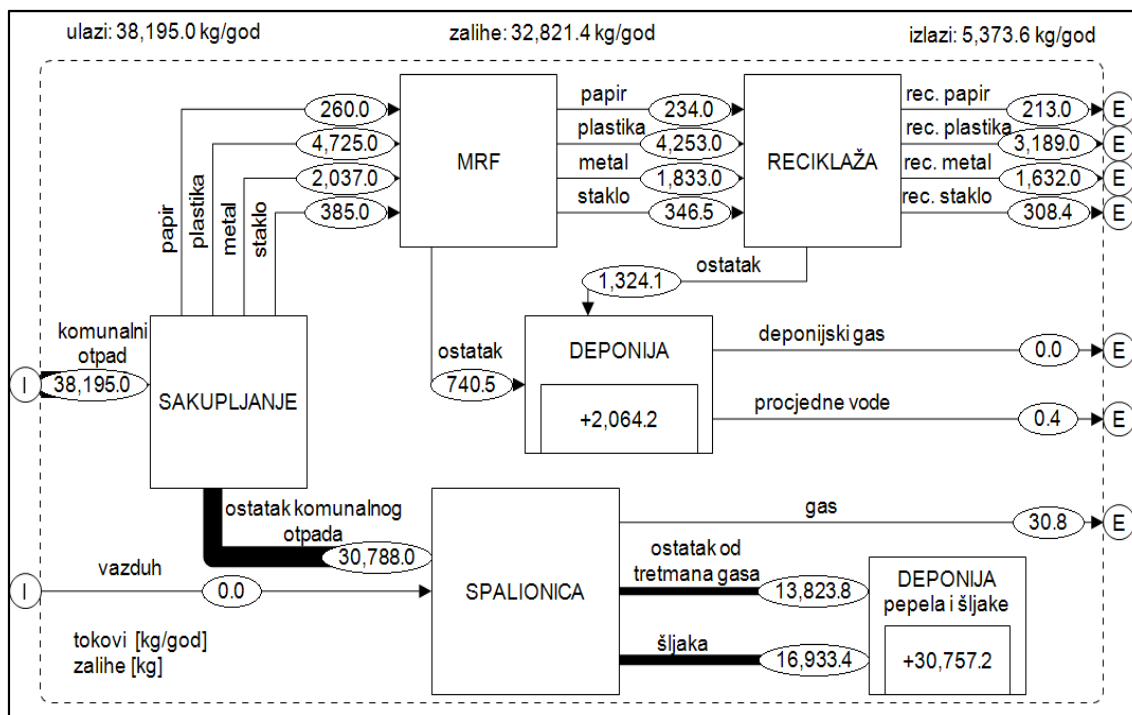
Grafik 6.52. Analiza toka azota (N) u scenariju D3



Grafik 6.53. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju D3



Grafik 6.54. Analiza toka žive (Hg) u scenariju D3

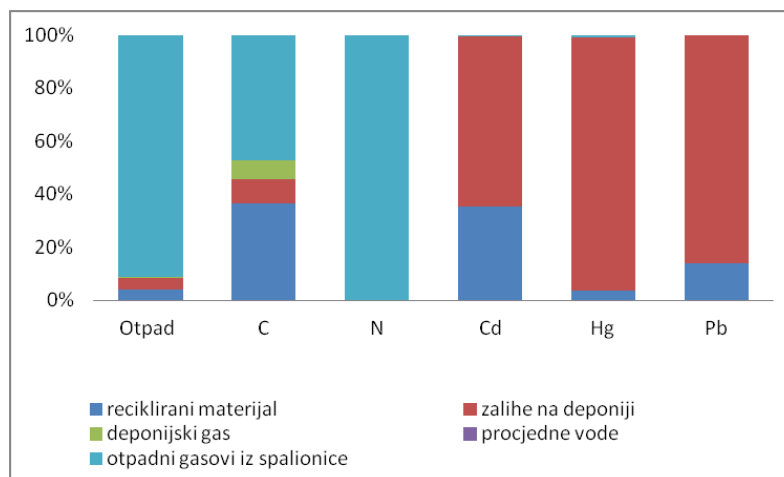


Grafik 6.55. Analiza toka olova (Pb) u scenariju D3

Analizom toka kadmijuma u ovom sistemu može se zaključiti da u nove proizvode odlazi 35.34% kadmijuma u odnosu na ukupnu količinu koja uđe u ovaj sistem (grafik 6.53). Od ukupne količine kadmijuma u vidu zaliha u tijelu deponije ostane 64.17%, a u gasu iz spalionice 0.48%. U deponijskom gasu nije zabilježeno prisustvo kadmijuma, a u procjednim vodama je prisutno svega 0.01% kadmijuma.

Na osnovu izvršene analize toka žive, prikazane na grafiku 6.54, može se zaključiti da najveći procenat žive koja uđe u ovaj sistem završi kao zaliha u deponiji (95.52%), a samo mali dio u novim proizvodima (3.53%) i gasu iz spalionice (0.94%). U deponijskom gasu živa je prisutna u iznosu od svega 0.006%.

Najveći dio olova, predstavljenog na grafiku 6.55, koji ulazi u sistem ostaje u tijelu deponije uskladišten (85.93%). U novim proizvodima 13.99%, a u gasu generisanom iz spalionice 0.08% olova u odnosu na ukupnu količinu olova koja je prisutna u otpadu.



Grafik 6.56. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju D3

Sa grafika 6.56 se može uočiti da u scenariju D3 najveći dio otpada završava kao gas iz spalionice, a samo mali dio na deponiji i u novim proizvodima.

Ugljenik iz otpada u najvećem procentu odlazi u produktima sagorijevanja iz spalionice (47.36%) i u formi novih proizvoda (36.43%), odnosno u odgovarajuća odredišta za ovu supstancu, prema klasama pogodnosti odgovarajućih odredišta (tabela 3.4). Azot se u najvećem procentu transformiše procesima u spalionici u gas (99.97%) i odlazi u atmosferu, tj. u uslovno-ogovarajuće odredište za azot, ali u formi molekularnog azota ali ne i NO_x.

Za teške metale Cd, Hg i Pb zajedničko je:

- ostaju kao zaliha u tijelu deponije (64.17% Cd, 95.52% Hg i 85.93% Pb), odnosno ovi teški metali odlaze u odgovarajuće odredište, i imaju nizak dugoročni rizik po životnu sredinu,
- odlaze u nove proizvode procesom reciklaže (35.34% Cd, 3.53% Hg i 13.99% Pb), tj. neodgovarajuće odredište, a teški metali nisu nikako poželjni u novim proizvodima,
- manji dio teških metala (0.48% Cd, 0.94% Hg i 0.08% Pb) odlazi u atmosferu sa produktima sagorijevanja, odnosno odlaze u neodgovarajuće odredište.

6.2. Rezultati LCA

Rezultati LCA su predstavljeni kroz LCIA odnosno putem kategorija uticaja. Kategorije uticaja su radi lakše interpretacije dobijenih rezultata normalizovani, odnosno predstavljeni u ekvivalentu po čovjeku (*eng. people equivalent* - PE). Kategorije uticaja su podijeljene u dvije grupe:

- standardne kategorije uticaja i
- kategorije uticaja na ljudsko zdravlje.

6.2.1. LCIA za standardne kategorije uticaja

U tabeli 6.1 su predstavljeni rezultati LCIA za standardne kategorije uticaja na životnu sredinu za modelovane scenarije upravljanja otpadom A, B1, B2, B3, C, D1, D2 i D3 izraženo u ekvivalentu po čovjeku (PE) (tabela 5.8). Za izradu LCIA je korišćen softver EASETECH. Pozitivne vrijednosti kategorija uticaja predstavljaju opterećenja u životnu sredinu, a negativne vrijednosti uštede, odnosno koristi u životnu sredinu.

Tabela 6.1. LCIA za standardne kategorije uticaja na životnu sredinu za modelovane scenarije upravljanja otpadom (u PE)

	A	B1	B2	B3	C	D1	D2	D3
GW	5241	-889	-1217	-2253	-4893	-5207	-5238	-5666
AC	-119	-494	-902	-2353	-6177	-5972	-5911	-5823
ETwc	94	82	62	38	9.9	11	9.3	7.5
AE	7432	5974	4482	1913	-3294	-3258	-3657	-3928
POF	443	-145	-354	-977	-1512	-1529	-1552	-1683
ECT	1187	1048	777	430	111	101	76	23.36
NE	1.13E+4	8903	6616	2642	-4211	-4378	-5161	-6005

Iz prethodne tabele se može uočiti sljedeće:

- pozitivne vrijednosti GW su u scenariju A, dok su u ostalim modelovanim scenarijima upravljanja otpadom vrijednosti GW imale negativne vrijednosti,
- AC je u svim scenarijima upravljanja otpadom imala negativne vrijednosti,
- ETwc je u svim scenarijima upravljanja otpadom imala pozitivne vrijednosti, odnosno opterećenje u životnu sredinu, ali u scenariju A ETwc je imala najveću pozitivnu vrijednost,
- AE je imala pozitivne vrijednosti u scenarijima A i B1-B3, dok je u ostalim scenarijima upravljanja otpadom (C, D1-D3) imala negativne vrijednosti,
- pozitivne vrijednosti POF, odnosno opterećenje sa aspekta ove kategorije uticaja na životnu sredinu je u scenariju A, dok je u ostalim scenarijima ova kategorija uticaja na životnu sredinu imala negativne vrijednosti,
- ECT je u svim modelovanim scenarijima upravljanja otpadom imala pozitivne vrijednosti dok je najveća vrijednost ove kategorije uticaja u scenariju A,

- NE je imala pozitivne vrijednosti u scenarijima A i B1-B3, dok je u ostalim scenarijima upravljanja otpadom (C, D1-D3) imala negativne vrijednosti. Najveća pozitivna vrijednost NE, odnosno opterećenje u životnu sredinu je u scenariju A.

6.2.2. LCIA za kategorije uticaja na ljudsko zdravlje

U tabeli 6.2. su predstavljeni rezultati LCIA za kategorije uticaja na ljudsko zdravlje za modelovane scenarije upravljanja otpadom A, B1, B2, B3, C, D1, D2 i D3 izraženo u ekvivalentu po čovjeku (PE). Pozitivne vrijednosti predstavljaju opterećenja sa aspekta zdravlja ljudi, a negativne vrijednosti uštede, odnosno koristi.

Tabela 6.2. LCIA za kategorije uticaja na ljudsko zdravlje za modelovane scenarije upravljanja otpadom (u PE)

	A	B1	B2	B3	C	D1	D2	D3
HTa	2044	697	557	119	-1924	-1753	-1683	-1501
HTs	218	174	145	100	-24	-20	-17	-10
HTw	193	-37	-239	-377	1281	925	823	580
HuT-C	2463	2526	2114	1531	619	620	620	593
HuT NC	293	-430	-1162	-1594	674	454	394	233

Iz prethodne tabele se može uočiti sljedeće:

- najveća pozitivna vrijednost HTa je u scenariju A. Pozitivne vrijednosti su takođe zabilježene i u scenarijima B1-B3, dok je u scenarijima C i D1-D3, HTa imala negativne vrijednosti,
- HTs je imala pozitivne vrijednosti odnosno opterećenje u životnu sredinu u scenarijima A i B1-B3, dok je u scenarijima C i D1-D3, HTs imala negativnu vrijednost odnosno korist sa aspekta zdravlja ljudi,
- HTw je imala negativne vrijednosti u scenarijima B1-B3, dok je u scenarijima A, C i D1-D3 ova kategorija uticaja imala pozitivne vrijednosti. Najveća pozitivna vrijednost je zabilježena u scenariju C,
- pozitivne vrijednosti HuT-C su u svim modelovanim scenarijima upravljanja otpadom, ali najveća vrijednost je u scenariju A,
- HuT NC je imala pozitivne vrijednosti odnosno opterećenje u životnu sredinu u scenarijima A i D1-D3, dok su u scenarijima B1-B3 HuT NC imale negativne vrijednosti odnosno korist u životnu sredinu. Najveća pozitivna vrijednost je u scenariju C.

7. DISKUSIJA

Kao što je navedeno, ova doktorska disertacija se bavi analizom modelovanih scenarija upravljanja komunalnim otpadom:

- scenario A (status quo) – odlaganje otpada na neuređenu deponiju,
- scenario B – odvojeno sakupljanje ambalažnog otpada koji se razdvaja na frakcije (papir, metal, staklo, plastika) a potom reciklira i odvojeno sakupljanje organskog otpada koji se prerađuje u kompost. Ostatak otpada se odlaže na deponiju,
- scenario C – sav sakupljeni komunalni otpad se spaljuje,
- scenario D – odvojeno sakupljeni ambalažni otpad se razdvaja na frakcije (papir, metal, staklo, plastika), koje se recikliraju, a ostatak komunalnog otpada se spaljuje u spalionici.

7.1. Analiza toka otpada

Sumarni grafik 7.1 predstavlja analizu tokova materijala odnosno otpada u modelovanim scenarijima upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji.

U scenariju A, odnosno sadašnjim načinom odlaganja otpada na neuređenu deponiju, najveća količina otpada završava kao zaliha u tijelu deponije, te u formi deponijskog gasa i procjednih voda. Iz samo male količine otpada se generišu novi proizvodi.

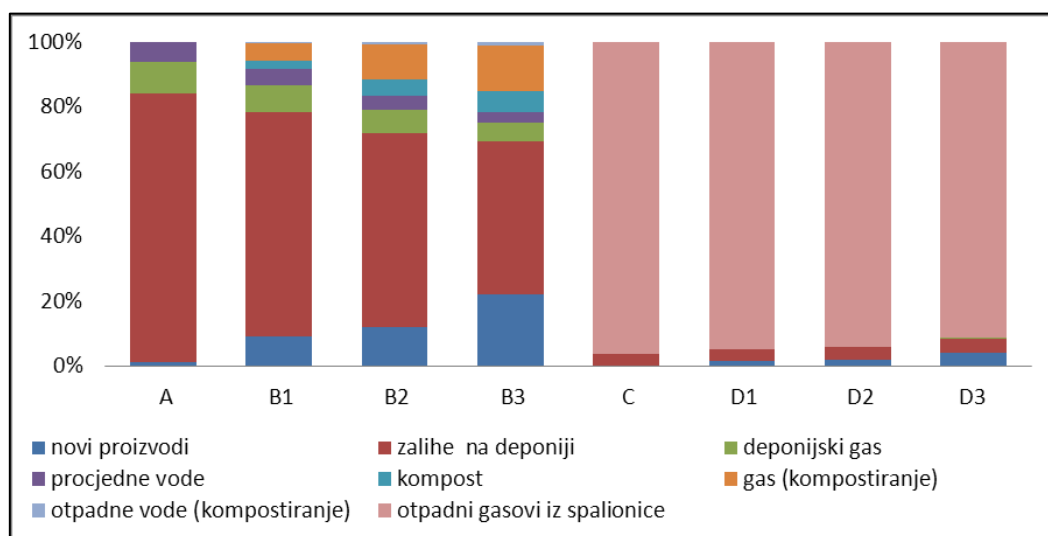
Analizom tokova materijala za scenarije B1, B2 i B3 (sa povećanjem stepena odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada sa 25% na 35, odnosno na 55% i povećanjem odvojenog sakupljanja organskog otpada sa 25% na 50%, odnosno na 65%) može se sa grafika 7.1 uočiti sljedeće:

- povećava se količina dobijenog komposta i povećava se količina gasa i otpadnih voda pri procesu kompostiranja, jer su daleko veće količine organskog otpada koji se kompostira,
- povećava se količina ambalažnog otpada koji se reciklira, odnosno povećava se udio otpada u novim proizvodima,
- smanjuje se količina odloženog otpada na deponiju, utičući na smanjivanje količine deponijskog gasa i procjednih voda.

Analizom tokova materijala za scenario C i scenarije D1-D3, odnosno poređenje tokova materijala za slučaj kada se sav otpad spaljuje i kombinacija spaljivanja otpada

sa odvojenim sakupljanjem ambalažnog otpada (25%, 35%, odnosno 55% izdvajanja ambalažnog otpada) može se sa grafika 7.1 uočiti sljedeće:

- povećava se količina ambalažnog otpada koji se reciklira, odnosno povećava se udio otpada u novim proizvodima,
- povećava se neznatno količina odloženog otpada na deponiju, iz razloga što se sa povećanjem stepena odvojenog sakupljanja otpada povećava količina ostatka sa MRF postrojenja i ostatka iz procesa reciklaže, koji se odlaže na deponiju,
- najveća količina otpada koji ulazi u sistem završava u formi otpadnih gasova iz spalionice.



Grafik 7.1. Sumarni pregled analize tokova materijala (otpada) u analiziranim scenarijima

7.2. Analiza toka ugljenika

Na grafiku 7.2 predstavljen je tok ugljenika u modelovanim scenarijima upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji.

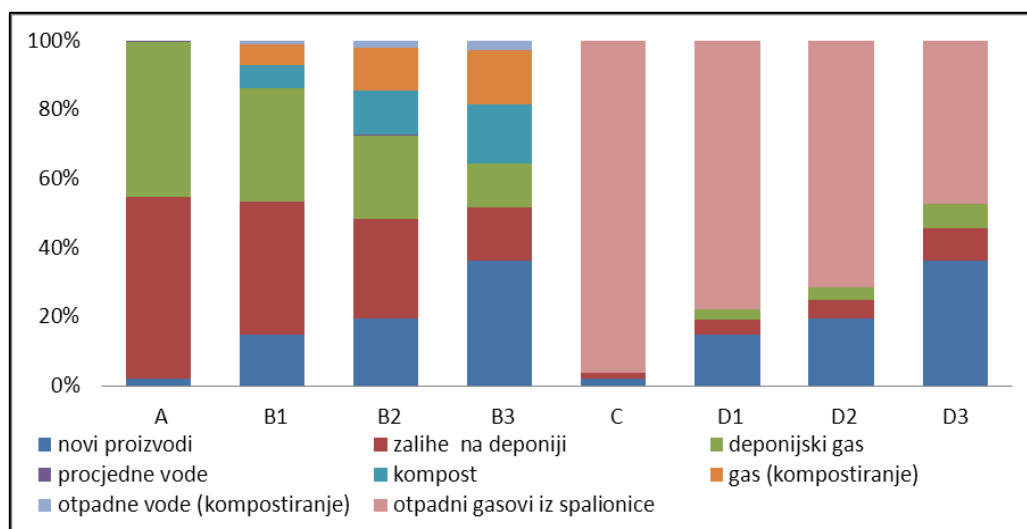
Trenutnim načinom upravljanja deponijom (scenario A), odnosno nesanitarnim načinom, najveća količina ugljenika ostaje zarobljena u tijelu deponije, a direktnim ispuštanjem deponijskih gasova jedinjenja ugljenika odlaze u atmosferu.

Analizom toka ugljenika za scenarije B1, B2 i B3 (sa povećanjem stepena odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada sa 25% na 35%, odnosno na 55% i povećanjem odvojenog sakupljanja organskog otpada sa 25% na 50%, odnosno na 65%) može se sa grafika 7.2 uočiti sljedeće:

- povećava se količina ugljenika u kompostu, gasu i otpadnim vodama pri procesu kompostiranja,
- povećava se količina ugljenika u recikliranim, odnosno novim proizvodima,
- smanjuje se količina ugljenika u deponijskom gasu,
- drastično smanjuje količina ugljenika u deponovanom otpadu.

Analizom toka ugljenika za scenario C i scenarije D1-D3, odnosno poređenje toka ugljenika za slučaj kada se sav otpad spaljuje i kombinacija spaljivanja otpada sa odvojenim sakupljanjem ambalažnog otpada (25%, 35% odnosno 55% izdvojenog ambalažnog otpada), može se uočiti sljedeće:

- povećanjem stepena reciklaže, smanjuje se količina otpada koji se spaljuje utičući na smanjivanje količine gasa iz spalionice,
- pošto se povećanjem stepena reciklaže povećava ostatak sa MRF postrojenja i reciklaže povećava se količina otpada koji se deponuje, utiče na povećanje produkcije deponijskog gasa, odnosno ugljenika u deponijskom gasu i uskladištenog ugljenika u tijelu deponije.

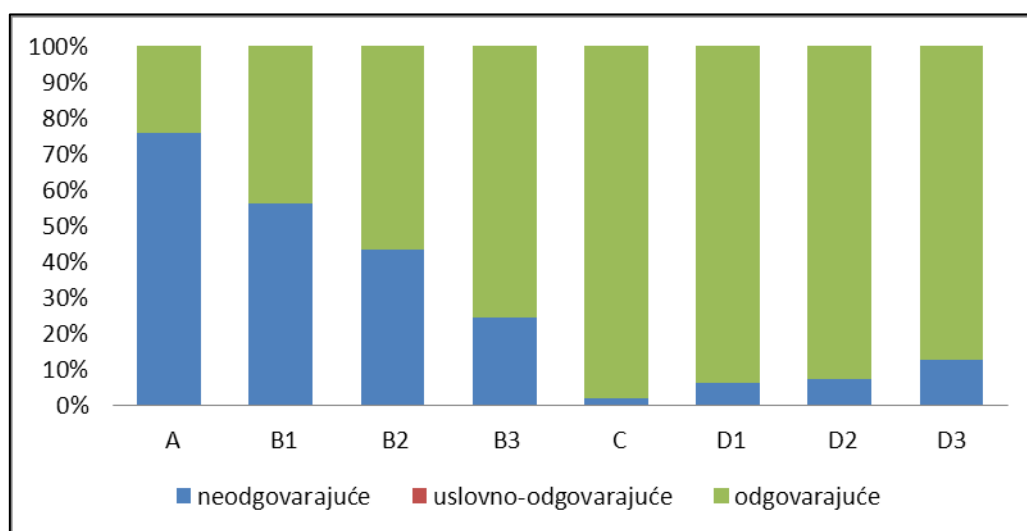


Grafik 7.2. Sumarni pregled analize toka ugljenika (C) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Na osnovu podataka o toku ugljenika dobijenih SFA analizom evaluirani su dobijeni podaci u pogledu usmjeravanja ove supstance u definisana odredišta (tabeli 3.4) i prikazani na grafiku 7.3. Sa ovog grafika toka ugljenika u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom A, B1-B3, C i D1-D3 se može uočiti sljedeće:

- najveći procenat ugljenika koji odlazi u neodgovarajuće odredište je u scenariju A, odnosno u trenutnom načinu upravljanja otpadom,

- primjenom odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada i organskog otpada i njihovom reciklažom, odnosno kompostiranjem (scenario B1-B3) se smanjuje udio ugljenika koji odlazi u neodgovarajuće odredište,
- spaljivanjem otpada u scenariju C, najveća količina ugljenika odlazi u odgovarajuće odredište,
- u scenarijima D1-D3, gdje se odvojeno sakupljanja ambalažni otpad, a potom reciklira, dok se ostatak otpada spaljuje, takođe najveći procenat ugljenika odlazi u odgovarajuće odredište.



Grafik 7.3. Tok ugljenika (C) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

7.3. Analiza toka azota

Na grafiku 7.4 predstavljen je tok azota u modelovanim scenarijima upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji.

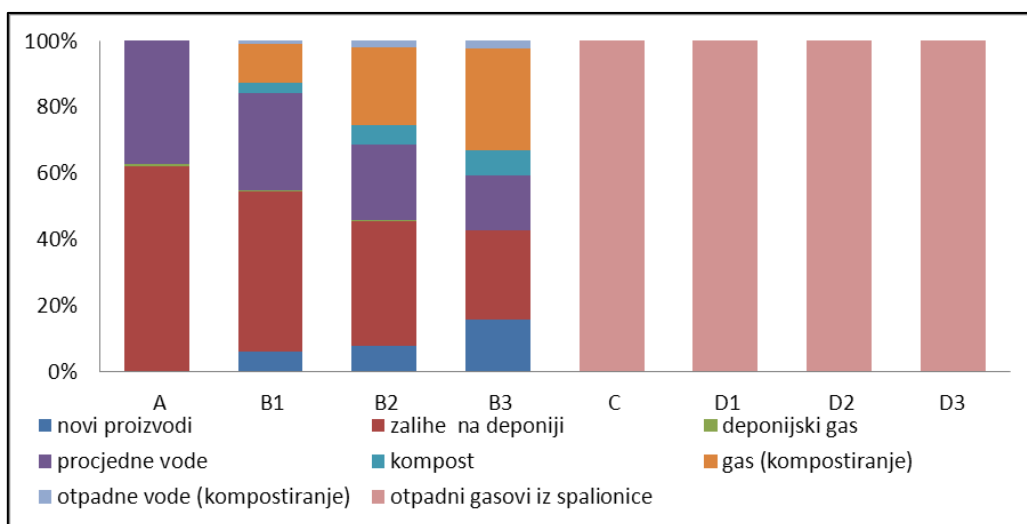
Analizom toka azota u scenariju A može se dolje prikazanog grafika vidjeti da najveća količina azota ostaje uskladištena u tijelu deponije i u procjednim vodama.

Analizom toka azota za scenarije B1, B2 i B3 (sa povećanjem stepena odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada sa 25% na 35%, odnosno na 55% i povećanjem odvojenog sakupljanja organskog otpada sa 25% na 50%, odnosno na 65%) može se sa grafika 7.4 uočiti sljedeće:

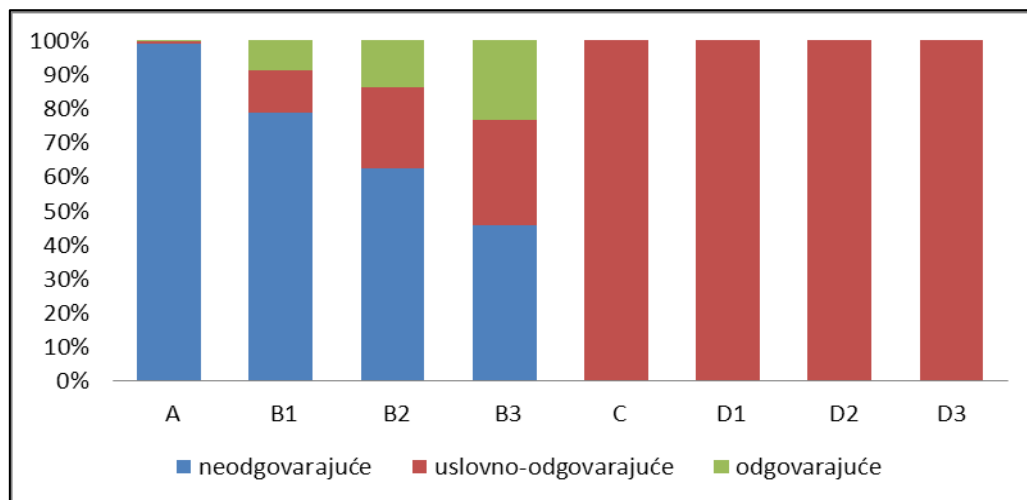
- povećava se udio azota u kompostu, gasu i otpadnim vodama u procesu kompostiranja,

- smanjuje se količina azota u deponijskom gasu i procjednim vodama, te u odloženom otpadu,
- povećava se udio azota u novim proizvodima.

Analizom toka azota za scenarije C, D1, D2 i D3 može se uočiti da je iz razloga velike količine vazduha koja je potrebna za proces spaljivanja, a samim time dominantan je tok izlazne količine azota u otpadnim gasovima u odnosu na druge izlazne tokove.



Grafik 7.4 Sumarni pregled analize toka azota (N) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom



Grafik 7.5. Tok azota (N) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Na osnovu podataka o toku azota dobijenih SFA analizom evaluirani su dobijeni podaci u pogledu usmjeravanja ove supstance u definisana odredišta (tabela 3.4) su

prikazani na grafiku 7.5. Sa ovog grafika toka azota u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom A, B1-B3, C i D1-D3 se može uočiti sljedeće:

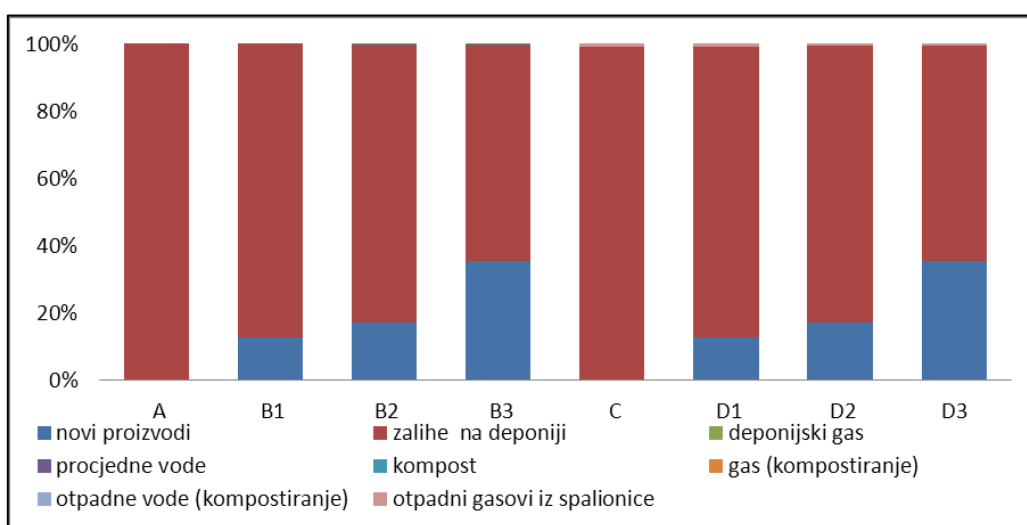
- najveći procenat azota koji odlazi u neodgovarajuće odredište je u scenariju A, odnosno u trenutnom načinu upravljanja otpadom,
- primjenom odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada i organskog otpada i njihovom reciklažom odnosno kompostiranjem (scenario B1-B3) se smanjuje udio azota koji odlazi u neodgovarajuće odredište,
- u scenarijima C i D1-D3 skoro sva količina azota iz sistema odlazi u uslovno-odgovarajuće odredište.

7.4. Analiza toka kadmijuma

Na grafiku 7.6 predstavljen je tok kadmijuma u modelovanim scenarijima upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji.

U scenariju A skoro sav kadmijum ostaje u tijelu deponije zarobljen u formi jedinjenja koja su slabo rastvorljiva i pokretljiva. Analizom toka kadmijuma za scenarije B1, B2 i B3 (sa povećanjem stepena odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada sa 25% na 35%, odnosno na 55% i povećanjem odvojenog sakupljanja organskog otpada sa 25% na 50%, odnosno na 65%) može se sa grafika 7.6 uočiti sljedeće:

- smanjuje se udio kadmijuma u odloženom otpadu na deponiji,
- povećava se udio kadmijuma u novim proizvodima (recikliranim materijalima i kompostu).



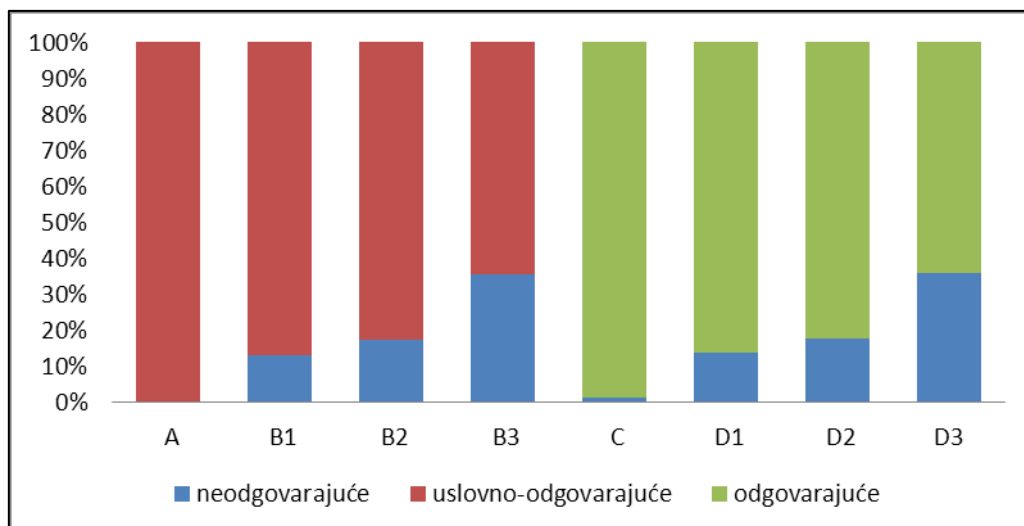
Grafik 7.6. Sumarni pregled analize toka kadmijuma (Cd) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Analizom toka kadmijuma u analiziranim scenarijima C, D1, D2 i D3 može se zaključiti:

- da u scenariju kada sav otpad odlazi u spalionicu (scenario C) kadmijum koji ulazi u sistem završava na deponiji,
- povećanjem stepena odvajanja i reciklaže ambalažnog otpada, povećava se i količina kadmijuma u recikliranim proizvodima (novim sirovinama), a smanjuje količina otpada koji se spaljuje pa se smanjuje i količina kadmijuma koji odlazi na deponiju.

Na osnovu podataka o toku kadmijuma dobijenih SFA analizom evaluirani su dobijeni podaci u pogledu usmjeravanja ove supstance u definisana odredišta (tabela 3.4) su prikazani na grafiku 7.7. Sa grafika toka kadmijuma u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom A, B1-B3, C i D1-D3 se može uočiti sljedeće:

- u scenariju A, gdje se skoro sav otpad deponuje, sva količina kadmijuma iz otpada ostaje u tijelu deponije komunalnog otpada kao uslovno-odgovarajućem odredištu,
- u scenariju B1-B3 dio kadmijuma iz sakupljenog i recikliranog ambalažnog otpada odlazi u nove proizvode, odnosno odlazi u neodgovarajuće odredište. Povećanjem stepena sakupljanja i reciklaže povećava se i količina novih proizvoda, a sami time i udio kadmijuma u novim proizvodima, najveći dio kadmijuma iz ovih scenarija odlazi u uslovno-odgovarajuće odredište,
- spaljivanjem otpada u scenariju C skoro sav prisutan kadmijum iz otpada odlazi na deponiju pepela i šljake odnosno na odgovarajuće odredište,
- u scenarijima D1-D3 povećava se udio kadmijuma u novim proizvodima, a pošto kadmijum nije poželjan u novim proizvodima, odlazi u neodgovarajuće odredište. Najveći procenat kadmijuma ostaje u deponiji pepela i šljake, odnosno u odgovarajućem odredištu.



Grafik 7.7. Tok kadmijuma (Cd) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

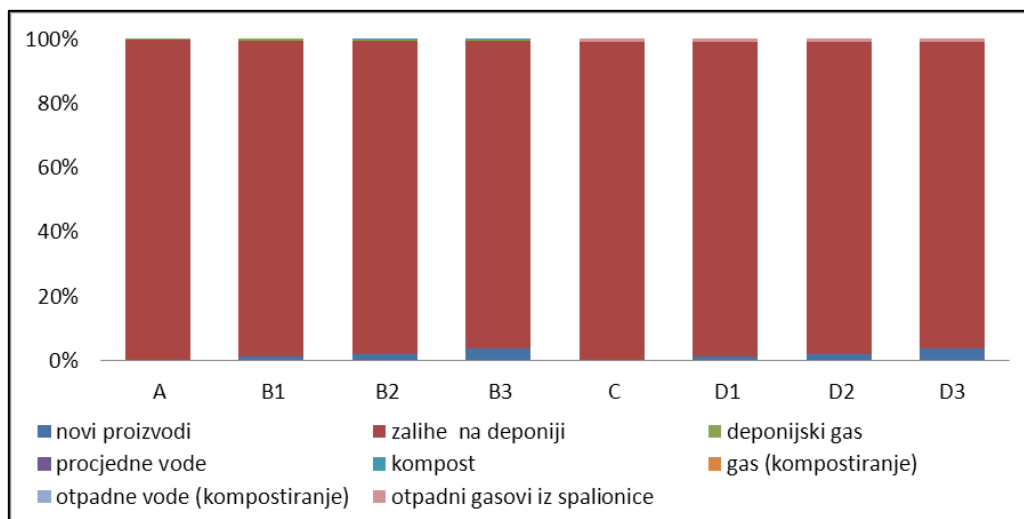
7.5. Analiza toka žive

Na grafiku 7.8 predstavljen je tok žive u modelovanim scenarijima upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji.

U scenariju A kada se skoro sav otpad odlaže na deponiju, skoro sav ulazni tok žive iz otpada ostaje uskladišten u tijelu deponije. Analizom tokova žive za scenarije B1, B2 i B3 (sa povećanjem stepena odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada sa 25% na 35%, odnosno na 55% i povećanjem odvojenog sakupljanja organskog otpada sa 25% na 50%, odnosno na 65%) može se sa grafika 7.8 uočiti sljedeće:

- smanjuje se udio žive u odloženom otpadu, odnosno smanjuje se količina žive kao zalihe u tijelu deponije,
- povećava se udio žive u novim proizvodima.

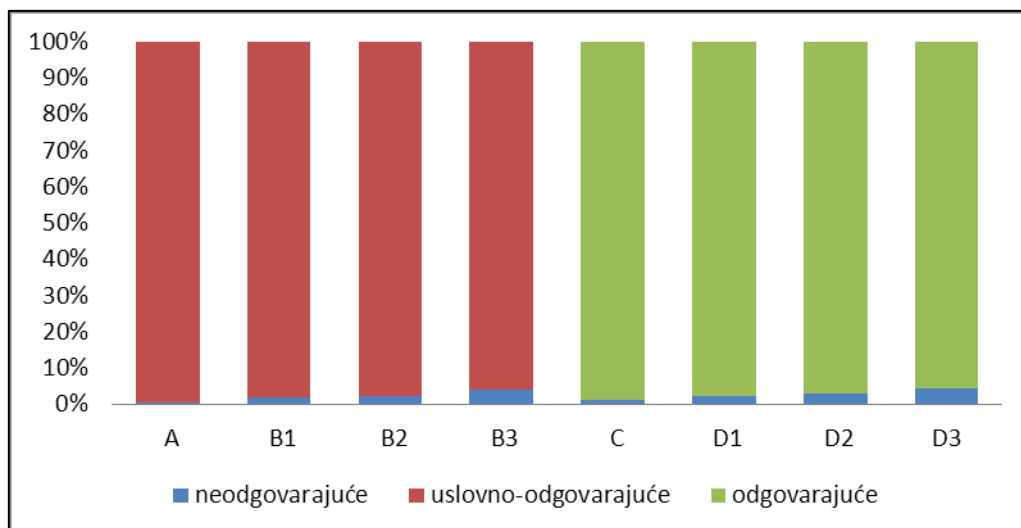
Analizom toka žive u scenarijima C, D1, D2 i D3 može se zaključiti da najveća količina žive ostaje uskladištena u tijelu deponije pepela i šljake, a samo mali dio odlazi u novim proizvodima.



Grafik 7.8. Sumarni pregled analize toka žive (Hg) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Na osnovu podataka o toku žive dobijenih SFA analizom evaluirani su dobijeni podaci u pogledu usmjeravanja ove supstance u definisana odredišta (tabela 3.4) su prikazani na grafiku 7.9. Sa grafika toka žive u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom A, B1-B3, C i D1-D3 se može uočiti sljedeće:

- u scenariju A, gdje se skoro sav otpad deponuje, sva količina žive iz otpada ostaje u tijelu deponije kao uslovno-odgovarajućem odredištu,
- u scenariju B1-B3 dio žive iz sakupljenog i recikliranog ambalažnog otpada odlazi u nove proizvode, odnosno odlazi u neodgovarajuće odredište. Povećanjem stepena sakupljanja i reciklaže povećava se i količina novih proizvoda, a sami time i udio žive u novim proizvodima. Najveći dio žive iz ovih scenarija odlazi u uslovno-odgovarajuće odredište, na deponiju komunalnog otpada,
- spaljivanjem otpada u scenariju C skoro sva prisutna živa iz otpada odlazi na deponiju pepela i šljake, odnosno na odgovarajuće odredište,
- u scenarijima D1-D3 povećava se udio žive u novim proizvodima, a pošto živa nije poželjna u novim proizvodima odlazi u neodgovarajuće odredište. Najveći procenat žive u ovim scenarijima ostaje u deponiji pepela i šljake, odnosno u odgovarajućem odredištu.



Grafik 7.9. Tok žive (Hg) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

7.6. Analiza toka olova

Na grafiku 7.10 predstavljen je tok olova u modelovanim scenarijima upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji. Slično kao i kod toka žive, analizom toka olova u scenarijima A i C, može se zaključiti da najveća količina olova ostaje uskladištena u tijelu deponije.

Analizom toka olova za scenarije B1-B3 i D1-D3 (sa povećanjem stepena odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada sa 25% na 35%, odnosno na 55% i povećanjem odvojenog sakupljanja organskog otpada sa 25% na 50%, odnosno na 65%) može se sa grafika 7.10 uočiti sljedeće:

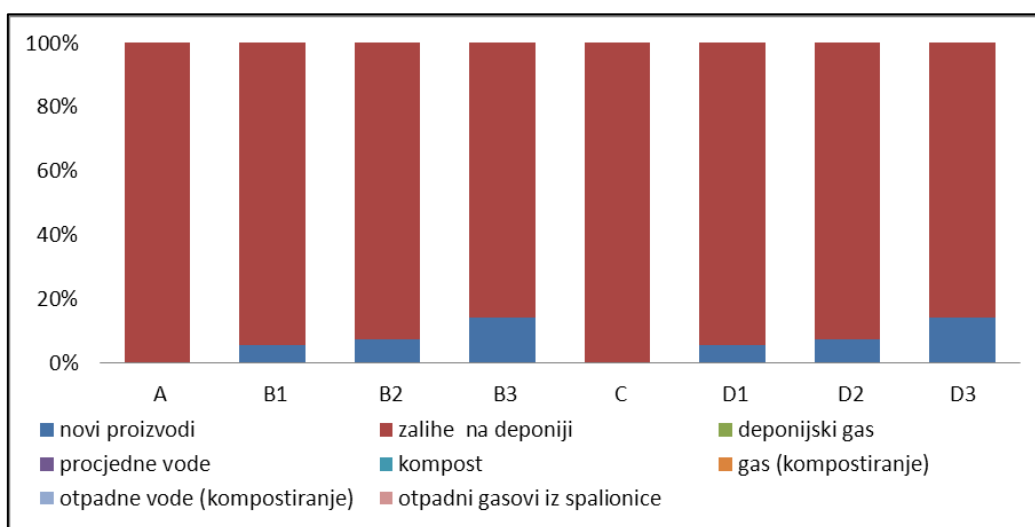
- neznatno se smanjuje udio olova u tijelu deponije kao zaliha,
- povećava se udio olova u novim proizvodima.

Na osnovu podataka o toku olova dobijenih SFA analizom evaluirani su dobijeni podaci u pogledu usmjeravanja ove supstance u definisana odredišta (tabela 3.4) su prikazani na grafiku 7.11. Sa grafika toka olova u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom A, B1-B3, C i D1-D3 se može uočiti sljedeće:

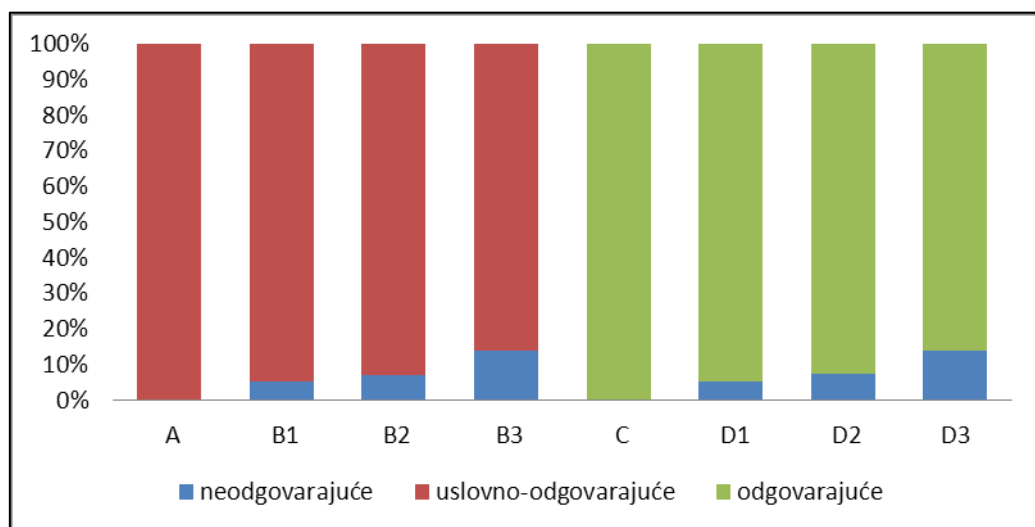
- u scenariju A, gdje se skoro sav otpad deponuje, sva količina olova iz otpada ostaje u tijelu deponije komunalnog otpada kao uslovno-odgovarajućem odredištu,
- u scenariju B1-B3 dio olova iz sakupljenog i recikliranog ambalažnog otpada odlazi u nove proizvode, odnosno odlazi u neodgovarajuće odredište. Povećanjem stepena sakupljanja i reciklaže povećava se i količina novih proizvoda, a sami

time i udio olova u novim proizvodima. Najveći procenat olova u ovim scenarijima odlazi u uslovno-odgovarajuće odredište, na deponiju komunalnog otpada,

- spaljivanjem otpada u scenariju C skoro svo prisutno olovo iz otpada odlazi na deponuju pepela i šljake, odnosno na odgovarajuće odredište,
- u scenarijima D1-D3 povećava se udio olova u novim proizvodima, a pošto olovo nije poželjno u novim proizvodima odlazi u neodgovarajuće odredište. Najveći procenat olova u ovim scenarijima odlazi u odgovarajuće odredište (deponiju pepela i šljake).



Grafik 7.10. Sumarni pregled analize toka olova (Pb) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom



Grafik 7.11. Tok olova (Pb) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

7.7. Kategorije uticaja na životnu sredinu

7.7.1. Globalno zagrijavanje (GW)

Na grafiku 7.12 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.13 udio jedinjenja na kategoriju uticaja GW u analiziranim scenarijima.

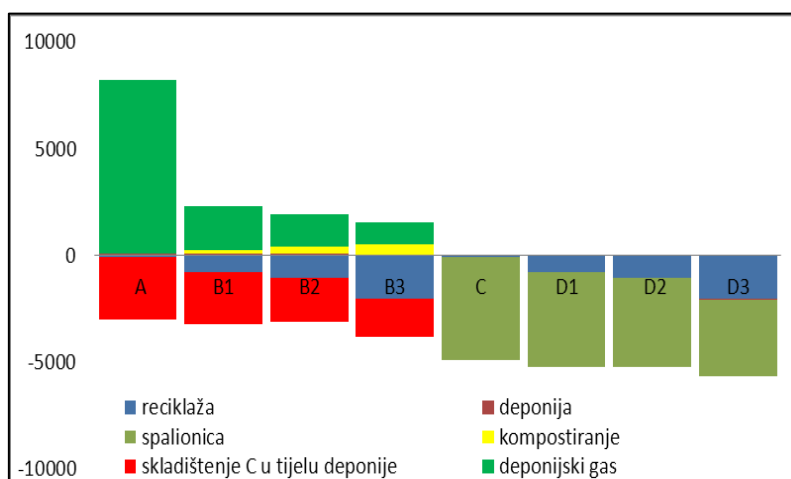
Supstance koje utiču na GW su CO₂, CH₄ i N₂O. Ugljenik se može podijeliti u dvije grupe: fosilni i biogeni ugljenik. Za razliku od fosilnog (iz uglja nafte i gasa) koji se uzima u obzir sa aspekta učešća u globalnom zagrijavanju, biogeni ne učestvuje u globalnom zagrijavanju (Manfredi i dr., 2010; Christensen i dr., 2009). Emisija biogenog CO₂ se smatra neutralnim na GW, jer potiče iz organske materije koja je stvorena kao ekvivalent biološkog uzimanja CO₂ tokom rasta biljaka. Nedegradirani organski ugljenik se skladišti, odnosno, akumulira u tijelu deponije na kraju posmatranog vremenskog okvira i predstavlja sačuvanu emisiju CO₂ (ugljenika). Biogeni ugljenik koji se emituje je neutralan u odnosu na GW, kao i nebiogeni ugljenik (iz plastike, gume), koji je takođe neutralan u odnosu na GW (Manfredi i dr., 2010; Christensen i dr., 2009; Manfredi i dr., 2009). Iz grafika 7.13 se može uočiti da na GW emitovani CO₂ nije učestvovao na povećanje ove kategorije uticaja, nego je imao negativne vrijednosti.

Pozitivna vrijednost GW zabilježena je samo u scenariju A, dok je u preostalim scenarijima ova kategorija uticaja imala negativne vrijednosti. Odlaganjem otpada na neuređenoj deponiji, scenario A, značajan uticaj na GW imaju generisani deponijski gasovi. Nekontrolisanim ispuštanjem deponijskog gasa, u atmosferu odlazi CO₂ i CH₄, a važno je istaći da CH₄ ima 25 puta veći GW potencijal od CO₂ (Tian i dr., 2011). Vrijednost GW u scenariju A je umanjena za oko 30% zbog skladištenja ugljenika u tijelu deponije (grafik 6.2).

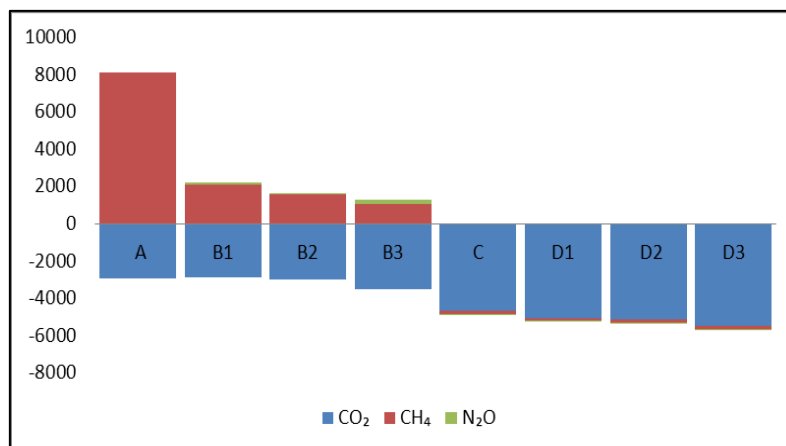
Sa grafika 7.12 se može vidjeti da procesi deponije u scenarijima A, B1-B3 imaju pozitivnu vrijednost GW. Prema graficima toka ugljenika u deponijskom gasu u scenarijima A i B1-B3 (grafici 6.2, 6.9, 6.16 i 6.23), količina ugljenika se smanjivala sljedećim redosljedom u navedenim scenarijima 12 418 t/god, 9 070 t/god, 6 745 t/god i 3 563 t/god. Pošto se 70% deponijskog gasa u scenarijima B1-B3 sakuplja i tretira na baklji, preostalih 30% deponijskog gasa ispušta u atmosferu što umanjuje udio u GW u odnosu na neuređenu deponiju (scenario A).

Povećanjem izdvajanja ambalažnog i organskog otpada se smanjuje količina odloženog otpada u scenarijima B1-B3, utičući na smanjivanje količine generisanog deponijskog gasa. Proces kompostiranja ima pozitivan efekat na GW, jer se kompostiranjem organskog otpada izdvaja CO₂ i N₂O koji je takođe važan činilac u GW. Na osnovu toka azota u scenariju B1 (grafik 6.10), scenariju B2 (grafik 6.17) i scenariju B3 (grafik 6.24) količina generisanog azota u gasu iz procesa kompostiranja je iznosila 45.0 t/god, 90.0 t/god i 117.0 t/god. Povećanje udjela jediničnog procesa kompostiranja u scenarijima B1 do B3 na GW, odnosno udjela N₂O u gasu iz procesa kompostiranja, je zbog povećanja stepena odvojenog sakupljanja organskog otpada, odnosno povećanja količina ovog otpada za proizvodnju komposta.

Spaljivanjem otpada u scenarijima C i D1-D3, a naročito plastike, koja je prisutna u komunalnom otpadu u velikoj količini (oko 25%), stvara se velika količina fosilnog CO₂. Međutim, više električne energije može se dobiti spaljivanjem otpada, nego proizvodnjom električne enegije zasnovane na fosilnim gorivima, za istu vrijednost GW. Stoga su negativne vrijednosti GW, odnosno uštede u životnoj sredini prilikom spaljivanja otpada. Procesi reciklaže, imaju negativne vrijednosti GW zbog stvaranja novih proizvoda, čime se ostvaruju uštede u eksploataciji novih sirovina i uštede u sagorijevanju fosilnih goriva, odnosno ostvaruju se koristi po životnu sredinu.



Grafik 7.12. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju GW (u PE)



Grafik 7.13. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju GW (u PE)

7.7.2. Acidifikacija (AC)

Jedinjenja koja dopinose acidifikaciji su NH_3 , H_2S , HCl , NO_x i SO_2 . Iz tabele 6.1. se može vidjeti da su za sve analizirane scenarije upravljanja otpadom, AC imala negativne vrijednosti. Na grafiku 7.14 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.15 udio jedinjenja na kategoriju uticaja AC u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom. Jedinični procesi, kao što su deponovanje otpada i kompostiranje, su imali pozitivne vrijednosti, dok procesi reciklaže i spaljivanja otpada imaju negativne vrijednosti u odnosu na AC. Iz procesa deponije su izuzete procjedne deponijske vode i tretman deponijskog gasa da bi se daleko bolje uočio njihov doprinos AC.

Sa grafika 7.14 se može uočiti da se doprinos procjednih deponijskih voda smanjuje na AC, kroz scenarije A, preko B1, B2 do B3. Procjedne deponijske vode utiču na ovu kategoriju emisijom NH_3 u površinske vode (grafik 7.15). Ako pogledamo tok azota u scenarijima A i B1-B3 (grafici 6.3, 6.10, 6.17 i 6.24) možemo uočiti da se smanjuje količina azota u procjednim deponijskim vodama (142.7 t/god, 112.0 t/god, 87.0 t/god i 62.2 t/god) iz razloga povećanja stepena sakupljanja i smanjivanja količine odloženog otpada.

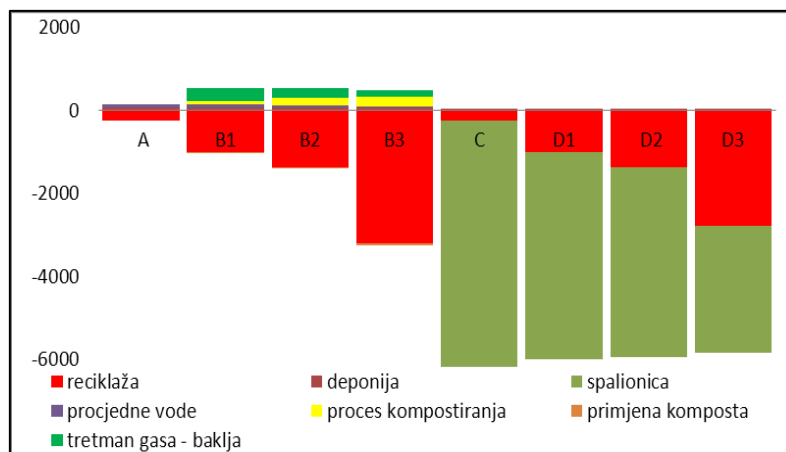
Poredeći scenarije A, B1, B2 i B3 možemo uočiti jednu nelogičnost da je daleko manji uticaj neuređene deponije (scenario A) u odnosu na scenarije B1-B3, odnosno da je jedinični proces deponovanja kod scenarija B1-B3 daleko veći. Kao argument ovoj nelogičnosti ide u prilog činjenica da se u scenarijima B1-B3 deponijski gasovi spaljuju na baklji, odnosno daleko je veća emisija NH_3 i SO_2 u odnosu na scenario A, a

deponijski gasovi koji se direktno ispuštaju u atmosferu imaju daleko manje koncentracije polutanata koji doprinose AC.

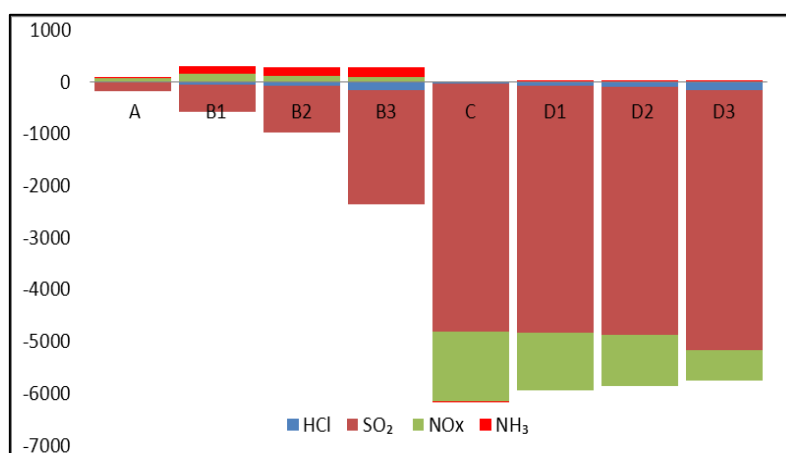
Amonijak se izdvaja prilikom procesa kompostiranja, dok se NO_x i SO₂ izdvaja prilikom spaljivanja deponijskog gasa na baklji i samom izgradnjom i upravljanjem deponijom. Pošto se u scenarijima B1-B3 smanjuje količina otpada koji se odlaže na deponiju, odnosno smanjuje se produkcija deponijskih gasova, smanjuje se i količina gasa koji se spaljuje na baklji utičući na smanjivanje doprinosa tretmana gasa na baklji na AC (grafik 7.14). Odnosno u ovim scenarijima smanjuje se količina izdvojenog NO_x koji se generiše na baklji. Iz razloga povećanja odvojenog sakupljanja organskog otpada i obradom u kompost količina azota koja se izdvoji u formi gasa iz procesa kompostiranja (scenariji B1-B3) iznosi 45.0 t/god, 90 t/god, odnosno 117.0 t/god (grafici 6.10, 6.17 i 6.24), odnosno povećeva se udio NH₃ u AC (grafik 7.15).

Uštede, odnosno koristi u životnu sredinu su na strani iskorišćavanja otpada za dobjanje energije, jer bi se daleko veće emisije gasova koji doprinose AC izdvojili uobičajenim načinom dobijanja energije iz fosilnih goriva. Reciklažom ambalažnog otpada se štede sirovine, pa su koristi u životnu sredinu veće iskorišćavanjem otpada za dobijanje novih proizvoda, nego da se iz prirode eksploatišu nove sirovine.

Dong i dr. (2014) su analizirali tri scenarija upravljanja otpadom korišćenjem softvera EASWASTE (starija verzija EASETECH softvera): (1) odlaganje na deponiju bez tretmana gasa, (2) odlaganje na deponiju sa iskorišćavanjem gasa za dobijanje energije i (3) spaljivanjem otpada za dobijanje energije. Pozitivnu vrijednost AC dobili su u prvom scenariju, a negativne vrijednosti AC u druga dva scenarija. Kao obrazloženje dobijenim rezultatima naveli su da su uštede u životnu sredinu (negativne vrijednosti AC) iz razloga iskorišćavanja otpada za dobijanje energije, odnosno da su manje emisije gasova koji potpomažu acidifikaciji od količine gasova koji se stvore konvencionalnim načinom dobijanje električne energije iz fosilnih goriva.



Grafik 7.14. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa AC (u PE)



Grafik 7.15. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju AC (u PE)

7.7.3. Ekotoksičnost u vodi (hronična) (ETwc)

Na grafiku 7.16 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.17 udio jedinjenja na kategoriju uticaja ETwc u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom.

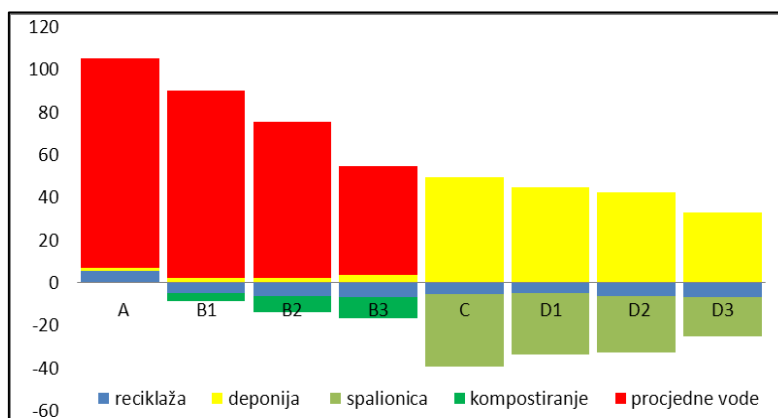
Na kategoriju uticaja ETwc dominantan uticaj imaju teški metali, dioksini i fenoli. Na kategoriju uticaja ETwc najvažniji uticaj ima proces deponovanja, odnosno procjedne deponijske vode. Putem procjednih voda teški metali (As, Cd, Zn, Hg, Cu), fenoli i dikosini dopijevaju u vode i zaslužni su za pozitivnu vrijednost ove kategorije uticaja. Cu ima najveći uticaj na ETwc kako iz razloga procjednih voda sa deponija, tako i sa deponije pepela i šljake na koju se odlaže ostatak iz spalionice. Smanjivanjem količine otpada u scenarijima B1-B3, smanjila se i količina procjednih voda utičući i na smanjivanje vrijednosti ETwc.

U scenarijima C i D1-D3 smanjivanjem količine otpada, smanjivala se i količina pepela i šljake koja se odlaže na deponiji pepela i šljake. Odnosno smanjivao se i doprinos deponije na ovu kategoriju, jer se smanjivala i količina Cu i Al.

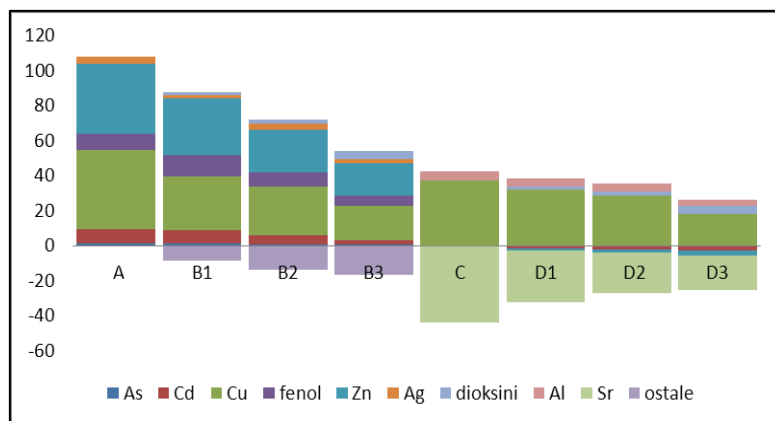
Sa dijagrama 7.17 se može uočiti da pozitivan doprinos ETwc ima kadmijum koji je sadržan u procjednim deponijskim vodama u scenarijima A, B1-B3 i D1-D3. Iz grafika analize tokova kadmijuma u scenarijima A i B1-B3 (grafici 6.4, 6.11, 6.18. i 6.25) količina ovog teškog metala u procjednim vodama je iznosila 0.63 kg/god, 0.54 kg/god, 0.52 kg/god i 0.41 kg/god. Količina kadmijuma se smanjivala utičući i na smanjivanje doprinosa ovog polutanta kategoriji uticaja ETwc, iz razloga smanjivanja količina generisanih procjednih voda i poboljšanja stepena sakupljanja procjednih voda.

S druge strane u scenarijima D1-D3 povećavao se udio kadmijuma u ETwc, a iz grafika toka ovog teškog metala u scenarijima D1-D3 (grafici 6.39, 6.46 i 6.53) može se uočiti da se povećala njegova količina u procjednim vodama sa 0.04 kg/god, na 0.05 kg/god, odnosno 0.11 kg/god. Količina kadmijuma se povećava od scenarija D1, preko D2 do scenarija D3 jer se povećava količina odloženog otpada na deponiji komunalnog otpada, odnosno količina procjednih voda, pošto se povećala količina otpada iz MRF postrojenja i reciklaže.

Jedinični procesi kao što su kompostiranje (odnosno upotreba komposta kao zamjena za đubriva na zemljištu), reciklaža i spaljivanje otpada imaju negativne vrijednosti, odnosno utiču na smanjivanje uticaja na ETwc. Procesima spaljivanja deponijskog gasa na baklji i gasovima iz spalionice se izdavaju veća količina dioksina koji utiču na pozitivne vrijednosti ETwc.



Grafik 7.16. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju ETwc (u PE)



Grafik 7.17. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju ETwc (u PE)

7.7.4. Eutrofikacija (AE)

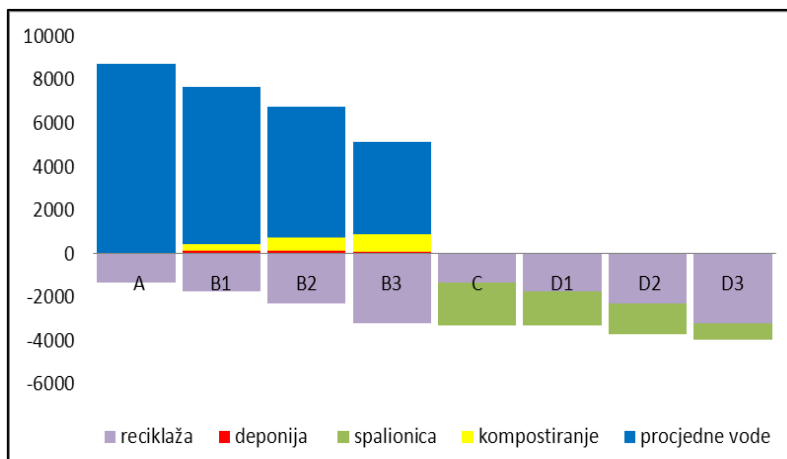
Na grafiku 7.18 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.19 udio jedinjenja na kategoriju uticaja AE u analiziranim scenarijima.

Supstance koje utiču na kategoriju uticaja AE su jedinjenja N i P. Od svih analiziranih scenarija upravljanja otpadom trenutni način upravljanja otpadom (scenario A) ima najveće vrijednosti AE. Kao što se iz grafika 7.19 može uočiti da su u ovom scenariju najveće vrijednosti $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ i NO_3^- , a emisije ovih polutanata su vezane za procjedne deponijske vode. Kako se povećao stepen sakupljanja i tretmana procjednih voda u scenarijima B1-B3, smanjila i količina procjednih deponijskih voda, smanjena je i emisija $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ i NO_3^- .

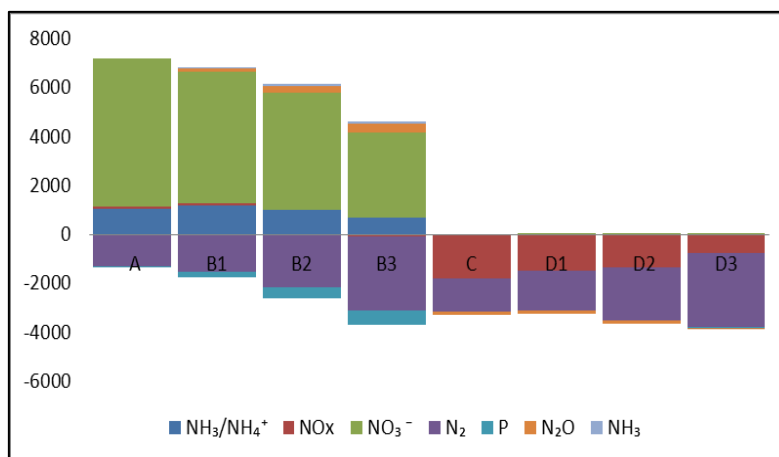
Količina azota u procjednim deponijskim vodama u scenariju A (grafik 6.3) iznosi 142.7 t/god, dok u scenariju B1 iznosi 112 t/god (grafik 6.10), a u scenarijima B2 i B3 količina azota je 87.0 t/god, odnosno 62.2 t/god (grafici 6.17 i 6.24). Povećanje odvojeno sakupljenog organskog otpada (B1-B3) uticalo je na smanjivanje količina otpada koji se odlaže, što je imalo za posljedicu smanjivanje količine procjednih voda, odnosno azotnih jedinjenja. S druge strane količina azota u otpadnim vodama iz procesa kompostiranja se povećavala sa 3.6 t/god u scenariju B1, na 7.2 t/god u scenariju B2, odnosno 9.4 t/god u scenariju B3 (grafici 6.10, 6.17 i 6.24). Ipak količina azotnih jedinjenja ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ i NO_3^-) iz procjednih voda se smanjivala od scenarija A, preko B1 i B2 do scenarija B3.

Vrijednosti AE u scenarijima B1-B3 su bile pozitivne, jer se pri procesu kompostiranja generisla otpadna voda odnosno jedinjenja NH_3 i N_2O koja imaju pozitivan dopinos AE. Na osnovu toka azota u scenariju B1 (grafik 6.10), scenariju B2

(grafik 6.17) i scenariju B3 (grafik 6.24) količina generisanog azota u gasu iz procesa kompostiranja je iznosila 45.0 t/god, 90.0 t/god i 117.0 t/god. Povećanje udjela jediničnog procesa kompostiranja, odnosno udjela NH₃ i N₂O u gasu iz procesa kompostiranja, na AE je iz razloga povećanja stepena odvojenog sakupljanja organskog otpada, odnosno povećanja količina ovog otpada za proizvodnju komposta.



Grafik 7.18. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju AE (u PE)



Grafik 7.19. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju AE(u PE)

Procesi reciklaže i spaljivanja otpada, uprkos činjenici da se spaljivanjem izdvaja velika količina NO_x, imaju negativne vrijednosti AE iz razloga stvaranja novih proizvoda i dobijanja energije iz otpada, čime se ostvaruju uštede u eksploataciji novih sirovina, uštede u sagorijevanju fosilnih goriva, odnosno ostvaruju se koristi u životnu sredinu.

7.7.5. Formiranje fotohemijskog ozona (POF)

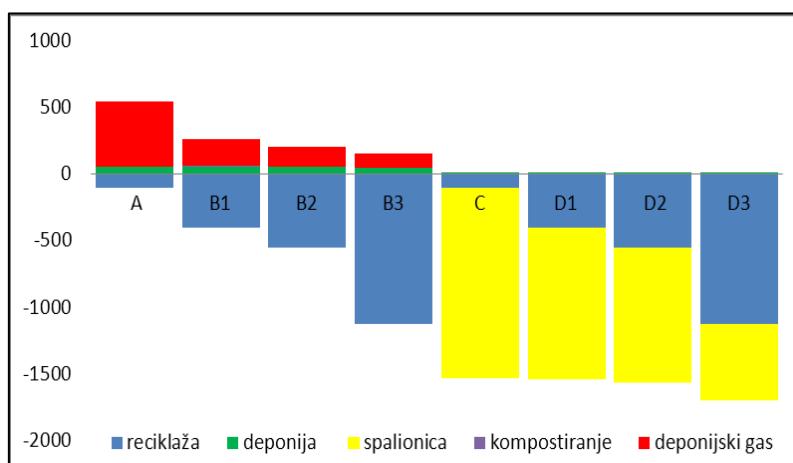
Na grafiku 7.20 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.21 udio jedinjenja na kategoriju uticaja POF u analiziranim scenarijima.

Nastanak fotohemijskog ozona vezan je za emisije CH₄, CO i NMVOCs. Najveća vrijednost POF je zabilježena kod scenarija A, odnosno kod neuređene deponije, dok je u ostalim scenarijima upravljanja otpadom imala negativne vrijednosti. Pošto su deponijski gasovi nosioci ovih polutanata, radi lakšeg pregleda u dijagramu iz procesa deponije su izuzeti deponijski gasovi i oni su predstavljeni pojedinačno.

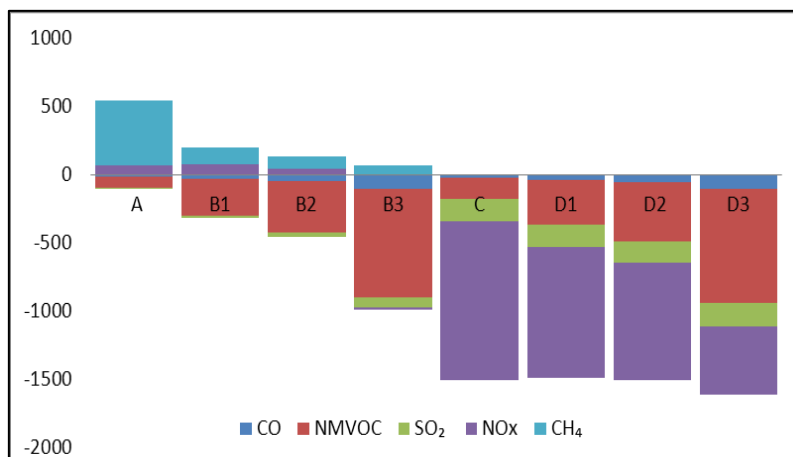
Na formiranje fotohemijskog ozona u najvećem procentu doprinosi izdvajanje gasova, odnosno CH₄ sa površine deponije. Prema graficima toka ugljenika u deponijskom gasu u scenarijima A i B1-B3 (grafici 6.2, 6.9, 6.16 i 6.23), količina ugljenika se smanjivala sljedećim redoslijedom u navedenim scenarijima 2 418 t/god, 9 070 t/god, 6 745 t/god i 3 563 t/god. U deponijskom gasu CH₄ je zastupljen sa 50%, a CO₂ sa 45% (Themelis i Ulloa, 2007). Ovdje svakako treba uzeti u obzir da je u toku ugljenika u deponijskom gasu uračunata i količina ugljenika u formi CO₂, koja nema uticaja na POF.

S druge strane u scenarijima B1-B3 sa povećanjem stepena reciklaže se smanjila vrijednost POF, pošto se smanjila količina odloženog otpada. U modelovanim scenarijima B1-B3 predviđeno je da se oko 30% deponijskog gasa ispušta direktno u atmosferu, a ostatak tretira na baklji. Proces kompostiranja nema uticaj na POF, jer se ovim procesom na generišu gasovi koji imaju pozitivan doprinos ovoj kategoriji uticaja.

Procesi reciklaže i spaljivanja otpada imaju negativne vrijednosti POF i ako se spaljivanjem izdvaja velika količina CO, zbog stvaranja novih proizvoda i dobijanja energije iz otpada, čime se ostvaruju uštede u eksploataciji novih sirovina i uštede u sagorijevanju fosilnih goriva, odnosno ostvaruju se koristi u životnu sredinu.



Grafik 7.20. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju POF (u PE)

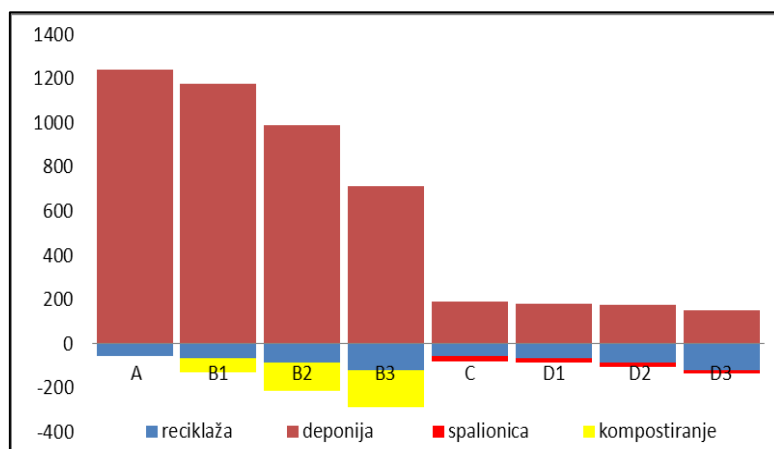


Grafik 7.21. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju POF(u PE)

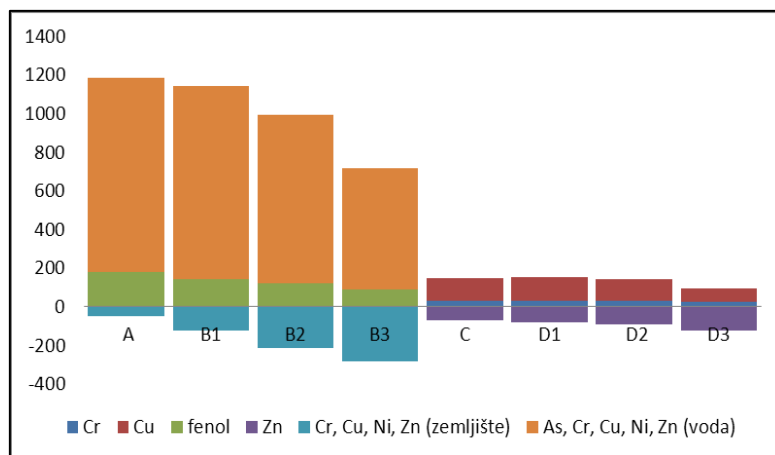
7.7.6. Ekotoksičnost (ECT)

Na grafiku 7.22 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.23 udio jedinjenja na kategoriju uticaja ECT u analiziranim scenarijima.

Teški metali imaju dominantnu ulogu na kategoriju uticaja ECT. Na grafiku 7.22 najveće vrijednosti ECT su zabilježene u scenarijima A i B1-B3, odnosno gdje je proces deponovanja bio najvažnija karika u tretmanu otpada, zbog generisanja procjednih deponijskih voda (sa deponija komunalnog otpada i sa deponije pepela i šljake) i nešto manji uticaj na ovu kategoriju se odnosi na emisiju gasova sa deponije ili prilikom tretmana gasa na baklji. Emisije sa deponije u vodu su povezane sa emisijom teških metala As, Cr, Cu, Ni i fenoli. Ostali jedinični procesi kao što je kompostiranje, reciklaža i spaljivanje su imale negativne vrijednosti u odnosu na ECT odnosno predstavljaju korist ili uštedu u životnu sredinu sa aspekta ECT.



Grafik 7.22. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju ECT (u PE)



Grafik 7.23. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju ECT(u PE)

7.7.7. Obogaćivanje hranljivim materijama (NE)

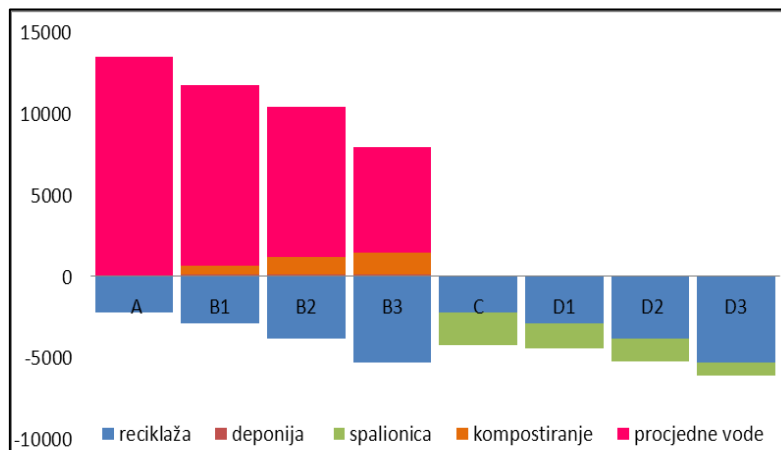
Najveći doprinos kategoriji uticaja NE doprinose jedinjenja azota i fosfora (Laurent i dr., 2011b), emisijom u vodenu sredinu, odnosno njihovim procjeđivanjem u zemljište, kao i taloženjem gasovitih azotnih jedinjenja. Procjedne vode su najveći izvor amonijum jona ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) koji uzrokuje obogaćivanje hranljivim materijama u životnoj sredini (Dong i dr., 2014; Manfredi i Christensen, 2009).

Eisted i Christensen (2013) su analiziranjem 13 scenarija upravljanja otpadom na Grenlandu, korišćenjem EASEWASTE softvera (starom verzijom EASTECH) dobili pozitivne vrijednosti NE u slučaju deponovanja otpada na deponiju, i negativne vrijednosti NE u slučaju spaljivanja otpada.

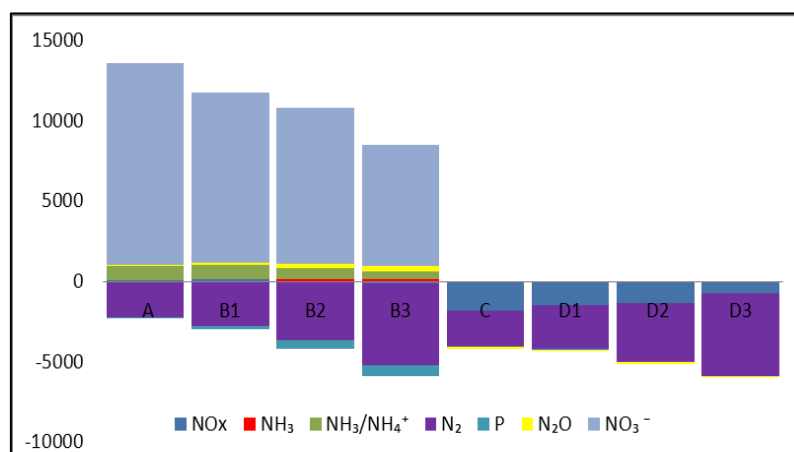
Na graficima 7.24 i 7.25 su prikazani rezultati NE analiziranih scenarija upravljanja otpadom, kroz prikaz udjela jediničnih procesa i udjela jedinjenja na ovu kategoriju uticaja. Na navedenim graficima iz procesa deponije su izuzete procjedne deponijske vode, odnosno one su predstavljene zasebno, da bi se daleko bolje uočio njihov doprinos na NE.

NE je imalo pozitivne vrijednosti u scenarijima A i B1-B3, a negativne vrijednosti u scenarijima C i D1-D3 (tabela 6.1). Trenutni način upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji ima najveće vrijednosti NE (11 300 PE) u odnosu na ostale analizirane scenarije upravljanja otpadom. Pozitivni doprinosi ovoj kategoriji uticaja su povezani sa procesima deponovanja otpada i kompostiranja organskog otpada, a što je vezano za nastanak i ispuštanje procjednih voda sa deponije i otpadnih voda prilikom procesa kompostiranja. Sa grafika 7.25 se može vidjeti da su najveće emisije NO_3^- i $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ upravo u scenarijima A i B1-B3. Procjeđivanje nesakupljenih procjednih deponijskih

voda u podzemne vode, zemljište i površinske vode, kao i ispuštanje nedovoljno prečišćenih procjernih voda u površinske vode, su glavni razlog pozitivnih vrijednosti NE.



Grafik 7.24. Grafički prikaz udjela jedinčnih procesa na kategoriju NE (u PE)



Grafik 7.25. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju NE (u PE)

Količina azota u procjernih deponijskim vodama u scenariju A (grafik 6.3) iznosi 142.7 t/god, dok u scenariju B1 iznosi 112 t/god (grafik 6.10), a u scenarijima B2 i B3 količina azota je 87.0 t/god, odnosno 62.2 t/god (grafici 6.17 i 6.24). Povećanjem odvojenog sakupljanja organskog otpada (scenariji B1-B3), uticalo je na smanjivanje količina otpada koji se odlaže, što je imalo za posljedicu smanjivanje količine procjernih voda, odnosno azotnih jedinjenja NO_3^- i $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$.

Sa grafika 7.24 se može vidjeti da proces kompostiranja utiče na povećanje NE. Količina azota iz procesa kompostiranja u scenariju B1 iznosi 60.0 t/god (grafik 6.10), a u scenarijima B2 i B3 120.0 t/god, odnosno 156.0 t/god (grafici 6.17 i 6.24). Kompostiranjem su se generisali N_2O i NH_3 , koji su imali pozitivne vrijednosti na NE (grafik 7.25). Udio ovih gasova na kategoriju NE se povećavala od scenarija B1, preko

B2 do scenarija B3, jer se povećavala i količina organskog otpada koji se kompostirao kroz ove scenarije.

S druge strane negativne vrijednosti NE, odnosno uštede u životnoj sredini su povezane sa procesima reciklaže i spaljivanja otpada u scenarijima C i D1-D3. Što je veći stepen reciklaže, kao i iskorišćavanja otpada za dobijanje energije, veće su i koristi u životnu sredinu sa aspekta NE. Kao argument zašto su vrijednosti NE imale negativni predznak u scenarijima C i D1-D3 se može navesti iskorišćavanje otpada za dobijanje novih sirovina i za dobijanje električne i toplotne energije, čime se ostvaruju uštede u eksploataciji novih sirovina i uštede u sagorijevanju fosilnih goriva, odnosno ostvaruju se koristi u životnoj sredini.

7.8. Kategorije uticaja na ljudsko zdravlje

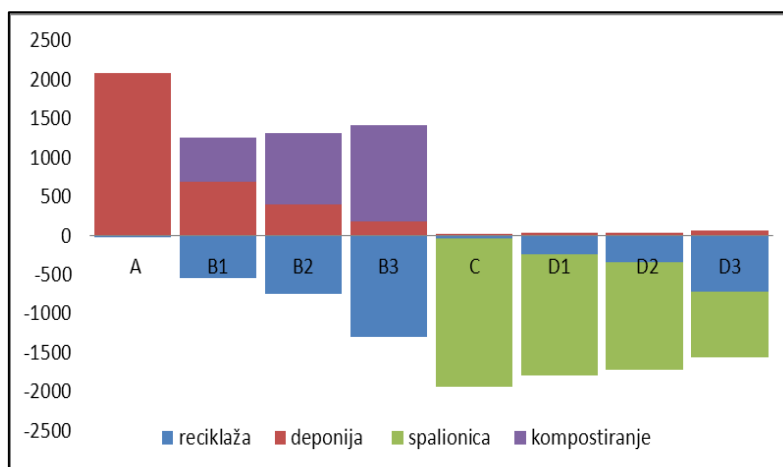
7.8.1. Toksičnost na čovjeka putem vazduha (HTa)

Na grafiku 7.26 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.27 udio jedinjenja na kategoriju uticaja HTa u analiziranim scenarijima. Jedinjenja koja utiču na ovu kategoriju su: benzen (C_6H_6), H_2S , NO_x i teški metali. Prema Dong i dr. (2014) H_2S iz deponijskog gasa u velikoj mjeri doprinosi ovoj kategoriji uticaja jer ima velik ekvivalentni faktor.

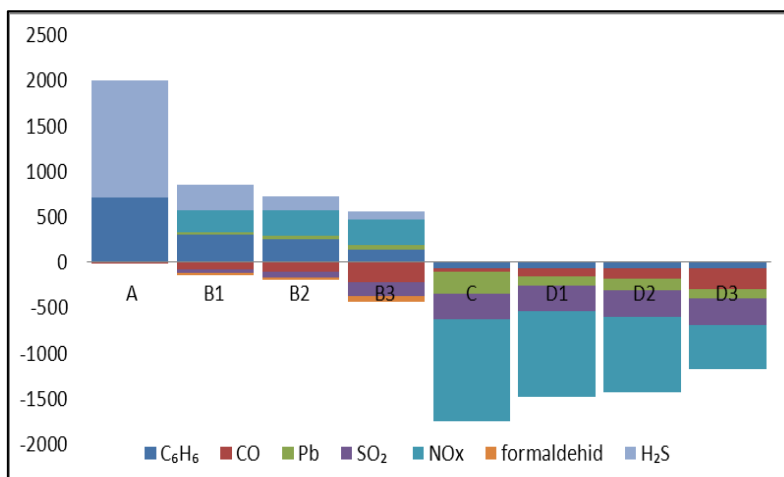
Kategorija uticaja HTa je imala negativne vrijednosti u scenarijima gdje se otpad spaljivao i koristio za dobijanje energije (C i D1-D3), dok je u ostalim scenarijima (A i B1-B3) ova kategorija uticaja imala pozitivne vrijednosti, odnosno opterećenje u životnu sredinu.

Naime u procesima A i B1-B3 se izdvaja daleko veća količina olova u odnosu na scenarije C i D1-D3. Iz grafika analize toka olova (grafici 6.13, 6.20 i 6.27), količina olova koja odlazi u formi komposta iznosi 7.9 kg/god, 16.2 kg/god i 20.5 kg/god, odnosno dolazi do povećanja količine olova u kompostu, jer se u ovim scenarijima povećava količina organskog otpada koji se prerađuje u kompost. Na osnovu toka azota u scenariju B1 (grafik 6.10), scenariju B2 (grafik 6.17) i scenariju B3 (grafik 6.24) količina generisanog azota u gasu iz procesa kompostiranja je iznosila 45.0 t/god, 90.0 t/god i 117.0 t/god. Povećanje udjela jediničnog procesa kompostiranja u scenarijima B1 do B3 na GW, odnosno udjela N_2O u gasu iz procesa kompostiranja, je zbog povećanja stepena odvojenog sakupljanja organskog otpada, odnosno povećanja

količina ovog otpada za proizvodnju komposta. Takođe u formi deponijskog gasa u vazduh se ispušta i H₂S koji još dodatno utiče na HTa.



Grafik 6.26. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HTa (u PE)



Grafik 6.27. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HTa (u PE)

Procesom spaljivanja otpada, uprkos činjenici da se spaljivanjem izdvaja velika količina NO_x, scenariji C i D1-D3 imaju negativne vrijednosti HTa zbog stvaranja novih proizvoda i dobijanja energije iz otpada, čime se ostvaruju uštede u eksploataciji novih sirovina, uštede u sagorijevanju fosilnih goriva, odnosno ostvaruju se koristi u životnu sredinu.

7.8.2. Toksičnost na čovjeka putem zemljišta (HTs)

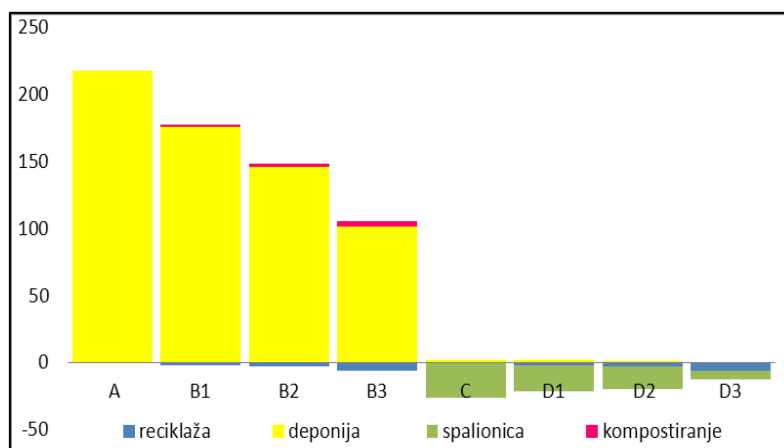
Polutanti koji utiču na kategorije uticaja na ljudsko zdravlje (HTa, HTs, HTw) su teški metali, dioksini i furani, SO₂, NO_x (Li i dr., 2015; Laurent i dr., 2011b).

Na grafiku 7.28 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.29 udio jedinjenja na kategoriju uticaja HTs u analiziranim scenarijima.

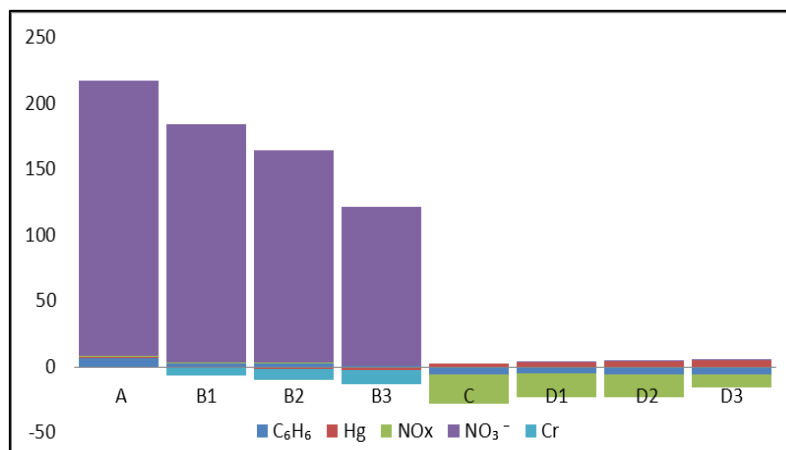
Pozitivne vrijednosti HTs su zabilježene u scenarijima A i B1-B3, dok su negativne vrijednosti imali scenariji C i D1-D3.

Pozitivan doprinos ovoj kategoriji uticaja se odnosi na proces deponovanja i to naročito na emisiju procjednih deponijskih voda odnosno NO_3^- . Ako pogledamo grafike 6.3, 6.10, 6.17 i 6.24. možemo uočiti da se smanjuje količina azota u procjednim deponijskim vodama (142.7 t/god, 112.0 t/god, 87.0 t/god i 62.2 t/god). Jedan od razloga je što se povećao stepen sakupljanja procjednih deponijskih voda u scenarijima B1-B3 u odnosu na scenario A. Drugi razlog je da se smanjila količina otpada koji se odlaže na deponiju jer je povećan stepen odvajanja ambalažnog otpada, utičući na smanjivanje produkcije procjednih voda. Stoga se redukovao uticaj deponije na kategoriju uticaja HTs. S druge strane količina azota u otpadnim vodama iz procesa kompostiranja se povećavala sa 3.6 t/god u scenariju A, na 7.2 t/god u scenariju B, odnosno 9.4 t/god u scenariju C (grafici 6.10, 6.17 i 6.24), što se odrazilo na povećanje udjela jediničnog procesa kompostiranja od B1 do B3.

Ipak uštede, odnosno koristi u životnu sredinu su na strani iskorišćavanja otpada za dobjanje energije, jer bi se daleko veće emisije jedinjenja koji doprinose HTs emitovale uobičajenim načinom dobjanje energije iz fosilnih goriva. Reciklažom ambalažnog otpada se štede sirovine, pa su koristi po životnu sredinu veće iskorišćavanjem otpada za dobjanje novih proizvoda, nego da se iz prirode eksploatišu nove sirovine.



Grafik 6.28. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HTs (u PE)



Grafik 6.29. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HTs (u PE)

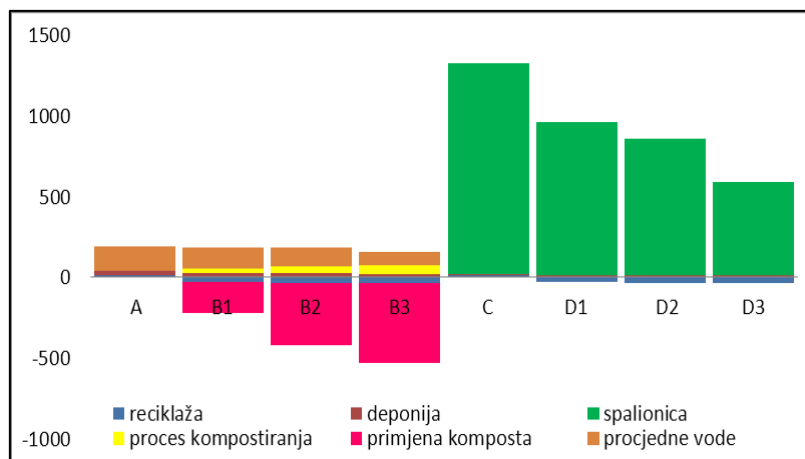
7.8.3. Toksičnost na čovjeka putem vode (HTw)

Na grafiku 7.30 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.31 udio jedinjenja na kategoriju uticaja HTw u analiziranim scenarijima.

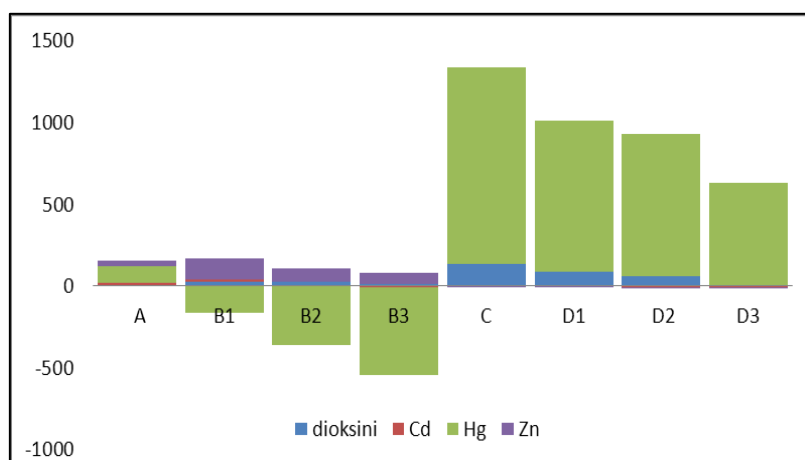
Kategorija uticaja HTw ima negativne vrijednosti u scenarijima B1-B3, dok su ostali scenariji upravljanja otpadom imali pozitivne vrijednosti HTw. Teški metali Hg, Pb i Cd, te dioksini utiču na ovu kategoriju uticaja. Dioksini i živa koji se izdvajaju u atmosferu najviše u procesima spaljivanja otpada, doprinoseći pozitivnim vrijednostima HTw u scenarijima C i D1-D3. Analizom toka žive u scenarijima C i D1-D3 (grafici 6.33, 6.40, 6.47 i 6.54.) količina žive koja se emituje sa gasovima iz spalionice iznosi 1.72 kg/god, 1.69 kg/god, 1.68 kg/god i 1.62 kg/god, odnosno količina žive se smanjivala. Putem procjednih voda u scenarijima B1-B3 se emituje približno ista količina žive od 0.02 kg/god (grafici 6.5, 6.12, 6.19 i 6.26), ali se zato putem procjednih voda izlučila veća količina Zn koji ima značajnijeg udjela u ovoj kategoriji uticaja.

Prema Dongu i dr. (2014) i ako se u vodenu sredinu ispusti velika količina teških metala iz deponije, ekvivalentni faktor teških metala se ne može porediti sa ekvivalentnim faktorom dioksina koji je daleko veći.

Procesima kompostiranja, odnosno primjenom komposta u poljoprivredne svrhe, negativne su vrijednosti odnosno koristi u životnu sredinu sa aspekta HTw. Živa iz komposta ostaje u zemljištu, pa predstavlja uštedu ili korist u životnu sredinu sa aspekta HTw.



Grafik 7.30. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HTw (u PE)



Grafik 7.31. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HTw (u PE)

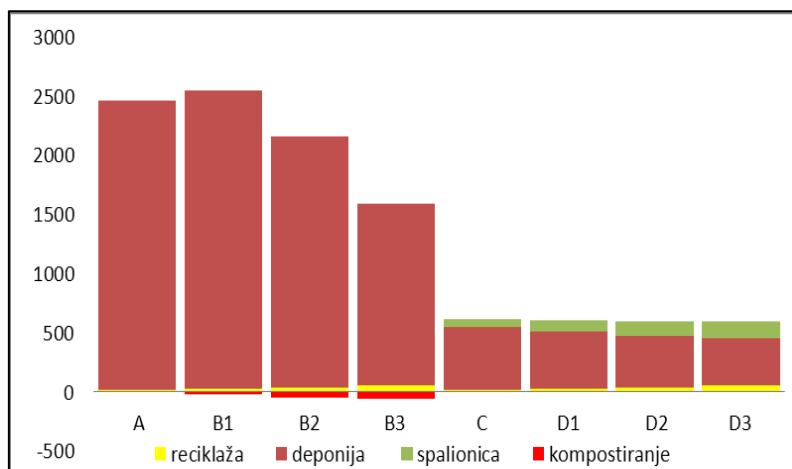
7.8.4. Toksičnost na čovjeka – karcinogena (HuT-C)

Na grafiku 7.32 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.33 udio jedinjenja na kategoriju uticaja HuT-C u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom. Teški metali, dioksini, PAH i NMVOC su polutanti koji utiču na HuT-C i HuT NC (Sala i dr., 2015). Ova kategorija uticaja je za sve analizirane scenarije imala pozitivne vrijednosti.

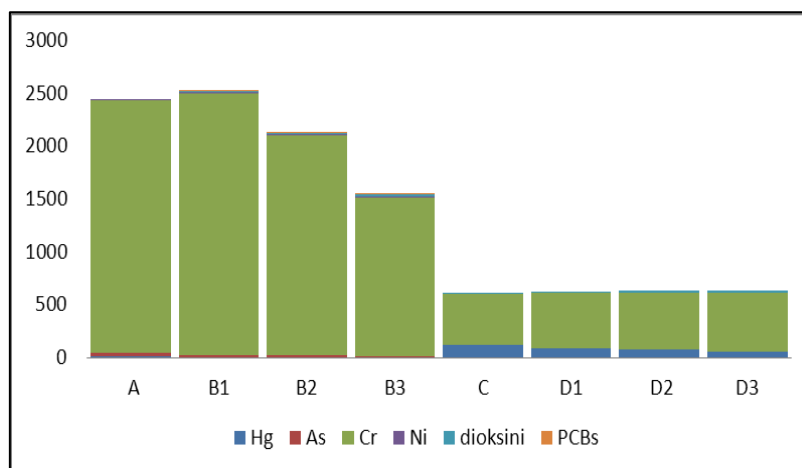
Najveće pozitivne vrijednosti su u scenariju A i scenarijima B1-B3, jer je u ovim scenarijima još uvijek dominantno odlaganje otpada na deponije. Najveće emisije teških metala (Cr, Ni, Hg) su upravo sa deponije (grafik 7.33).

U scenarijima C i D1-D3 pozitivan uticaj na HuT-C je i od strane žive koja se emituje sa gasovima iz spalionice. Iz grafika toka žive u ovim scenarijima (6.33, 6.40, 6.47 i 6.54) količina žive koja se emituje u atmosferu iznosi za scenario C 1.72 kg/god, za D1 1.69 kg/god, D2 1.68 kg/god i D3 1.62 kg/god. Količina žive se smanjuje u

scenariju C i u scenarijima D1-D3, jer se smanjuje količina otpada koji se spaljuje, a samim time se generiše i manja količina otpadnog gasa iz spalionice.



Grafik 7.32. Grafički prikaz udjela jediničnih procesana kategoriju HuT-C (u PE)



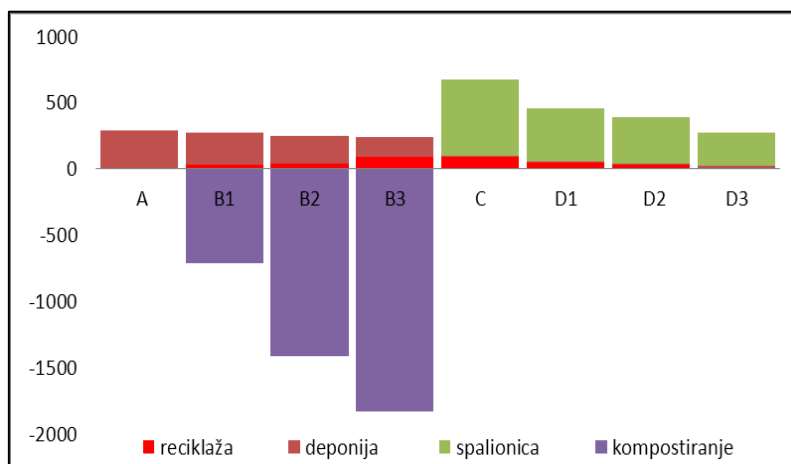
Grafik 7.33. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HuT-C(u PE)

7.8.5. Toksičnost na čovjeka – nekarcinogena (HuT NC)

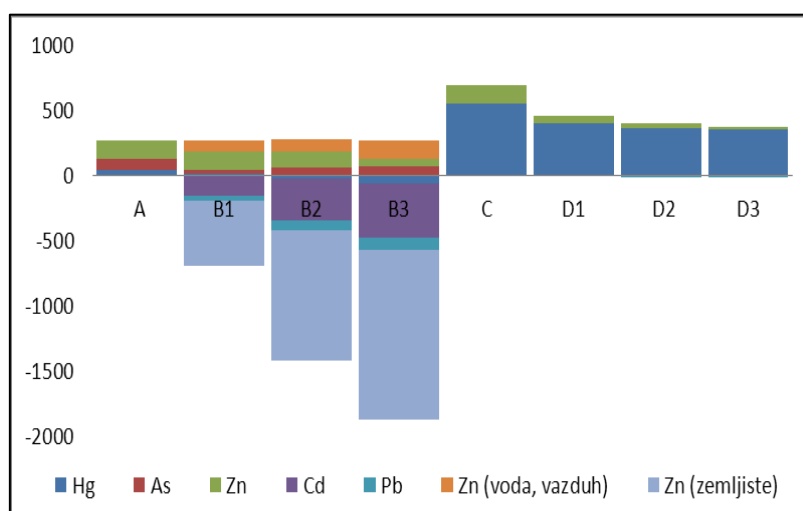
Na grafiku 7.34 su prikazani udjeli pojedinih jediničnih procesa tretmana otpada, a na grafiku 7.35 udio jedinjenja na kategoriju uticaja HuT NC u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom. Jedinjenja koja utiču na ovu kategoriju su: teški metali, dioksini, PAH i NMVOC.

Pozitivne vrijednosti HuT NC su bile u scenarijima A, C i D1-D3, dok su u scenariju B1-B3 imale negativne vrijednosti, odnosno koristi u životnu sredinu. Pozitivne vrijednosti su bile zbog emisija teških metala sa deponije (As i Zn), te teških metala (Zn i Hg) iz spalionice. Iz grafika toka žive u scenarijima C i D1-D3 (grafici 6.33, 6.40, 6.47 i 6.54) količina žive koja se emituje u atmosferu iznosi za scenario C 1.72 kg/god, za D1 1.69 kg/god, D2 1.68 kg/god i D3 1.62 kg/god. Količina žive se smanjuje u

scenariju C i u scenarijima D1-D3, jer se smanjuje količina otpada koji se spaljuje, a samim time se generiše i manja količina otpadnog gasa iz spalionice. Procesima primjene komposta u poljoprivredne svrhe, teški metali odlaze u zemljište i predstavljaju uštede u životnu sredinu sa aspekta HuT NC.



Grafik 7.34 Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HuT NC (u PE)



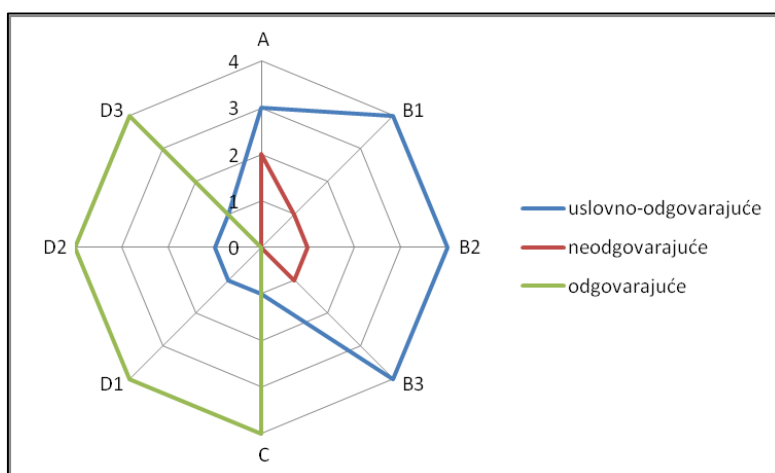
Grafik 7.35 Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HuT NC (u PE)

8. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Primjenom metodologije koja inovativno postavlja kombinaciju analitičkih alata MFA/SFA i LCA za modelovanje scenarija upravljanja komunalnim otpadom u banjalučkoj regiji, može se zaključiti uzočno-posljedična veza između izabrane tehnologije tretmana otpada i uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi, i uključuje sinergetsko sagledavanje u nekoliko aspekata:

1) sa aspekta klasa odredišta analiziranih supstanci iz otpada (grafik 8.1) važno je jer se može identifikovati da li određena supstanca predstavlja opasnost, odnosno zagađenje u životnu sredinu ili ukoliko je sadržana u određenim materijalima, predstavlja resurs:

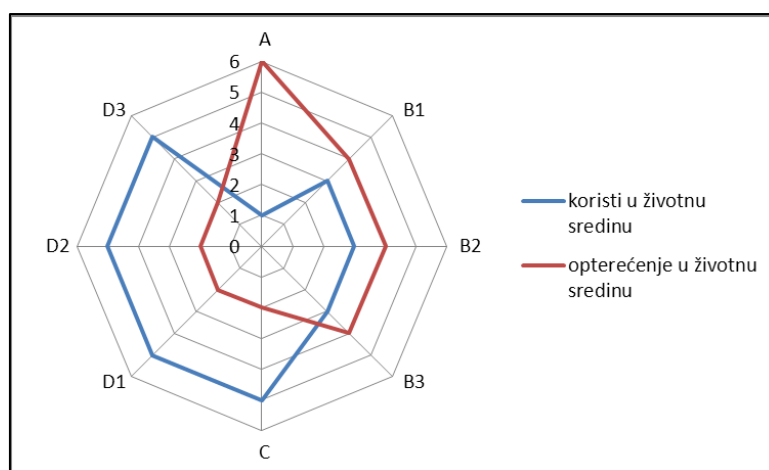
- najveći broj supstanci završi u neodgovarajućem odredištu za scenario A, odnosno odlaganjem otpada na neuređenu deponiju,
- najveći broj supstanci, u scenarijima gdje se sakupljeni organski otpad kompostira, odvojeno sakupljeni ambalažni otpad reciklira, a ostatak komunalnog otpada odlaže na deponiji (B1-B3), završi u uslovno odgovarajućem odredištu,
- najveći broj supstanci u scenarijima C i D1-D3 (gdje se sav otpad spaljuje, odnosno ambalažni otpad reciklira, a ostatak otpada spaljuje) završi u odgovarajućem odredištu.



Grafik 8.1. Prikaz klase odredišta supstanci za analizirane scenarije upravljanja otpadom

2) sa aspekta koristi i opterećenja u životnu sredinu (grafik 8.2):

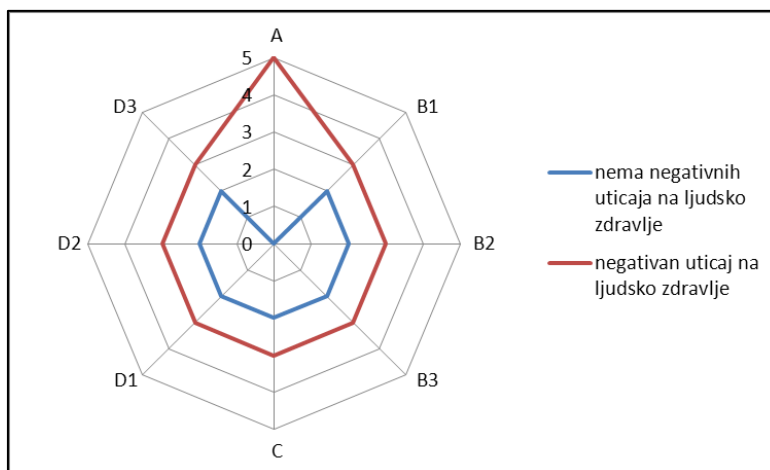
- najveće opterećenje u životnu sredinu je u scenariju A, odnosno sa neuređene deponije. Od sedam analiziranih kategorija uticaja na životnu sredinu, šest kategorija u ovom scenariju je imalo pozitivne vrijednosti, odnosno opterećenje u životnu sredinu,
- za scenarije B1-B3, četiri kategorije uticaja su imale pozitivne vrijednosti, odnosno opterećenje u životnu sredinu, a tri kategorije su imale negativne vrijednosti, odnosno koristi u životnu sredinu,
- za scenarije C, D1-D3, pet kategorija uticaja su imale negativne vrijednosti, odnosno koristi u životnu sredinu, a dvije kategorije su imale pozitivne vrijednosti, odnosno negativan uticaja ili opterećenje životne sredine.



Grafik 8.2. Prikaz koristi i opterećenja u životnu sredinu za analizirane scenarije upravljanja otpadom

3) sa aspekta uticaja na ljudsko zdravlje (grafik 8.3):

- od pet analiziranih kategorija uticaja na ljudsko zdravlje trenutnim načinom odlaganja otpada na neuređenu deponiju (scenario A), svih pet kategorija je imalo pozitivne vrijednosti, odnosno negativan uticaj na ljudsko zdravlje,
- za scenarije B1-B3, C i D1-D3 u dvije kategorije uticaja nema negativnih uticaja na ljudsko zdravlje, a tri kategorije uticaja su zabilježile negativan uticaj na ljudsko zdravlje.



Grafik 8.3. Prikaz uticaja na ljudsko zdravlje analiziranih scenarija upravljanja otpadom

Uzimajući u obzir rezultate MFA/SFA i LCA u modelovanim scenarijima upravljanja otpadom evidentno je:

- da sadašnje stanje u upravljanju otpadom u banjalučkoj regiji, gdje se 98.7% generisanog otpada odloži na neuređenu deponiju, ima najveći negativn uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi,
- u modelovanim scenarijima B1-B3, u kojima je implementirana direktiva EU o deponijama (Directive 1999/31/EC) i direktiva o ambalaži i ambalažnom otpadu (Directive 94/62/EC) (kojim se uređuju standardi koje mora da ispunjava sanitarna deponija, redukovanje količine organskog otpada koji se odlaže na deponiju i uvođenje odvojenog sakupljanja ambalaže i njena reciklaža), smanjuje se negativan uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi,
- u scenarijima C i D1-D3, koji su bazirani na direktivi o iskorišćavanju otpada za dobijanje energije (Directive 2000/76/EC), odnosno direktivi o ambalažnom otpadu (Directive 94/62/EC), smanjuje se negativan uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi.

Pošto je u BiH najveći broj deponija neuređen, banjalučka deponija odnosno upravljanje otpadom u ovoj regiji je uzet kao primjer koji može da posluži drugim opštinama i regijama, o štetnostima po zdravlje i životnu sredinu odlaganjem otpada na nesanitarnu deponiju.

Preporuke za unapređenje postojećeg sistema upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji, a u skladu sa zakonodavstvom EU i RS/BiH, a sa ciljem održivog upravljanja

otpadom koji minimizirati negativne uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi, mogu ići u više pravaca:

- unapređenje odlaganja otpada na deponiju, odnosno ispunjavanje tehničkih standarda i propisa koje mora da ispunjava sanitarna deponija,
- smanjivanje količine organskog otpada koji se odlaže na deponiju kroz uvođenje odvojenog sakupljanja ove vrste otpada te preradu u visoko kvalitetan proizvod kompost,
- uvođenje odvojenog sakupljanja ambalažnog otpada i njegovo iskorišćavanje za dobijanje novih sirovina,
- iskorišćavanjem otpada za dobijanje energije iz otpada.

Prikazani rezultati doprinose verifikaciji rezultata istraživanja prikazanih u disertaciji.

9. LITERATURA

Abeliotis, K., (2011). Life cycle assessment in municipal solid waste management, *Integrated Waste Management, 1*, 465 - 482

Agenda 21, Ujedinjene nacije: www.uzzs-rio.com/zakoni/agenda_21.pdf (preuzeto 09.01.2016. godine)

Ahmadi, A., Tiruta-Barna, L. (2015). A Process Modelling - Life Cycle Assessment - Multi Objective Optimization tool for the eco-design of conventional treatment processes of potable water. *Journal of Cleaner Production, 100*, 116-125.

Allesch, A., Brunner, P.H. (2015). Material flow analysis as a decision support tool for waste management: A literature review. *Journal of Industrial Ecology, 19(5)*, 753-764.

Alslaibi, T.M., Abustan, I., Mogheir, Y.K., Afifi, S. (2013). Quantification of leachate discharged to groundwater using the water balance method and the Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) model. *Waste Management & Research, 31(1)*, 50-59.

Amini, H.R., Reinhart, D.R., Mackie, K.R. (2012). Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. *Waste Management, 32(2)*, 305-316.

Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2012). Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: an environmental assessment using life cycle assessment-modelling. *Waste Management, 32(1)*, 31-40.

Andersen, J.K., Boldrin, A., Christensen, T.H., Scheutz, C. (2011). Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. *Waste Management, 31(9)*, 1934-1942.

Antikainen, R., Dahlbo, H., Melanen, M., Ollikainen, M. (2005). 6.3. *Decision support approaches: life cycle assessment (LCA) and substance flow analysis (SFA)*. Jalkanen, A. Nygren, P. (eds.) Sustainable use of renewable natural resources - from principles to practices. University of Helsinki Department of Forest Ecology Publications 34, 1-17.

Antonopoulos, I.S., Karagiannidis, A., Tsatsarelis, T., Perkoulidis, G. (2013). Applying waste management scenarios in the Peloponnese region in Greece: a critical

analysis in the frame of life cycle assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4), 2499-2511.

Arena, U., Ardolino, F., Di Gregorio, F. (2015). A life cycle assessment of environmental performances of two combustion-and gasification-based waste-to-energy technologies. *Waste Management*, 41, 60-74.

Arena, U., Di Gregorio, F. (2014). A waste management planning based on substance flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 54-66.

Arena, U., Di Gregorio, F. (2013). Element partitioning in combustion-and gasification-based waste-to-energy units. *Waste Management*, 33(5), 1142-1150.

Astrup, T., Møller, J., Fruergaard, T. (2009). Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8), 789-799.

Baccini, P., Brunner, P.H. (2012). *Metabolism of the anthroposphere: analysis, evaluation, design*. The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England.

Barjoveanu, G., Comandaru, I. M., Rodriguez-Garcia, G., Hospido, A., Teodosiu, C. (2014). Evaluation of water services system through LCA. A case study for Iasi City, Romania. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(2), 449-462.

Barles, S. (2009). Urban metabolism of Paris and its region. *Journal of Industrial Ecology*, 13(6), 898-913.

Belevi, H., Baccini, P. (1989). Long-term behavior of municipal solid waste landfills. *Waste Management & Research*, 7(1), 43-56.

Bernstad, A., la Cour Jansen, J. (2012). Review of comparative LCAs of food waste management systems—Current status and potential improvements. *Waste Management*, 32(12), 2439-2455.

Bernstad, A., la Cour Jansen, J., Aspegren, H. (2011). Life cycle assessment of a household solid waste source separation programme: a Swedish case study. *Waste Management & Research*, 29(10), 1027–1042.

Binder, H.H. (1999). *Lexikon der chemischen Elemente*. S. Hirzel Verlag, Stuttgart.

Bjelić, D., Čarapina, H.S., Markić, D.N., Pešić, Ž.Š., Mihajlov, A., Vukić, L. (2015). Environmental assessment of waste management in Banjaluka region with focus on landfilling. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(6), 1455-1463.

Boldrin, A., Andersen, J.K., Christensen, T.H. (2011a). Environmental assessment of garden waste management in the Municipality of Aarhus, Denmark. *Waste Management*, 31(7), 1560-1569.

Boldrin, A., Christensen, T.H., Körner, I., Krogmann, U. (2011b). Composting: mass balances and product quality. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 569-582.

Boldrin, A., Neidel, T.L., Damgaard, A., Bhandar, G.S., Møller, J., Christensen, T.H. (2011c). Modelling of environmental impacts from biological treatment of organic municipal waste in EASEWASTE. *Waste Management*, 31(4), 619-630.

Bouman, M., Heijungs, R., Van der Voet, E., van den Bergh, J.C., Huppes, G. (2000). Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models. *Ecological Economics*, 32(2), 195-216.

Bozkurt, S., Moreno, L., Neretnieks, I. (2000). Long-term processes in waste deposits. *Science of the Total Environment*, 250(1), 101-121.

Brunner, P.H. (2004). Materials flow analysis and the ultimate sink. *Journal of Industrial Ecology*, 8(3), 4-7.

Brunner, P.H. (2015). Final Sinks – Prerequisite for a Cycling Society. ISWA Beacon. 3rd International Conference on Final Sinks. From Products Design to Clean Cycles and Safe Final Sinks. Taiwan.

Brunner, P.H., Doeberl, G., Eder, M., Fruehwith, W., Huber, R., Hutterer, H., Pierrard, R., Schoenbaeck, W., Woeginger, H. (2001). *Bewertung abfallwirtschaftlicher Massnahmen mit dem Ziel der nachsorgefreien Deponie (BEWEND)*. Monographien des UBA Band 149, Umweltbundesamt GmbH Wien.

Brunner, P.H., Daxbeck, H., Berchtold, G., Brandt, B., Eder, M., Fehringer, R., Hochreiter, W., Huger, P., Janisch, J., Kreisel, M., Maunz, A. (2003). *Die Anwendung der Stoffflussanalyse in der Abfallwirtschaft. OWAV-Regelblatt 514*. Osterreichische Wasser- und Abfall- wirtschaftsverband. Wien.

Brunner, P.H., Daxbeck, H., Baccini, P. (1994). *Industrial metabolism at the regional and local level: A case study on a Swiss region*. In *Industrial Metabolism—Restructuring for sustainable development*, R. B. Ayres and U. E. Simonis, Eds. Tokyo: United Nations University Press.

Brunner, P.H., Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of material flow analysis*. Boca Raton/London/New York/Washington D.C/Florida: Lewis Publishers CRC press.

Brunner, P.H., Tjell, J.C. (2012). Do we need sinks?. *Waste Management & Research*, 30(1), 1-2.

Bruun, S., Hansen, T.L., Christensen, T.H., Magid, J., Jensen, L.S. (2006). Application of processed organic municipal solid waste on agricultural land—a scenario analysis. *Environmental Modeling & Assessment*, 11(3), 251-265.

Cadena, E., Colón, J., Artola, A., Sánchez, A., Font, X. (2009). Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(5), 401-410.

Cencic, O., Rechberger, H. (2008). Material flow analysis with software STAN. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 18(1), 3.

Cerutti, A.K., Bruun, S., Donno, D., Beccaro, G.L., Bounous, G. (2013). Environmental sustainability of traditional foods: the case of ancient apple cultivars in Northern Italy assessed by multifunctional LCA. *Journal of Cleaner Production*, 52, 245-252.

Christensen, T.H., Bilitewski, B. (2011). Mechanical treatment: Material recovery facilities. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 349-362.

Christensen, T.H., Manfredi, S., Knox, K. (2011). Landfilling: Reactor landfills. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 772-778.

Christensen, T.H., Simion, F., Tonini, D., Møller, J. (2009). Global warming factors modelled for 40 generic municipal waste management scenarios. *Waste Management & Research*, 27, 871-884.

Cimpan, C., Maul, A., Jansen, M., Pretz, T., Wenzel, H. (2015). Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: a review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environmental Management*, 156, 181-199.

Clavreul, J., Baumeister, H., Christensen, T.H., Damgaard, A. (2014). An environmental assessment system for environmental technologies. *Environmental Modelling & Software*, 60, 18-30.

Council Regulation 2092/91/EEC (1991) on organic production of agricultural products and indications referring thereto on agricultural products and foodstuffs. *Official Journal of the European Communities L198*, 22.7.1991.

Cowi AS. (2013). Integralno vodno-energetska studija razvoja sliva rijeke Vrbas. Modul 1 – Konačna verzija, Vodni resursi.

Dalager, S., Reimann, D.O. (2011). Incineration: Mass Balances. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 421-429.

De la Rosa, D.A., Velasco, A., Rosas, A., Volke-Sepulveda, T. (2006). Total gaseous mercury and volatile organic compounds measurements at five municipal solid waste disposal sites surrounding the Mexico City Metropolitan Area. *Atmospheric Environment*, 40(12), 2079-2088.

Deng, L., Babbitt, C.W., Williams, E.D. (2011). Economic-balance hybrid LCA extended with uncertainty analysis: case study of a laptop computer. *Journal of Cleaner Production*, 19(11), 1198-1206.

Dep-ot, Regionalna deponija Banja Luka. (2015). Izvještaj o odlaganju otpada za 2014. godinu.

Directive 1999/31/EC of the European Parliament and of the Council (2004) on the landfill of waste, *Official Journal of the European Communities L 182*, 16.7.1999, p. 1–19.

Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council (2008) on waste and repealing certain Directives, *Official Journal of the European Communities L 312*, 22.11.2008, p. 3–30.

Directive 94/62/EC of the European Parliament and Council (1994) on packaging and packaging waste, *Official Journal of the European Communities L 365*, 31.12.1994, p. 10–23.

Directive 2015/720 of the European Parliament and of the Council (2015) amending Directive 94/62/EC as regards reducing the consumption of lightweight plastic carrier bags, *Official Journal of the European Communities L 115*, 6.5.2015, p. 11–1.

Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council (2000) on the incineration of waste, *Official Journal of the European Communities L 332*, 28.12.2000, p. 0091 – 0111.

Directive 91/676/EEC of the Council (1991) concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources, *Official Journal of the European Communities L 375*, 31.12.1991, p. 0001 – 0008.

Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council (2003) on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. *Official Journal of the European Communities L 037*, 13.02.2003, p. 0019 – 0023.

Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC. *Official Journal of the European Communities L 266*, 26.9.2006, p. 1–14.

Directive 85/337/EEC of the Council (1985) on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. *Official Journal of the European Communities L 175*, 5.7.1985, p. 40–48.

Directive 97/11/EC (1997) amending Directive 85/337/EEC on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. *Official Journal of the European Communities L 73*, 14.3.1997, p. 5-15.

Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council (2001) on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment. *Official Journal of the European Communities L 197*, 21.7.2001, p. 30–37.

Döberl, G., Huber, R., Brunner, P.H., Eder, M., Pierrard, R., Schönback, W., ..., Hutterer, H. (2002). Long-term assessment of waste management options-a new, integrated and goal-oriented approach. *Waste Management & Research*, 20(4), 311-327.

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.

Eisted, R., Christensen, T.H. (2013). Environmental assessment of waste management in Greenland: current practice and potential future developments. *Waste Management & Research*, 31(5), 502-509.

Elduque, D., Javierre, C., Pina, C., Martínez, E., Jiménez, E. (2014). Life cycle assessment of a domestic induction hob: electronic boards. *Journal of Cleaner Production*, 76, 74-84.

Encyclopedia Britannica, School and Library subscribers, online (2015). Chicago: *Encyclopedia Britannica Inc.* <http://www.britannica.com/science/nitrogen> (preuzeto 05.10.2015. godine).

Erses, A.S., Onay, T.T., Yenigun, O. (2008). Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills. *Bioresource Technology*, 99(13), 5418-5426.

Euro-inspekt Ispitna laboratorija, Doboj, BiH. (2010). *Izveštaj o ispitivanju otpada* (elementarna analiza i određivanje morfološkog sastava), J.P.“DEP-OT” Regionalna deponija Banjaluka.

European Commission, (2014). Commission staff working document Bosnia and Herzegovina 2014, Progress report, Communication from the Commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, Enlargement Strategy and Main Challenges 2014-2015.

European Commission, (2011a). Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook – Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context. First edition November 2011. EUR 24571 EN. Publications Office of the European Union, Luxemburg.

European Commission, (2011b). Report from the Commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, on the Thematic Strategy on the Prevention and Recycling of Waste.

Eurostat, (2009). Economy wide material flow accounts: Compilation guidelines for reporting to the 2009 Eurostat questionnaire.

Eurostat, (2015). Municipal waste generation and treatment, by treatment method. <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/municipal-waste-generation-and-treatment-by-treatment-method> (preuzeto 23.03.2016. godine).

Federalni zavod za statistiku, (2014). Statistički godišnjak/ljetopis Federacije Bosne i Hercegovine. Okoliš 21-9: 324. <http://www.fzs.ba/god.htm> (preuzeto 16.03.2015).

Falzon, C., Fabri, S. G., Frysinger, S. (2013). Integrated waste management as a climate change stabilisation wedge for the Maltese islands. *Waste Management & Research*, 31(1), 73-79.

Fellner, J., Laner, D., Brunner, P.H. (2009). *Impact of aeration on long term behavior of nitrogen in MSW landfills*, Proceedings Sardinia 2009, 12th International Waste Management and Landfill Symposium, 5-9. October. Pp 1-8.

Fehringner, R., Brandt, B., Brunner, P.H., Daxbeck, H., Neumayer, S., Smutny, R. (2004). MFA- MANUAL. *Guidelines for the use of material flow analysis (MFA) for municipal solid waste (MSW) management*. Project AWAST; Aid in the management and European Comparison of municipal solid waste treatment methods for a global and sustainable approach. Vienna University of Technology & Resource Management Agency.

Fehringner, R., Brunner, P.H., (1997). *Kunststoffflüsse und Möglichkeiten der Kunststoffverwertung in Österreich*. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.

Fehringner, R., Rechberger, H., Pesonen, H.L., Brunner, P.H. (1997). *Auswirkungen unterschiedlicher Szenarien der thermischen Verwertung von Abfällen in Österreich (ASTRA)*. Techn. Univ., Inst f. Wassergüte u. Abfallwirtschaft, Abt. Abfallwirtschaft.

Fernández-Nava, Y., Del Rio, J., Rodríguez-Iglesias, J., Castrillón, L., Marañón, E. (2014). Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). *Journal of Cleaner Production*, 81, 178-189.

Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., Moberg, Å. (2005). Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 213-229.

Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S.,..., Suh, S. (2009). Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1-21.

Fruergaard, T., Astrup, T. (2011). Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. *Waste Management*, 31(3), 572-582.

Giugliano, M., Cernuschi, S., Grosso, M., Rigamonti, L. (2011). Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. *Waste Management*, 31(9), 2092-2101.

Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste Management*, 29(8), 2227-2239.

Goglio, P., Smith, W. N., Grant, B. B., Desjardins, R. L., McConkey, B. G., Campbell, C. A., Nemecek, T. (2015). Accounting for soil carbon changes in agricultural life cycle assessment (LCA): a review. *Journal of Cleaner Production*, 104, 23-39.

Goyal, S., Dhull, S.K., Kapoor, K.K. (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*, 96(14), 1584-1591.

Guinée, J.B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, J.A., van Duin, R., Huijbregts, M.A.J. (2002). *Handbook on life cycle assessment: Operational Guide to the ISO standards*. Series: Eco-efficiency in industry and science. Kluwer Academic Publishers Dordrecht.

Hauschild, M., Potting, J. (2005). Spatial differentiation in Life Cycle impact assessment-The EDIP2003 methodology. *Environmental news*, (80).

Hansen, T.L., Bhandar, G.S., Christensen, T.H., Bruun, S., Jensen, L.S. (2006a). Life cycle modelling of environmental impacts of application of processed organic municipal solid waste on agricultural land (EASEWASTE). *Waste Management & Research*, 24(2), 153-166.

Hansen, T.L., Christensen, T.H., Schmidt, S. (2006b). Environmental modelling of use of treated organic waste on agricultural land: a comparison of existing models for life cycle assessment of waste systems. *Waste Management & Research*, 24(2), 141-152.

Hargreaves, J.C., Adl, M.S., Warman, P.R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(1), 1-14.

Hischier, R., Wäger, P., Gaughhofer, J. (2005). Does WEEE recycling make sense from an environmental perspective?: The environmental impacts of the Swiss take-back and recycling systems for waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 525-539.

Hjelmar, O., Johnson, A., Comand, R. (2011). Incineration: Solid residues. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 430-462.

Hong, J., Shi, W., Wang, Y., Chen, W., Li, X. (2015). Life cycle assessment of electronic waste treatment. *Waste Management*, 38, 357-365.

Hoornweg, D., Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series; knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC, World Bank.

<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388> (preuzeto: 23.03.2016. godine).

Hossain, M. L., Das, S. R., Hossain, M. K. (2014). Impact of Landfill Leachate on Surface and Ground Water Quality. *Journal of Environmental Science and Technology*, 7(6), 337.

Huang, L., Bohne, R. A., Bruland, A., Jakobsen, P. D., Lohne, J. (2015). Life cycle assessment of Norwegian road tunnel. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(2), 174-184.

Huang, C.L., Vause, J., Ma, H.W., Yu, C.P. (2012). Using material/substance flow analysis to support sustainable development assessment: a literature review and outlook. *Resources, Conservation and Recycling*, 68, 104-116.

ISO 14040 (2006) Environmental Management – *Life Cycle Assessment – Principles and Framework*. International Standards Organization, Geneva, Switzerland. Reference number ISO 14040: 2006(E).

IPCC (2007) IPCC Climate Change Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/> (preuzeto 15.05.2015. godine u 11:45).

IPZ Uniprojekt TERRA (2014). Aneks 1 Strategije – Izvještaj o analizi postojeće situacije, Strategija za upravljanje otpadom u Republici Srpskoj.

Jacob, P., Kashyap, P., Suparat, T., Visvanathan, C. (2014). Dealing with emerging waste streams: Used tyre assessment in Thailand using material flow analysis. *Waste Management & Research*, 32, 918-926.

Jha, A.K., Sharma, C., Singh, N., Ramesh, R., Purvaja, R., Gupta, P.K. (2008). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Indian mega-cities: A case study of Chennai landfill sites. *Chemosphere*, 71(4), 750-758.

Johannessen, L.M. (1999). *Guidance note on leachate management for municipal solid waste landfills*. The International Bank for reconstruction and Development/The World Bank, Washington.

Kadafa, A.A., Manaf, L.A., Sulaiman, W.N.A., Abdullah, S.H. (2014). Applications of system analysis techniques in Solid Waste Management assessment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(4), 1061-1070.

Keyes, S., Tyedmers, P., Beazley, K. (2015). Evaluating the environmental impacts of conventional and organic apple production in Nova Scotia, Canada, through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 104, 40-51.

Kiddee, P., Naidu, R., Wong, M.H. (2013). Electronic waste management approaches: An overview. *Waste Management*, 33(5), 1237-1250.

Kirkeby, J. T., Birgisdottir, H., Hansen, T. L., Christensen, T.H., Bhandar, G.S., Hauschild, M. (2006). Environmental assessment of solid waste systems and technologies: EASEWASTE. *Waste Management & Research*, 24(1), 3-15.

Kjeldsen, P., Barlaz, M.A., Rooker, A.P., Baun, A., Ledin, A., Christensen, T.H. (2002). Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297-336.

Kong, D., Shan, J., Iacoboni, M., Maguin, S.R. (2012). Evaluating greenhouse gas impacts of organic waste management options using life cycle assessment. *Waste Management & Research*, 30, 800-812.

Koroneos, C.J., Nanaki, E.A. (2012). Integrated solid waste management and energy production-a life cycle assessment approach: the case study of the city of Thessaloniki. *Journal of Cleaner Production*, 27, 141-150.

Korzun, E.A., Heck, H.H. (1990). Sources and fates of lead and cadmium in municipal solid waste. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 40(9), 1220-1226.

Kost, T. (2001). Brennstofftechnische Charakterisierung von Haushaltsabfaellen. Schriftenreihe des Instituts fuer Abfallwirtschaft und Altlasten. Band 16. TU Drrersden.

Kotovicová, J., Toman, F., Vaverková, M., Stejskal, B. (2011). Evaluation of waste landfills' impact on the environment using bioindicators. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(2), 371-377.

Kral, U., Brunner, P. H., Chen, P. C., Chen, S. R. (2014). Sinks as limited resources? A new indicator for evaluating anthropogenic material flows. *Ecological Indicators*, 46, 596-609.

Kulikowska, D., Klimiuk, E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, 99(13), 5981-5985.

Lagerkvist, A., Ecke, H., Christensen, T.H. (2011). Waste characterization: approaches and methods. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 63-84.

Laurent, A., Bakas, I., Clavreul, J., Bernstad, A., Niero, M., Gentil, E., ..., 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., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., ... 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.

Laurent, A., Lautier, A., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I., Hauschild, M.Z. (2011a). Normalization references for Europe and North America for application with USEtox™ characterization factors. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(8), 728-738.

Laurent, A., Olsen, S.I., Hauschild, M.Z. (2011b). Normalization in EDIP97 and EDIP2003: updated European inventory for 2004 and guidance towards a consistent use in practice. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(5), 401-409.

LEAP, (2009). Lokalni ekološki akcioni plan grad Banja Luka. Institut za građevinarstvo “IG” Banja Luka.

LEAP, (2015). Lokalni ekološki akcioni plan za grad Banja Luku za period 2016-2021. godine. Institut za građevinarstvo “IG” Banja Luka.

Li, S., Yuan, Z., Bi, J., Wu, H. (2010). Anthropogenic phosphorus flow analysis of Hefei City, China. *Science of the Total Environment*, 408(23), 5715-5722.

Li, W., Huang, Q., Lu, S., Wu, H., Li, X., Yan, J. (2015). Life Cycle Assessment of the Environmental Impacts of Typical Industrial Hazardous Waste Incineration in Eastern China. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(1), 242-251.

Liamsanguan, C., Gheewala, S.H. (2008). LCA: A decision support tool for environmental assessment of MSW management systems. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 132-138.

Lou, X.F., Nair, J. (2009). The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions—a review. *Bioresource Technology*, 100(16), 3792-3798.

Luoranan, M., Soukka, R., Denafas, G., Horttanainen, M. (2009). Comparison of energy and material recovery of household waste management from the environmental point of view—Case Kaunas, Lithuania. *Applied Thermal Engineering*, 29(5), 938-944.

Manfredi, S., Christensen, T.H. (2009). Environmental assessment of solid waste landfilling technologies by means of LCA-modeling. *Waste Management*, 29(1), 32-43.

Manfredi, S., Scharff, H.M., Tonini, D., Christensen, T.H. (2009). Landfilling of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27, 825-836.

Manfredi, S., Tonini, D., Christensen, T. H. (2010). Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste. *Waste Management*, 30(3), 433-440.

Markic, D.N., Bjelic, D., Zugic, N.D., Carapina, H.S., Pesic, Z.S. (2015). Assessment of the impact of Banjaluka landfill on groundwater quality. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 10(2), 271-280.

Masood, M., Barlow, C.Y., Wilson, D C. (2014). An assessment of the current municipal solid waste management system in Lahore, Pakistan. *Waste Management & Research*, 32(9), 834-947.

Mastellone, M.L., Brunner, P. H., Arena, U. (2009). Scenarios of waste management for a waste emergency area. *Journal of Industrial Ecology*, 13(5), 735-757.

McDougall, F.R., White, P.R., Franke, M., Hindle, P. (2008). *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. John Wiley & Sons.

Merrild, H., Damgaard, A., Christensen, T.H. (2008). Life cycle assessment of waste paper management: the importance of technology data and system boundaries in assessing recycling and incineration. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(12), 1391-1398.

Miliūtė, J., Staniskis, J.K. (2009). Application of Lifecycle Assessment in Optimisation of Municipal Waste Management Systems. Case of Lithuania. *Waste Management & Research*, 28, 298-308.

Minamata Convention: <http://www.mercuryconvention.org/Convention> (preuzeto 08.01.2016. godine)

Morf, L.S., Ritter, E., Brunner, P.H. (2005). Online-Messung der Stoffbilanz auf der MVA Spittelau, Synthese der Resultate 2000-2004. Projekt MAPE Spittelau. Institut fuer Wasserguete, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft. TU Wien.

Nanaki, E.A., Koroneos, C.J. (2013). Comparative economic and environmental analysis of conventional, hybrid and electric vehicles—the case study of Greece. *Journal of Cleaner Production*, 53, 261-266.

Narayana, T. (2009). Municipal solid waste management in India: From waste disposal to recovery of resources?. *Waste Management*, 29(3), 1163-1166.

Niloufer, S., Swamy, A.V.V.S., Devi, K.S. (2013). Ground water quality in the vicinity of municipal solid waste dump sites in Vijayawada, A.P. *International Journal of Engineering & Science Research* 3(8), 419-425.

Ozbay, I. (2015). Evaluation of municipal solid waste management practices for an industrialized city. *Polish Journal of Environmental Studies*, 24(2).

Owsianiak, M., Laurent, A., Bjørn, A., Hauschild, M. Z. (2014). IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: a case study-based comparison. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(5), 1007-1021.

Pablos, M.V., Martini, F., Fernandez, C., Babin, M.M., Herraez, I., Miranda, J., ..., Tarazona, J.V. (2011). Correlation between physicochemical and ecotoxicological approaches to estimate landfill leachates toxicity. *Waste Management*, 31(8), 1841-1847.

Pagans, E., Barrena, R., Font, X., Sánchez, A. (2006). Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere*, 62(9), 1534-1542.

Pang, B., Yang, P., Wang, Y., Kendall, A., Xie, H., Zhang, Y. (2015). Life cycle environmental impact assessment of a bridge with different strengthening schemes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(9), 1300-1311.

Pearce, A.R., Rizzo, D.M., Mouser, P.J. (2011). Subsurface characterization of groundwater contaminated by landfill leachate using microbial community profile data and a nonparametric decision-making process. *Water Resources Research*, 47(6).

Pires, A., Martinho, G., Chang, N.B. (2011). Solid waste management in European countries: A review of systems analysis techniques. *Journal of Environmental Management*, 92(4), 1033-1050.

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.

Rechberger, H. (2001). The use of statistical entropy to evaluate the utilisation of incinerator ashes for the production of cement. *Waste Management & Research*, 19(3), 262-268.

Reimann, D.O. (2012). CEWEP Energy Report III (status 2007-2010) Results of Specific Data for Energy, R1 Plant Efficiency Factor and NCV of 314 European Waste-to-Energy (WtE) Plants, CEWEP, Bamberg, Germany. http://www.cewep.eu/information/publicationsandstudies/studies/climate-protection/978.CEWEP_Energy_Efficiency_Report_Status_.html (preuzeto 16. 12. 2015. godine).

Republički zavod za statistiku (Republike Srpske), (2014). Statistički godišnjak Republika Srpska. Životna sredina 16: 274. http://www.rzs.rs.ba/front/article/1778/?left_mi=287&add=287 (preuzeto 16.03.2015. godine).

Republički hidrometeorološki zavod, (2012). Analize. Količine padavina i temperature za 2012.godinu. <http://rhmzrs.com/> (preuzeto 12.12.2015. godine).

Riber, C., Petersen, C., Christensen, T.H. (2009). Chemical composition of material fractions in Danish household waste. *Waste Management*, 29(4), 1251-1257.

Rigamonti, L., Falbo, A., Grosso, M. (2013). Improving integrated waste management at the regional level: the case of Lombardia. *Waste Management & Research*, 31, 946-953.

Roberts, K.G., Gloy, B.A., Joseph, S., Scott, N.R., Lehmann, J. (2009). Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. *Environmental Science & Technology*, 44(2), 827-833.

Russell-Smith, S.V., Lepech, M.D. (2015). Cradle-to-gate sustainable target value design: integrating life cycle assessment and construction management for buildings. *Journal of Cleaner Production*, 100, 107-115.

Sala, S., Benini, L., Mancini, L., Pant, R. (2015). Integrated assessment of environmental impact of Europe in 2010: data sources and extrapolation strategies for calculating normalisation factors. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(11), 1568-1585.

Saner, D., Blumer, Y.B., Lang, D., Koehler, A. (2011). Scenarios for the implementation of EU waste legislation at national level and their consequences for emissions from municipal waste incineration. *Resources, Conservation and Recycling*, 57, 67-77.

Scharff, H. (2012). Landfills as sinks for (hazardous) substances. *Waste Management & Research*, 30(12), 1234-1242.

Schmidt, W.P., Dahlgvist, E., Finkbeiner, M., Krinke, S., Lazzari, S., Oschmann, D., ..., Thiel, C. (2004). Life cycle assessment of lightweight and end-of-life scenarios for generic compact class passenger vehicles. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(6), 405-416.

Službeni glasnik Republike Srpske, broj 36/15 (2015) Uredba o odlaganju otpada na deponije.

Službeni glasnik Republike Srpske, broj 36/15 (2015) Uredba o upravljanju ambalažom i ambalažnim otpadom.

Službeni glasnik Republike Srpske, broj 46/12 (2012) Pravilnik o smanjenju ambalažnog otpada.

Službeni glasnik Republike Srpske, broj 111/13 (2013) Zakon o upravljanju otpadom.

Soares, S.R., Finotti, A.R., da Silva, V.P., Alvarenga, R.A. (2013). Applications of life cycle assessment and cost analysis in health care waste management. *Waste Management*, 33(1), 175-183.

Sokka, L., Antikainen, R., Kauppi, P. (2004). Flows of nitrogen and phosphorus in municipal waste: a substance flow analysis in Finland. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, 1(1-3), 165-186.

Song, Q., Wang, Z., Li, J., Zeng, X. (2013). The life cycle assessment of an e-waste treatment enterprise in China. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(4), 469-475.

Stanic-Maruna, I., Fellner, J. (2012). Solid waste management in Croatia in response to the European Landfill Directive. *Waste Management & Research*, 30(8), 825-838.

Stanisavljevic, N., Brunner, P.H. (2014). 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.

Stanisavljevic, N., Vujovic, S., Zivancev, M., Batinic, B., Tot, B., Ubavin, D. (2015). Application of MFA as a decision support tool for waste management in small municipalities—case study of Serbia. *Waste Management & Research*, 33(6), 550-560.

Starostina, V., Damgaard, A., Rechberger, H., Christensen, T.H. (2014). Waste management in the Irkutsk Region, Siberia, Russia: Environmental assessment of current practice focusing on landfilling. *Waste Management & Research*. 32, 389-396.

Stentiford, E., de Bertoldi, M. (2011). Composting: Process. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 515-532.

Strategija upravljanja čvrstim otpadom u BiH, (2000). Phare program Evropske Unije, Faircloth P, Witton K, Campbell D, Brown K. AEA Technology Environment.

Steubing, B., Böni, H., Schluep, M., Silva, U., Ludwig, C. (2010). Assessing computer waste generation in Chile using material flow analysis. *Waste Management*, 30(3), 473-482.

Stevanovic Carapina, H. (2013a). MFA and LCA as tools in waste management. Proceedings International Conference 2013 Sustainable landfills and waste management, Novi Sad Serbia, pp 3-13.

Stevanović-Čarapina, H. (2013b). MFA, LCA i čistija proizvodnja kao analitički instrumenti u životnoj sredini. EnE13 – Deveta regionana konferencija. Beograd.

Stevanović-Čarapina, H., Jovović, A., Stepanov, J. (2011a). Ocena životnog ciklusa LCA (life cycle assessment) kao instrument u strateškom planiranju upravljanja otpadom. Univerzitet Educons, Fakultet zaštite životne sredine. Sremska Kamenica.

Stevanović-Čarapina, H.D., Stepanov, J.M., Savić, D.C., Mihajlov, A.N. (2011b). Emisija toksičnih komponenti kao faktor izbora najbolje opcije za upravljanje otpadom primenom koncepta ocenjivanja životnog ciklusa. *Hemijska industrija*, 65 (2), 205-211.

Stevanović-Čarapina, H., Žugić-Drakulić, N., Mihajlov, A., Čarapina-Radovanović, I. (2014). MFA i LCA kao analitički instrumenti u oblasti životne sredine. *Životna sredina ka Evropi. Limes. Časopis za društvene i humanističke nauke*. 1/2014.

Themelis, N.J., Ulloa, P.A. (2007). Methane generation in landfills. *Renewable Energy*, 32(7), 1243-1257.

Tian, H., Xu, X., Lu, C., Liu, M., Ren, W., Chen, G., ... Liu, J. (2011). Net exchanges of CO₂, CH₄, and N₂O between China's terrestrial ecosystems and the atmosphere and their contributions to global climate warming. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G2).

Tojo, N., Fischer, C. (2011). Europe as a Recycling Society. European Recycling Policies in relation to the actual. *ETC/SCP working paper*, (ETC/SCP working paper 2/2011).

Topić, M., Preradović, L.J., Stanković, M., Zimmermann, F., Fischer, W., Preradović, G., Pešević, D., Topić, D. (2013). Upravljanje otpadom u Republici Srpskoj: Analiza postojećeg stanja sa posebnim osvrtom na komunalna preduzeća. Međunarodno udruženje naučnih radnika-AIS; Grac, Institut za geografiju i regionalno istraživanje Karl Frances. Banja Luka.

Tukker, A., Kleijn, R., Oers, L., Smeets, E. (1997). Combining SFA and LCA. *Journal of Industrial Ecology*, 1(4), 93-116.

Tulokhonova, A., Ulanova, O. (2013). Assessment of municipal solid waste management scenarios in Irkutsk (Russia) using a life cycle assessment integrated waste management model. *Waste Management & Research*, 31, 475-484.

Turconi, R., Butera, S., Boldrin, A., Grosso, M., Rigamonti, L., Astrup, T. (2011). Life cycle assessment of waste incineration in Denmark and Italy using two LCA models. *Waste Management & Research*, 29, 78-9.

Tyszler, M., Kramer, G., Blonk, H. (2014). Comparing apples with oranges: on the functional equivalence of food products for comparative LCAs. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(8), 1482-1487.

Unnisa, S.A., Rav, S.B. (Eds.). (2012). Sustainable solid waste management. CRC press.

US EPA. (2002). Use and release of mercury in the United States. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati. Ohio.

Veeken, A., Hamelers, B. (2002). Sources of Cd, Cu, Pb and Zn in biowaste. *Science of the Total Environment*, 300(1), 87-98.

Vehlow, J., Dalager, S. (2011). Incineration: flue gas cleaning and emissions. *Solid Waste Technology & Management, Volume 1 & 2*, 393-420.

Venkatesh, G., Hammervold, J., Brattebø, H. (2009). Combined MFA-LCA for analysis of wastewater pipeline networks. *Journal of Industrial Ecology*, 13(4), 532-550.

Vujić, G.V., Jovičić, N.M., Babić, M.J., Stanisavljević, N.S., Batinić, B.J., Pavlović, A.R. (2010). Assessment of plastic flows and stocks in Serbia using material flow analysis. *Thermal Science*, 14(suppl.), 89-95.

Zaman, A. U. (2010). Comparative study of municipal solid waste treatment technologies using life cycle assessment method. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 7(2), 225-234.

Zhao, Y., Deng, W. (2014). Environmental impacts of different food waste resource technologies and the effects of energy mix. *Resources, Conservation and Recycling*, 92, 214-221.

Zhao, W., van der Voet, E., Huppes, G., Zhang, Y. (2009). Comparative life cycle assessments of incineration and non-incineration treatments for medical waste. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(2), 114-121.

Ziyang, L., Youcai, Z., Tao, Y., Yu, S., Huili, C., Nanwen, Z., Renhua, H. (2009). Natural attenuation and characterization of contaminants composition in landfill leachate under different disposing ages. *Science of the Total Environment*, 407(10), 3385-3391.

Zuin, S., Belac, E., Marzi, B. (2009). Life cycle assessment of ship-generated waste management of Luka Koper. *Waste Management*, 29(12), 3036-3046.

Xing, W., Lu, W., Zhao, Y., Zhang, X., Deng, W., Christensen, T.H. (2013). Environmental impact assessment of leachate recirculation in landfill of municipal solid waste by comparing with evaporation and discharge (EASEWASTE). *Waste Management*, 33(2), 382-389.

Yuan, Z., Shi, J., Wu, H., Zhang, L., Bi, J. (2011). Understanding the anthropogenic phosphorus pathway with substance flow analysis at the city level. *Journal of Environmental Management*, 92(8), 2021-2028.

Wäger, P. A., Hischer, R., Eugster, M. (2011). Environmental impacts of the Swiss collection and recovery systems for Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE): A follow-up. *Science of the Total Environment*, 409(10), 1746-1756.

Wenzel, H., Hauschild, M.Z., Alting, L. (1997). *Environmental assessment of products. Methodology, tools, techniques and case studies*, Vol 1. Chapman & Hall, United Kingdom, Kluwer Academic Publishers, Hingham, MA, USA.

White, J., Robinson, J., Ren, Q. (2004). Modelling the biochemical degradation of solid waste in landfills. *Waste Management*, 24(3), 227-240.

WHO, (2010). Childhood lead poisoning, World Health Organization Geneva, Switzerland, 17.

Wu, L., Mao, X. Q., Zeng, A. (2015). Carbon footprint accounting in support of city water supply infrastructure siting decision making: a case study in Ningbo, China. *Journal of Cleaner Production*, 103, 737-746.

LISTA TABELA

- Tabela 3.1. Stepen sortiranja otpada u zavisnosti od načina sakupljanja otpada
- Tabela 3.2. Pregled insineracionih tehnologija, uključujući vrste otpada koje se mogu tretirati i tipične vrijednosti iskorišćavanja otpada za dobijanje energije
- Tabela 3.3. Elementarni sastav komunalnog otpada uključujući i frakcije otpada (mg/kg)
- Tabela 3.4. Klase pogodnosti odgovarajućih odredišta za izabrane supstance (C, N, Cd, Hg, Pb) za vremenski period od 100 godina
- Tabela 3.5. Inženjerski alati za procjenu sistema upravljanja otpadom
- Tabela 3.6. Modeli procjene sistema upravljanja otpadom
- Tabela 5.1. Sastav miješanog komunalnog otpada na banjalučkoj deponiji
- Tabela 5.2. Transfer koeficijenti za deponiju komunalnog otpada za vremenski period od 100 godina
- Tabela 5.3. Transfer koeficijenti za kompostiranje
- Tabela 5.4. Transfer koeficijenti za spalionicu
- Tabela 5.5. Transfer koeficijenti za deponiju pepela i šljake na koju se odlažu ostaci iz spalionice komunalnog otpada (100 godina)
- Tabela 5.6. Izbor indikatora supstanci
- Tabela 5.7. Standardne kategorije uticaja i kategorije uticaja na ljudsko zdravlje
- Tabela 5.8. Kategorije uticaja i normalizacione vrijednosti
- Tabela 5.9. Količine ambalažnog otpada koje se izdvoje u scenarijima B1-B3
- Tabela 5.10. Količina odvojeno sakupljenog organskog otpada u scenarijima B1-B3
- Tabela 6.1. LCIA za standardne kategorije uticaja na životnu sredinu za modelovane scenarije upravljanja otpadom (u PE)
- Tabela 6.2. LCIA za kategorije uticaja na ljudsko zdravlje za modelovane scenarije upravljanja otpadom (u PE)

LISTA GRAFIKA

- Grafik 6.1. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju A
- Grafik 6.2. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju A
- Grafik 6.3. Analiza toka azota (N) u scenariju A
- Grafik 6.4. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju A
- Grafik 6.5. Analiza toka žive (Hg) u scenariju A
- Grafik 6.6. Analiza toka olova (Pb) u scenariju A
- Grafik 6.7. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju A
- Grafik 6.8. Analiza tokova materijala (maseni bilansi) u scenariju B1
- Grafik 6.9. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju B1
- Grafik 6.10. Analiza toka azota (N) u scenariju B1
- Grafik 6.11. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju B1
- Grafik 6.12. Analiza toka žive (Hg) u scenariju B1
- Grafik 6.13. Analiza toka olova (Pb) u scenariju B1
- Grafik 6.14. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju B1
- Grafik 6.15. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju B2
- Grafik 6.16. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju B2
- Grafik 6.17. Analiza toka azota (N) u scenariju B2
- Grafik 6.18. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju B2
- Grafik 6.19. Analiza toka žive (Hg) u scenariju B2
- Grafik 6.20. Analiza toka olova (Pb) u scenariju B2
- Grafik 6.21. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C,N, Cd, Hg, Pb) u scenariju B2
- Grafik 6.22. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju B3
- Grafik 6.23. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju B3
- Grafik 6.24. Analiza toka azota (N) u scenariju B3
- Grafik 6.25. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju B3
- Grafik 6.26. Analiza toka žive (Hg) u scenariju B3
- Grafik 6.27. Analiza toka olova (Pb) u scenariju B3
- Grafik 6.28. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C,N, Cd, Hg, Pb) u scenariju B3
- Grafik 6.29. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju C
- Grafik 6.30. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju C
- Grafik 6.31. Analiza toka azota (N) u scenariju C

- Grafik 6.32. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju C
- Grafik 6.33. Analiza toka žive (Hg) u scenariju C
- Grafik 6.34. Analiza toka olova (Pb) u scenariju C
- Grafik 6.35. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C,N, Cd, Hg, Pb) u scenariju C
- Grafik 6.36. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju D1
- Grafik 6.37. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju D1
- Grafik 6.38. Analiza toka azota (N) u scenariju D1
- Grafik 6.39. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju D1
- Grafik 6.40. Analiza toka žive (Hg) u scenariju D1
- Grafik 6.41. Analiza toka olova (Pb) u scenariju D1
- Grafik 6.42. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju D1
- Grafik 6.43. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju D2
- Grafik 6.44. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju D2
- Grafik 6.45. Analiza toka azota (N) u scenariju D2
- Grafik 6.46. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju D2
- Grafik 6.47. Analiza toka žive (Hg) u scenariju D2
- Grafik 6.48. Analiza toka olova (Pb) u scenariju D2
- Grafik 6.49. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju D2
- Grafik 6.50. Analiza tokova materijala (maseni bilans) u scenariju D3
- Grafik 6.51. Analiza toka ugljenika (C) u scenariju D3
- Grafik 6.52. Analiza toka azota (N) u scenariju D3
- Grafik 6.53. Analiza toka kadmijuma (Cd) u scenariju D3
- Grafik 6.54. Analiza toka žive (Hg) u scenariju D3
- Grafik 6.55. Analiza toka olova (Pb) u scenariju D3
- Grafik 6.56. Sumarni prikaz toka otpada i supstanci (C, N, Cd, Hg, Pb) u scenariju D3
- Grafik 7.1. Sumarni pregled analize tokova materijala (otpada) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom
- Grafik 7.2. Sumarni pregled analize toka ugljenika (C) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom
- Grafik 7.3. Tok ugljenika (C) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.4. Sumarni pregled analize toka azota (N) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.5. Tok azota (N) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.6. Sumarni pregled analize toka kadmijuma (Cd) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.7. Tok kadmijuma (Cd) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.8. Sumarni pregled analize toka žive (Hg) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.9. Tok žive (Hg) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.10. Sumarni pregled analize toka olova (Pb) u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.11. Tok olova (Pb) u zavisnosti od finalnog odredišta u analiziranim scenarijima upravljanja otpadom

Grafik 7.12. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju GW (u PE)

Grafik 7.13. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju GW (u PE)

Grafik 7.14. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa AC (u PE)

Grafik 7.15. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju AC (u PE)

Grafik 7.16. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju ETwc (u PE)

Grafik 7.17. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju ETwc (u PE)

Grafik 7.18. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju AE (u PE)

Grafik 7.19. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju AE(u PE)

Grafik 7.20. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju POF (u PE)

Grafik 7.21. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju POF(u PE)

Grafik 7.22. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju ECT (u PE)

Grafik 7.23. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju ECT(u PE)

Grafik 7.24. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju NE (u PE)

Grafik 7.25. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju NE (u PE)

Grafik 7.26. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HTa (u PE)

Grafik 7.27. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HTa (u PE)

Grafik 7.28. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HTs (u PE)

Grafik 7.29. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HTs (u PE)

Grafik 7.30. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HTw (u PE)

Grafik 7.31. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HTw (u PE)

Grafik 7.32. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HuT-C (u PE)

Grafik 7.33. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HuT-C (u PE)

Grafik 7.34. Grafički prikaz udjela jediničnih procesa na kategoriju HuT NC (u PE)

Grafik 7.35. Grafički prikaz udjela jedinjenja na kategoriju HuT NC (u PE)

Grafik 8.1. Prikaz klase odredišta supstanci za analizirane scenarije upravljanja otpadom

Grafik 8.2. Prikaz koristi i opterećenja u životnu sredinu za analizirane scenarije
upravljanja otpadom

Grafik 8.3. Prikaz uticaja na ljudsko zdravlje analiziranih scenarija upravljanja otpadom

LISTA SLIKA

Slika 3.1. Hijerarhija upravljanja otpadom

Slika 5.1. Procedure u izradi MFA studije

Slika 5.2. Okvir LCA u skladu sa ISO 14040

Slika 5.3. Prostorna organizacija upravljanja otpadom u banjalučkoj regiji

Slika 5.4. Ulazni i izazni tokovi za deponiju

Slika 5.5. Maseni bilans za proces kompostiranja metodom gomile

Slika 5.6. Analiza tokova materijala u spalionici sa pokretnom rešetkom